

**Universidad Nacional del Altiplano**

**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA,**

**ELECTRÓNICA Y SISTEMAS ESCUELA PROFESIONAL DE  
INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**



**TESIS**

**“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA VIVIENDA RURAL EN EL  
DEPARTAMENTO DE PUNO UTILIZANDO MATERIALES DE CAMBIO DE  
FASE PARA FINES DE CONFORT”**

**PRESENTADO POR:**

**ALEXIS MARIO PAREDES PEREZ**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA**

**PUNO – PERÚ**

**2016**

*Universidad Nacional Del Altiplano*  
**FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y SISTEMAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA**

“ESTUDIO Y DISEÑO DE UNA VIVIENDA RURAL EN EL DEPARTAMENTO DE PUNO UTILIZANDO MATERIALES DE CAMBIO DE FASE PARA FINES DE CONFORT”

**TESIS PRESENTADA POR:**

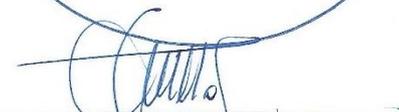
ALEXIS MARIO PAREDES PEREZ

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

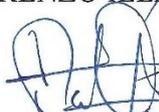
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

APROBADA POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE :   
Dr. NORMAN JESÚS BELTRAN CASTAÑON

PRIMER MIEMBRO :   
M.Sc. ÁNGEL MARIO HURTADO CHÁVEZ

SEGUNDO MIEMBRO :   
M.Sc. JUAN RENZO ILLACUTIPA MAMANI

DIRECTOR DE TESIS :   
M.Sc. JOSÉ MANUEL RAMOS CUTIPA

Puno- Perú

2016

Área : Energías Renovables.  
Tema : Energía Solar Térmica.



### *AGRADECIMIENTOS*

Agradezco principalmente a mi familia por el apoyo inestimable en la realización de esta tesis.

A mi director de tesis José M. Ramos Cutipa, que ha confiado en mí y en este trabajo aportando su gran experiencia profesional y su inestimable apoyo personal.

A mis docentes un agradecimiento inmenso por el gran aporte de conocimientos y experiencia profesional.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	14
ABSTRACT .....	15
INTRODUCCION .....	16
CAPITULO I    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACION .....	18
1.1    Descripción del problema. ....	19
1.2    Justificación del problema. ....	19
1.3    Objetivos de la investigación. ....	20
1.3.1    Objetivo general. ....	20
1.3.2    Objetivos específicos: .....	20
CAPITULO II    MARCO TEORICO .....	21
2.1.    Antecedentes de la investigación. ....	22
2.2.    Sustento teórico .....	23
2.2.1.    Criterios de aplicación de los materiales de cambio de fase. ....	24
2.2.2.    Diseño del acumulador de calor. ....	24
2.2.3.    Cantidad de PCM necesaria. ....	26
2.2.4.    Muro unitario. ....	26
2.2.5.    Sistema de captación solar. ....	27
2.2.6.    Dirección de la radiación solar. ....	29
2.2.7.    Inclinación e inclinación óptima de los colectores ( $\beta$ ). ....	30
2.2.8.    Radiación sobre una superficie inclinada. ....	31
2.2.9.    Captadores solares. ....	33
2.2.9.1.    Tipos de captadores. ....	33
2.2.10.    Selección del captador solar. ....	38
2.2.19.    Características de los materiales de cambio de fase. ....	52
2.2.19.1.    Físicas. ....	52
2.2.19.2.    Cinéticas. ....	53

2.2.19.3. Químicas.....	53
2.2.19.4. Térmicas.....	53
2.2.19.5. Económicas.....	54
2.2.20. Aplicaciones de los PCM.....	54
2.2.21. Aplicaciones de los PCM en el diseño integral del edificio.....	55
2.2.21.1. Control de temperatura y la calidad ambiental interior.....	55
2.2.21.2. Ahorro en los momentos pico.....	57
2.2.21.3. Uso eficiente de energías limpias y excedentes energéticos.....	58
2.2.22. Tanque de acumulación.....	59
2.2.22.1. Acumulación de calor.....	59
2.2.22.2. Almacenamiento térmico y los sistemas pasivos de climatización.....	59
2.2.22.3. Almacenamiento térmico.....	61
2.3. Almacenamiento térmico.....	61
2.3.1. Sistemas acumuladores en redes dh.....	63
2.3.2. Estratificación.....	66
2.3.3. Funcionamiento.....	67
2.3.4. Sensores de temperatura.....	67
2.3.6. Tubería de drenaje.....	68
2.3.7. Tubería de nivel máximo.....	69
2.4. Glosario de palabras.....	69
2.5. Hipótesis de la investigación.....	69
2.5.1. Hipótesis general.....	69
2.5.2. Hipótesis específicas.....	69
CAPITULO III DISEÑO METODOLOGICO DE LA INVESTIGACION.....	70
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	71

3.2.	Población de la investigación .....	71
3.3.	Muestra de la investigación .....	71
3.4.	Ubicación y descripción de la población o ámbito de estudio .....	71
3.5.	Técnicas e instrumentos para recolectar información .....	71
3.6.	Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.....	71
3.7.	Plan de tratamiento de datos:.....	72
3.8.	Diseño de la vivienda. ....	72
3.8.1.	Características de la vivienda modelo:.....	72
3.8.2.	Características de los encerramientos.....	73
3.8.2.1.	Características de los muros. ....	73
3.8.2.2.	Características del techo. ....	73
3.8.2.3.	Características del suelo. ....	74
3.8.3.	Calculo de la carga térmica. ....	75
3.8.4.	Condiciones de diseño. ....	76
3.8.5.	Condiciones de ambiente interior. ....	76
3.8.5.1.	Condiciones de ambiente exterior. ....	76
3.8.6.	Calculo de las teorías térmicas. ....	77
3.8.6.1.	Muros.....	77
3.8.6.2.	Techo.....	78
3.8.6.4.	Suplemento de compensación por intermitencia (zi). ....	79
3.8.6.5.	Cargas térmicas por ventilación. ....	80
3.8.7.	Cargas térmicas por infiltración. ....	80
3.8.8.	Resumen del cálculo de las cargas térmicas.....	81
3.8.9.	Métodos de cálculo de la demanda térmica.....	81

3.8.10.	Cálculo de cargas térmicas por transmisión. ....	82
3.8.11.	Descripción de los pasos.....	83
3.8.12.	Caso I: sólido. ....	84
3.8.13.	Caso II: líquido. ....	84
3.8.14.	Caso III: cambio de fase. ....	85
3.8.15.	Selección del material de cambio de fase.....	86
3.8.15.1.	Físicas. ....	86
3.8.15.2.	Cinéticas. ....	87
3.8.15.3.	Químicas.....	87
3.8.15.4.	Térmicas. ....	87
3.8.15.5.	Económicas.....	87
3.8.15.6.	Climacel c-48.....	88
3.8.16.	Tipo de sistema acumulador.....	90
3.8.17.	Cálculo del volumen del PCM.....	91
3.8.18.	Aislamiento térmico del tanque.....	92
3.8.18.1.	Capa interior de acero inoxidable.....	93
3.8.18.2.	Construcción de hormigón armado.....	93
3.8.18.3.	Material aislante. ....	93
3.8.18.4.	Recubrimiento de pvc. ....	94
3.8.18.5.	Arena y capa de drenaje.....	94
3.8.19.	Pérdidas de calor en el depósito. ....	94
3.8.19.1.	Temperatura del suelo. ....	96
3.8.20.	Cálculo del espesor de óptimo económico de aislamiento. ....	96
3.8.21.	Planteamiento teórico: .....	96
3.8.22.	Datos.....	97

3.8.23. Datos del proyecto.....	97
3.8.24. Datos económicos.....	97
3.8.25. Datos técnicos del aislante.....	97
3.8.26. Datos técnicos del acumulador de calor.....	99
3.8.26.1.Descripción.....	99
3.8.26.2.Dimensiones.....	99
3.8.26.3.Materiales de construcción.....	99
3.8.26.4.Material acumulador de calor.....	99
3.8.26.5.Parámetros de operación.....	99
3.8.27. Sistema de distribución.....	100
3.8.27.1.Diseño de tuberías.....	100
3.8.28. Uponor Thermo.....	101
3.8.29. Tubería para sistema de distribución.....	102
3.8.30. Almacenamiento de energía de corto y largo plazo.....	103
3.8.31. Control automatizado del sistema.....	105
CAPITULO IV ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS DE LA INVESTIGACION .....	107
4.1. Ahorro de energía en Comparación con el uso de estufas eléctricas.....	108
4.2. Capacidad de almacenamiento de calor.....	108
CONCLUSIONES .....	110
BIBLIOGRAFÍA .....	112

**ÍNDICE DE TABLAS**

Tabla 1: Temperatura media de los captadores solares.....	33
Tabla 2: Ventajas e inconvenientes de los PCM inorgánicos. ....	47
Tabla 3: Las propiedades térmicas de algunos de estos materiales .....	47
Tabla 4: Ventajas y desventajas de los PCM orgánicos.....	48
Tabla 5: Valores típicos de parafinas con T° de fusión próxima a la T° de confort. .	49
Tabla 6: Valores típicos de los PCM comerciales .....	49
Tabla 7: Características térmicas de algunos ácidos grasos.....	50
Tabla 8: Características térmicas de algunos ácidos grasos.....	51
Tabla 9: Propiedades térmicas de los materiales del muro. ....	77
Tabla 10: Propiedades térmicas del techo .....	78
Tabla 11: Aportes y pérdidas de calor de la vivienda modelo. ....	81
Tabla 12: Relación de precios del material aislante.....	97
Tabla 13: Cálculo del espesor óptimo económico de aislante.....	98
Tabla 14: Materiales de construcción del tanque.....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Clasificación de las sustancias usadas para almacenamiento térmico.....	23
Figura 2: Cálculo de las teorías térmicas. ....	25
Figura 3: Esquema de comportamiento de los PCM.....	25
Figura 4: Esquema del comportamiento de la carga térmica .....	26
Figura 5: Características de los pcm. ....	27
Figura 6: Componentes de la radiación total incidente en la Tierra. ....	28
Figura 7: Orientación solar. ....	30
Figura 8: Orientación de la radiación solar.....	31
Figura 9: Captadores solares planos.....	34
Figura 10: Tubos tipo heat pipe o flujo indirecto.....	35
Figura 11: Esquema de funcionamiento de un concentrador.....	36
Figura 12: Esquema de funcionamiento de un CPC.....	38
Figura 13: Montaje del sistema de captación sobre el tejado.....	39
Figura 14: Distancia entre filas de colectores.....	40
Figura 15: Posición del sol.....	41
Figura 16: Esquema general del circuito primario del sistema.....	42
Figura 17: Esquema general del circuito primario del sistema.....	42
Figura 18: Clasificación de las sustancias usadas para almacenamiento térmico.....	44
Figura 19: Muestra la relación entre la temperatura. ....	45
Figura 20: Diagrama de fases de una mezcla binaria.....	51
Figura 21: Ejemplo de forma de materiales de cambio de fase. ....	54
Figura 22: Estabilización de temperatura con masa térmica.....	56
Figura 23: La ilustración conceptual de un sistema de energía .....	56
Figura 24: Capacidad de una máquina sin y con almacenamiento térmico. ....	57

Figura 25: Una estructura de generación de potencia máxima durante un día. ....	58
Figura 26: Valor equivalente en masa necesario para almacenar .....	60
Figura 27: Aplicaciones más usuales de PCM en edificación. ....	62
Figura 28: Líneas de trabajo en sistemas de almacenamiento térmico. ....	62
Figura 29: Acumulador de calor diario (short term heat storage). ....	63
Figura 30: Esquema de un sistema de almacenamiento basado en boreholes .....	65
Figura 31: Esquema de un sistema de almacenamiento .....	65
Figura 32: Sistema de acumulación estacional de calor más utilizados. ....	66
Figura 33: Diagrama de estratificación térmica de un fluido en reposo. ....	67
Figura 34: Diseño de la vivienda. ....	72
Figura 35: Detalles del muro. ....	73
Figura 36: Diseño del techo. ....	74
Figura 37: Diseño del piso. ....	74
Figura 38: Métodos de carga. ....	81
Figura 39: Diagrama del balance térmico para la vivienda modelo. ....	82
Figura 40: Se Comportamiento de CLIMSEL C48 .....	89
Figura 41: Propiedades de CLIMSEL C48. ....	89
Figura 42: CLIMSEL C-48 .....	89
Figura 43: Esquema de un tanque acumulador como el que se pretende diseñar. ....	90
Figura 44: DISEÑO DEL TANQUE. ....	92
Figura 45: Ejemplo de aislamiento de un tanque acumulador de calor . ....	94
Figura 46: UPONOR Thermo Single. ....	101
Figura 47: Características de la tubería. ....	102
Figura 48: Características térmicas de la tubería. ....	102
Figura 49: Tiempo de almacenamiento de calor cada 100kg de PCM. ....	103

Figura 50: Puntos de medida de temperatura..... 104

Figura 51: Resultados experimentales del tiempo de almacenamiento térmico. .... 105

Figura 52: PLC controlador del sistema..... 106



**ÍNDICE DE ANEXOS**

Anexo 1.....115

Anexo2.....118

Anexo3.....120

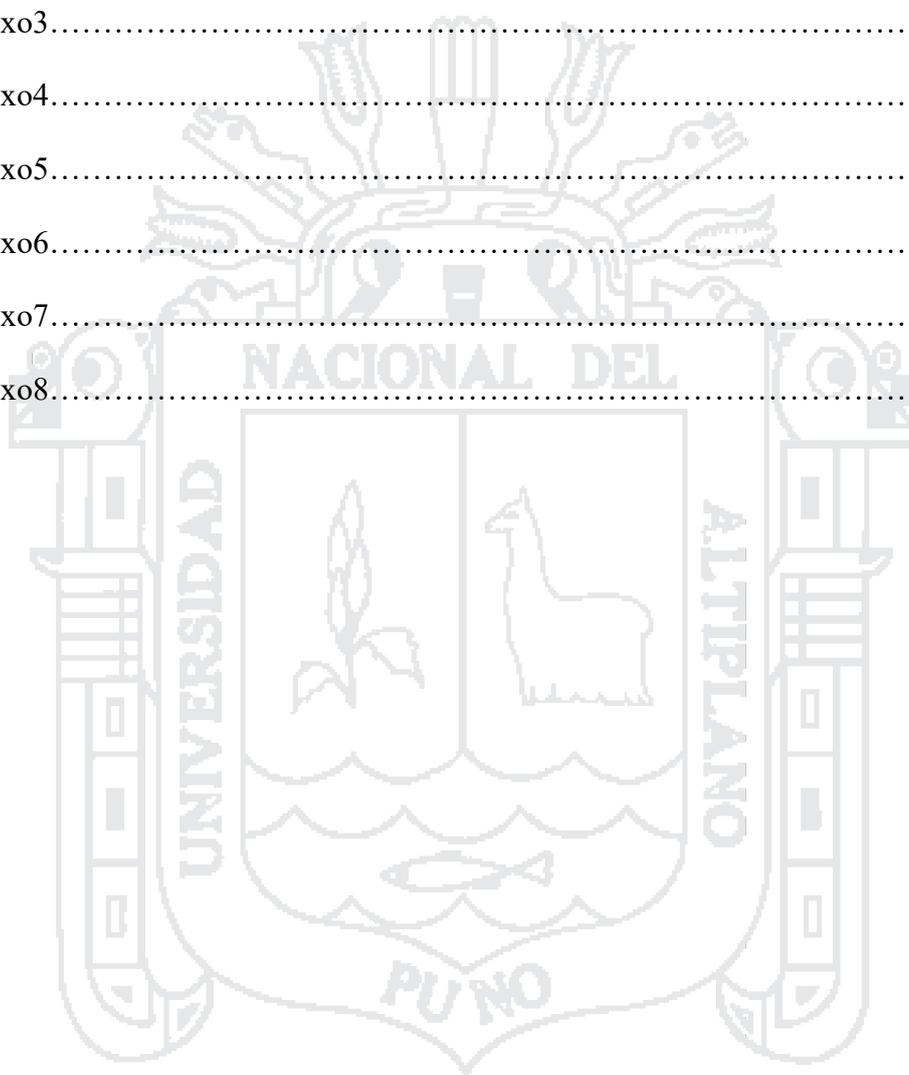
Anexo4.....123

Anexo5.....128

Anexo6.....131

Anexo7.....134

Anexo8.....137



## RESUMEN

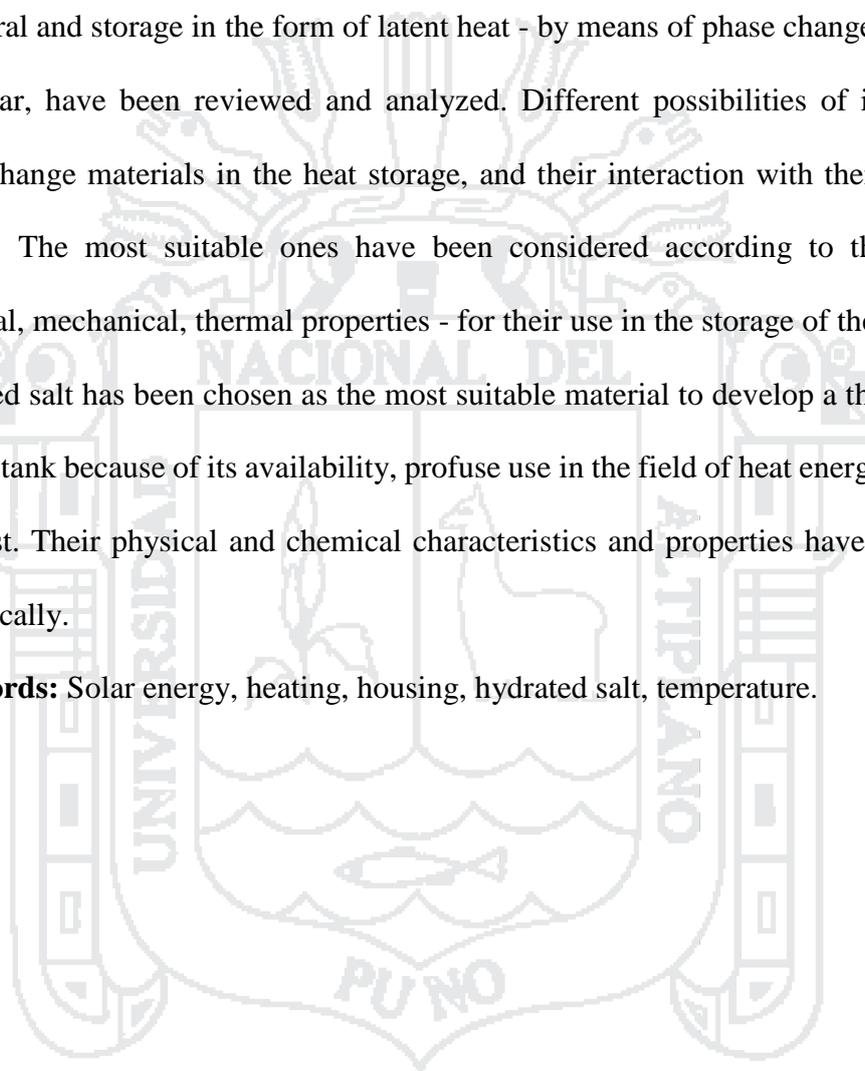
La presente tesis tiene como objetivo principal mejorar la calidad de vida del poblador alto andino analizando los diferentes materiales existentes para abaratar los costos de energía eléctrica por concepto de calefacción. Para ello previamente se ha revisado y analizado la documentación disponible, en la actualidad, sobre sistemas de almacenamiento térmico en general, y almacenamiento en forma de calor latente mediante materiales de cambio de fase- en particular. Se han estudiado diferentes posibilidades de integración de materiales de cambio de fase en el almacenamiento de calor, y su interacción con ellos. Se han considerado los más adecuados de acuerdo a sus propiedades físicas, químicas, mecánicas, térmicas- para su utilización en el almacenamiento de energía térmica. Se ha elegido una sal hidratada como material más adecuado para desarrollar un tanque de almacenamiento de energía térmica por su disponibilidad, profusa utilización en el campo de almacenamiento de energía calorífica y bajo coste. Se han estudiado a nivel teórico sus características y propiedades físicas y químicas.

**Palabras clave:** Energía solar, calefacción, vivienda, sal hidratada, temperatura.

## ABSTRACT

The main objective of this thesis is to improve the quality of life of the high Andean population by analyzing the different existing materials to reduce the cost of electricity for heating. To this end, the documentation currently available on thermal storage systems in general and storage in the form of latent heat - by means of phase change materials in particular, have been reviewed and analyzed. Different possibilities of integration of phase change materials in the heat storage, and their interaction with them, have been studied. The most suitable ones have been considered according to their physical, chemical, mechanical, thermal properties - for their use in the storage of thermal energy. Hydrated salt has been chosen as the most suitable material to develop a thermal energy storage tank because of its availability, profuse use in the field of heat energy storage and low cost. Their physical and chemical characteristics and properties have been studied theoretically.

**Key words:** Solar energy, heating, housing, hydrated salt, temperature.



## INTRODUCCION

Durante los últimos años, específicamente en la época de invierno, en las zonas altas de nuestra región se ha presentado un fenómeno llamado FRIAJE, el cual está relacionado con el descenso de las temperaturas hasta condiciones extremas, llegando incluso a registrarse valores por debajo de los 0°C bajo cero.

Para hacer frente a esta amenaza que se repite todos los años, se ha pensado en una solución de larga duración y que brinde a las personas afectadas la oportunidad de vivir en un ambiente adecuado, usando una energía renovable como es la energía solar para el funcionamiento de un sistema de calefacción de sus viviendas utilizando los materiales de cambio de fase.

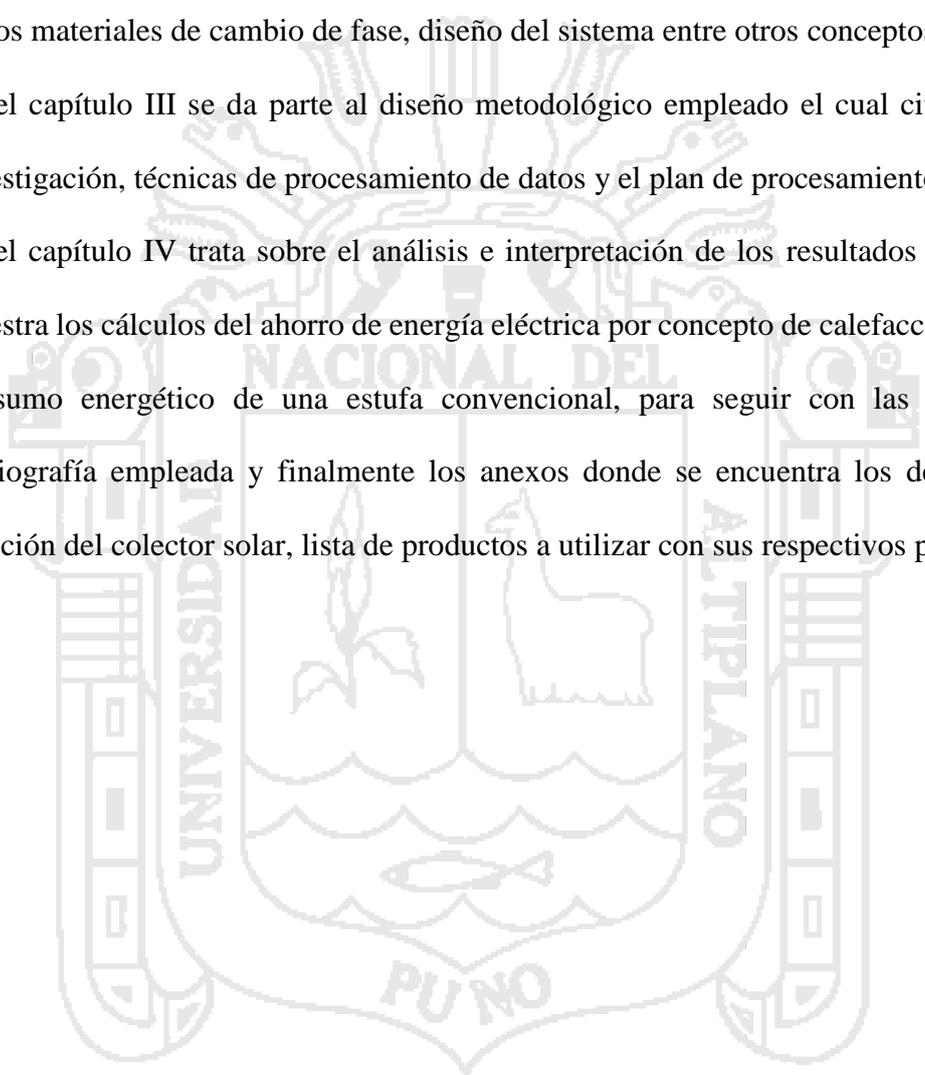
Para enfrentar el problema del friaje en las zonas altas de nuestra región, buscamos una solución que pueda beneficiar a los pobladores afectados y que además le pueda brindar otras ventajas, para ello se propone un Sistema de Almacenamiento de Energía Solar Térmica utilizando PCM, el cual tiene como principal meta servir como medio de calefacción para mejorar la calidad de vida del poblador alto andino en su vivienda rural. Este sistema no es nada nuevo, de hecho, su estructura es básicamente similar al de una terma solar clásica, pero tiene algunas variantes en el diseño y materiales para abaratar costos usando los recursos de las zonas en las que se instale, este sistema funcionará con materiales de cambio de fase para lograr una mejor retención del calor y se espera que tenga otros usos en el hogar como el precalentamiento de agua para diferentes usos.

En el capítulo I se desarrolla la descripción del problema en la necesidad de implantar sistemas térmicos de calefacción en las zonas de friaje basados en el almacenamiento de energía solar térmica utilizando materiales de cambio de fase. La justificación del problema de investigación, los objetivos de la investigación.

En el capítulo II está el marco teórico que contiene investigaciones sobre el almacenamiento de energía calorífica, información sobre los cálculos realizados sobre la cantidad de materiales a utilizar, especificaciones técnicas de la edificación (muros, suelo, techo), cálculo de cargas térmicas (muros, suelo, techo), descripción y elección detallada de los materiales de cambio de fase, diseño del sistema entre otros conceptos.

En el capítulo III se da parte al diseño metodológico empleado el cual cita el tipo de investigación, técnicas de procesamiento de datos y el plan de procesamiento de datos.

En el capítulo IV trata sobre el análisis e interpretación de los resultados en donde se muestra los cálculos del ahorro de energía eléctrica por concepto de calefacción versus el consumo energético de una estufa convencional, para seguir con las sugerencias, bibliografía empleada y finalmente los anexos donde se encuentra los detalles de la posición del colector solar, lista de productos a utilizar con sus respectivos precios.





**CAPITULO I  
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE  
INVESTIGACION**

### **1.1 Descripción del problema.**

En las zonas altas de nuestra región y en algunos lugares del país la temperatura baja hasta por debajo de los 20°C bajo cero sufren de épocas de invierno muy duras, el fenómeno del friaje se presenta con descensos de temperaturas hasta condiciones extremas. Esta situación ha venido empeorando en los últimos años y ha causado grandes problemas de salud.

La necesidad de implantación de sistemas térmicos de calefacción en las zonas de friaje basados en energías renovables es la motivación principal de este estudio. Así pues, la presente investigación trata de la integración de instalaciones experimental térmicas solares para satisfacer la totalidad o parte de la demanda térmica de calefacción, es un interesante campo de desarrollo e implantación de nuevas tecnologías.

Por sus condiciones climáticas, el departamento de Puno es un buen escenario para el desarrollo de instalaciones de calefacción basados en energías renovables.

### **1.2 Justificación del problema.**

Las bajas temperaturas que se registran en las zonas altas de Puno y de otras regiones de nuestro país, generan muchos problemas en las comunidades.

En la Salud, de los cientos y miles de personas que viven en esas condiciones en construcciones sencillas no aptas para resistir las inclemencias del friaje, principalmente los niños son los que más sufren y eso se puede apreciar en los registros del Ministerio de Salud en cuanto al incremento de las Infecciones Respiratorias agudas (IRAS).

Otro factor importante es el alto índice de abandono escolar durante la época de invierno en estas comunidades campesinas, debido principalmente al frío, las distancias que separan las comunidades y las enfermedades respiratorias de los escolares. Durante los últimos años se han organizado campañas de ayuda para estas comunidades, se han

hecho donaciones de ropa, frazadas y alimento no perecible, los cuales no siempre han llegado a su destino.

Para hacer frente a esta amenaza que se repite todos los años, se ha pensado en una solución de larga duración y que brinde a las personas afectadas la oportunidad de vivir en un ambiente adecuado, usando una energía renovable como es la energía solar para el funcionamiento de un sistema de calefacción de sus viviendas, el cual tenga un funcionamiento versátil y pueda ser usado para varios propósitos. Este sistema es el de Almacenamiento de Energía Solar Térmica utilizando materiales de cambio de fase(PCM).

### **1.3 Objetivos de la investigación.**

#### **1.3.1 Objetivo general.**

Estudio y diseño de una vivienda rural en el departamento de puno utilizando materiales de cambio de fase para fines de confort.

#### **1.3.2 Objetivos específicos:**

- Diferenciar las configuraciones para los subsistemas de obtención de energía y de almacenamiento de calor.
- Reducir los costos de energía eléctrica con concepto de calefacción en la región de Puno.



## 2.1. Antecedentes de la investigación.

Con referencia a los materiales de cambio de fase tenemos: El material de cambio de fase más conocido y utilizado es el hielo, que a 0°C al aplicarle energía pasa del estado sólido a líquido sin variar la temperatura. Siendo este proceso reversible.

Desde el primer tercio del siglo pasado se han diseñado y fabricado numerosos Materiales de Cambio de Fase con diferentes propiedades físicas, químicas, cinéticas y por supuesto, térmicas, para responder a diferentes necesidades, usos y aplicaciones que se les requerían. El calor almacenado se cargaba durante el periodo valle eléctrico. Los siguientes estudios realizados con PCM utilizaron sales hidratadas. “La doctora María Telkes, una de las pioneras junto a otros investigadores, logró el primer resultado práctico a finales de 1948, construyendo una casa de una planta de 135 m<sup>2</sup>, climatizada por ocho colectores solares en cubierta. El calor se almacenaba en cinco bidones llenos de sal de Glauber” (A, F, & Santos, 2010).

En este caso se mezcló la sal de Glauber con bórax como agente nucleador. En un experimento posterior llevado a cabo en una casa solar en Princeton, New Jersey, por R. Huley (de Curtis Wright Corp.) se añadió bórax y derivado del cromo como agentes nucleadores de la Sal de Glauber para inhibir la corrosión.

Tras estos tres primeros intentos fallidos, muchos investigadores han examinado muchos aspectos de los PCM y sus aplicaciones. Posteriormente, el vehículo lunar Rover, del Apollo 15, utilizó parafina como medio de almacenamiento térmico que funcionó en tres sistemas de la misión espacial en el año 1960, Muro de Agua, Steve Baer, Casa en Corrales, Nuevo México en el 1971, Casa en Ebnat-Kappel (ch), Viviendas en Domat Ems (ch).

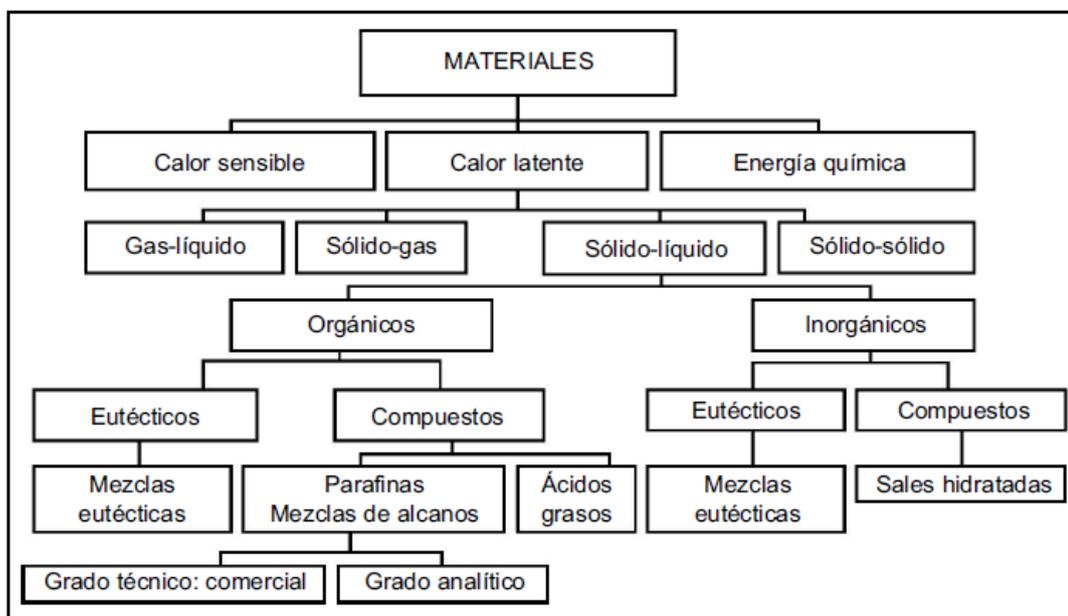
## 2.2. Sustento teórico

De entre los posibles cambios de fase, el más interesante es el de sólido a líquido, ya que, aunque la cantidad de energía almacenada es inferior que entre otros cambios de estado (sólido↔gas), la variación de volumen es menor.

Los materiales de cambio de fase líquido-sólido más comunes en el rango de temperaturas 20 °C y 80 °C son las ceras de parafina, sales hidratadas, mezclas eutécticas y ácidos grasos.

En la Figura 1 se representa la clasificación de las sustancias usadas para almacenamiento térmico, según Abhat. Las ceras de parafina están disponibles en el mercado, pero su calor latente (hasta 200 kJ/kg.) es sólo la mitad del de las sales hidratadas. Las sales hidratadas son más baratas que las ceras de parafina y también están disponibles en el mercado, pero tienen algunas desventajas como las bajas temperaturas de fusión o la corrosión en contacto con metales.

Figura 1: Clasificación de las sustancias usadas para almacenamiento térmico.



Fuente: (A, F, & Santos, 2010).

### **2.2.1. Criterios de aplicación de los materiales de cambio de fase.**

La utilización de PCM ha mejorado significativamente en los últimos 25 años, a lo largo de los cuales ha ido apareciendo información sobre sus características, pero, aunque existe bastante información, está muy dispersa y es difícil encontrarla. “Un trabajo de recopilación sobre almacenamiento de energía térmica con cambio de fase sólido-líquido ha sido desarrollado por Zalba, B. El trabajo se centra en materiales, transmisión de calor y sus aplicaciones, y enumera 150 materiales utilizados en investigación como materiales de cambio de fase” (Cabrera D. A., 2012), 45 de los cuales están disponibles comercialmente.

Las mezclas de sales hidratadas inorgánicas, agua y agentes nucleadores y estabilizadores son los PCM eutécticos usados más frecuentemente en aplicaciones de almacenamiento de frío. Pero estas mezclas eutécticas son algo complicadas de preparar y manejar, con lo que se está trabajando con otros PCM con unos materiales primarios más disponibles.

En general, los PCM tienen múltiples y variados usos, desde la electrónica (para mantener los dispositivos a una temperatura adecuada para su buen funcionamiento) hasta la botánica (protección térmica de plantas, para evitar heladas invernales). También se utilizan para transporte de mercancías, sensibles a los cambios de temperaturas (material sanitario), para la industria alimentaria, industria textil (especialmente en prendas deportivas para evitar hipotermias o hipertermias).

### **2.2.2. Diseño del acumulador de calor.**

Con el fin de optimizar el rendimiento del sistema de calefacción solar, este proyecto está diseñado para albergar un sistema de acumulación estacional. De entre los sistemas más comunes citados en el apartado anterior debemos descartar los sistemas de sondeos y de acuíferos naturales, pues es necesario disponer de unas

condiciones geológicas muy restrictivas: necesitamos tener una temperatura alta en el subsuelo con el fin de calentar el fluido caloportador, este perfil de subsuelo es más bien típico en países como Islandia donde este tipo de tecnología combinado con bombas de calor son instalados para satisfacer una fracción importante de la demanda anual de calefacción.

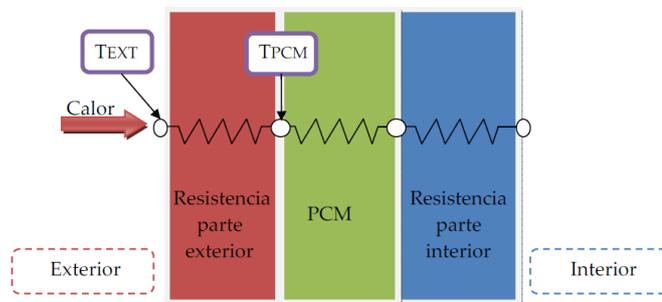
Figura 2: Cálculo de las teorías térmicas.

PCM elegidos	$\lambda_{sólido}$ [W/m·K]	$\lambda_{líquido}$ [W/m·K]	$\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$h_f$ [kJ/kg]	$T_f$ [°C]
MAGIC BOX MEZCLA HIDROC.SAT. E INSAT.	0,464	0,232	1110	188	23
SP25 A8	0,600	0,598	1380	180	26
AC27	1,85	1,15	867	184,78	27
CLIMSEL C28	0,7	0,5	1420	162	28
RT27	0,2	0,2	870	179	28
PX27	0,1	0,1	640	112	28
GR27	0,2	0,2	750	72	28
DELTA@-COOL 28	1,12	0,56	1555	188	28
SAVENRG PCM 29P*	1,09	0,54	1840	190	29

Fuente: (Martínez, 2012).

Es necesario determinar en qué momento el PCM comienza a almacenar energía latente. Esto ocurre cuando el PCM alcanza la temperatura de fusión. Para ello, es necesario determinar su temperatura a lo largo de todo el periodo analizado. Se ha utilizado la analogía entre la resolución de circuitos eléctricos y térmicos para representar gráficamente en la Figura 6 el método utilizado para la obtención de la temperatura del PCM.

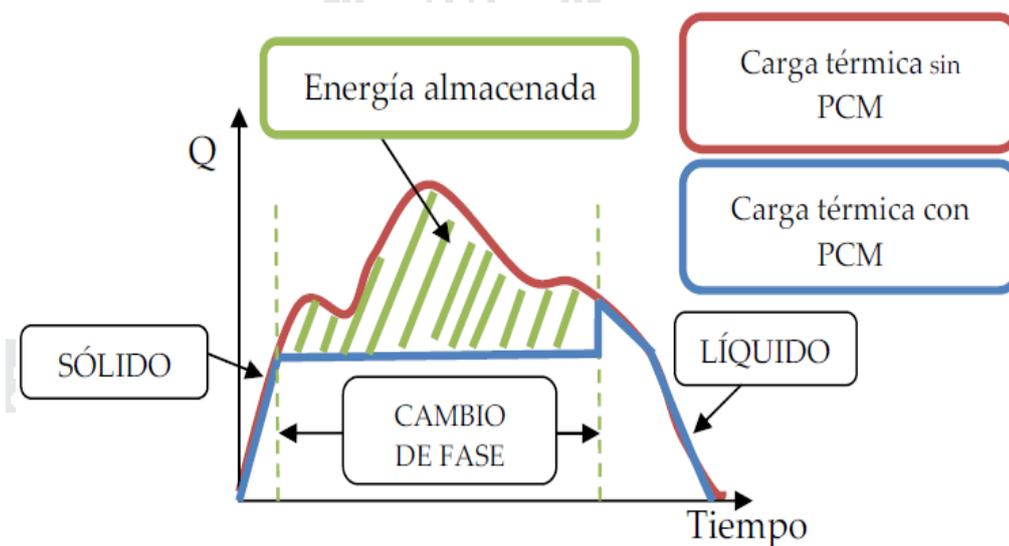
Figura 3: Esquema de comportamiento de los PCM.



Fuente: (Maya, 2010).

Se procede a la esquematización del comportamiento de la carga térmica durante un ciclo de 24 horas donde se puede diferenciar los tres casos descritos anteriormente que coinciden con los estados sólido, líquido y cambio de fase.

Figura 4: Esquema del comportamiento de la carga térmica en un ciclo de fusión del PCM.



Fuente: (San José, 2011).

### 2.2.3. Cantidad de PCM necesaria.

La cantidad de material de cambio de fase ha sido determinada a través de las simulaciones de la demanda térmica de la vivienda se ha procedido al cálculo de la masa de PCM en caso: muro unitario.

### 2.2.4. Muro unitario.

Utilizando el muro del ejemplo se muestra la masa de PCM y los días que el propio material ha conseguido alcanzar el estado líquido. La cantidad idónea es de 1,7 kg de PCM consiguiendo un 100% de días sin alcanzar líquido. En este caso, es posible conseguir este porcentaje porque la diferencia entre un 95% y un 100% es ínfima. Además, el precio de aumentar ese porcentaje no alcanzara una cantidad importante.

Figura 5: Características de los pcm.

Masa PCM [kg]	Días que consigue estado líquido	Porcentaje de días sin alcanzar líquido
1	28	77,0
1,2	22	82,0
1,4	8	93,4
1,6	2	98,4
1,65	1	99,2
1,7	0	100,0

Fuente: (Juarez, 2011).

La cantidad elegida es de 1,7 kg repartidos sobre el metro cuadrado del muro ejemplo.

### 2.2.5. Sistema de captación solar.

La energía solar es la energía obtenida a partir del aprovechamiento de la radiación procedente del sol.

La radiación solar es el flujo de energía que recibimos desde este astro en forma de ondas electromagnéticas de diferentes frecuencias y distintas longitudes de onda. El Sol se compone principalmente de Hidrógeno (90%) y Helio (7%), en él tienen lugar reacciones de fusión ( $H \rightarrow He$ ), la energía desprendida se transforma en rayos gama, estas ondas interactúan con la materia solar y generan radiaciones de diferente longitud de onda, así pues, podemos distinguir distintos tipos de radiación.

Ultravioletas  $\lambda < 0,38 \mu m$  (6,4%)

Visible:  $0,38 \mu m < \lambda < 0,78 \mu m$  (48%)

Infrarroja:  $\lambda > 0,78 \mu m$  (45,6%)

La intensidad de la radiación solar extraterrestre ( $G_0$ ) es la energía solar por unidad de tiempo en una superficie de área unidad perpendicular a la propagación de la radiación y situada fuera de la atmósfera, su valor varía a lo largo de un año y se encuentra entre  $1398 \text{ W} / \text{m}^2$  y  $1310 \text{ W} / \text{m}^2$ , esta variación es debida a la excentricidad de la órbita de la Tierra que hace que la distancia entre ésta y el Sol

presente ligeras variaciones a lo largo del año. En la actualidad se toma el valor de  $I_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ .

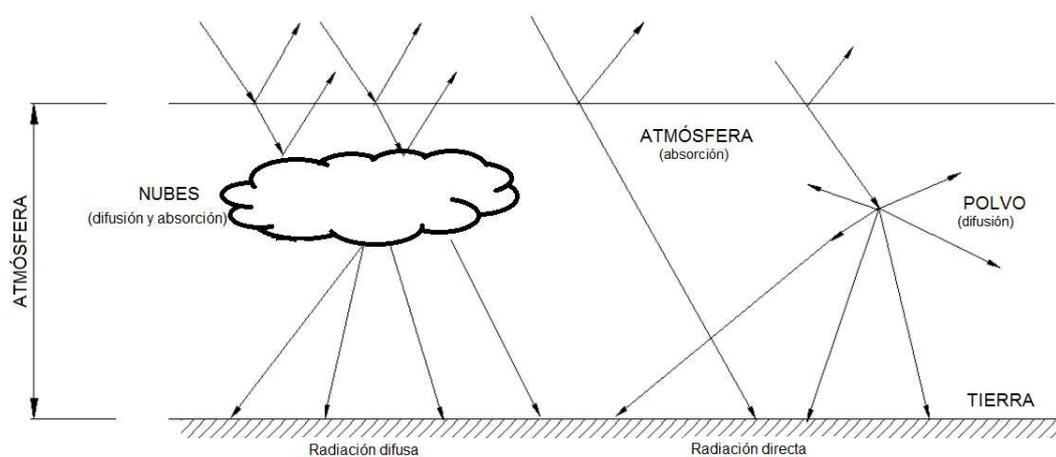
Sin embargo, la radiación que alcanza la superficie terrestre queda reducida a unos  $900 \text{ W/m}^2$ , por efectos de absorción, reflexión y difusión en la materia atmosférica (nubes, polvo, vapor de agua, polución, aerosoles, dióxido de carbono y otros gases). Así pues, la cantidad de radiación que llega a la superficie terrestre es menor, su espectro varía y además no llega toda en la misma dirección. Podemos distinguir tres tipos de radiación.

Radiación directa ( $I_b$ ), la que llega a la superficie terrestre sin haber sido desviada.

Radiación difusa ( $I_d$ ), aquélla que ha sufrido fenómenos de difusión a lo largo del aire y no tiene una dirección predominante;

Radiación reflejada ( $I_r$ ) que llega, como su nombre indica, por reflexión en otras superficies. Por tanto, en un día soleado predominara la radiación directa y en uno nublado la difusa, mientras que la reflejada depende siempre del albedo del entorno, y cobra mayor importancia en zonas nevadas y desérticas.

Figura 6: Componentes de la radiación total incidente en la Tierra.



Fuente: (Pezo , 2011).

La suma de estos tres tipos de radiación se denomina radiación global, se mide con instrumentos denominados pirómetros y se suele referir a la radiación sobre

plano horizontal ya que es la posición en la que se encuentran los instrumentos de medida.

Es posible aprovechar la radiación solar y obtener energía mediante sistemas denominados colectores solares, para recoger la máxima cantidad de radiación solar por unidad de superficie es preciso inclinar el colector hasta lograr la incidencia normal de los rayos de sol, por ello resulta interesante conocer la posición del Sol con respecto a la Tierra durante un año.

#### 2.2.6. Dirección de la radiación solar.

Mediante un sistema de coordenadas esféricas con origen en el observador es posible conocer la posición del Sol para cada día y hora del año y por tanto la dirección de la radiación. Existen una serie de parámetros necesarios para definir dicho sistema de coordenadas.

- Latitud ( $\Phi$ ) es el arco de meridiano que se extiende desde el ecuador hasta el paralelo local, con lo que aumenta de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ , tomando valores positivos para el hemisferio norte.
- Declinación ( $\delta$ ) El eje de la Tierra está inclinado  $23, 45^\circ$  respecto a la perpendicular al plano que contiene su órbita alrededor del Sol. El ángulo que forman los rayos de Sol y el Ecuador varía entre  $\pm 23, 45^\circ$  según la expresión siguiente y se conoce como ángulo de declinación ( $\delta$ ).

$$(1) \delta = 23.45 \cdot \sin \left( 360 \frac{284+n}{365} \right) , \text{ siendo } n \text{ el numero de dias al año.}$$

- Angulo horario ( $\omega$ ) Representa el arco orbital instantáneo del Sol respecto del mediodía local, de modo que el ángulo horario a las 12:00 horas es nulo y el Sol se encuentra en el sur. El criterio internacional más extendido toma signo positivo para la mañana y negativo para la tarde. Teniendo en cuenta que la velocidad de

rotación de la Tierra es de  $15^\circ/\text{hora}$ . Podemos determinar el ángulo ( $\omega$ ) con la siguiente expresión.  $\omega = 180 - 15 \times (HSL)$

- Ángulos solares. Como ya se ha comentado anteriormente, existe un sistema de coordenadas esféricas con centro en el observador es posible definir la posición del Sol en el cielo a partir de los siguientes ángulos:

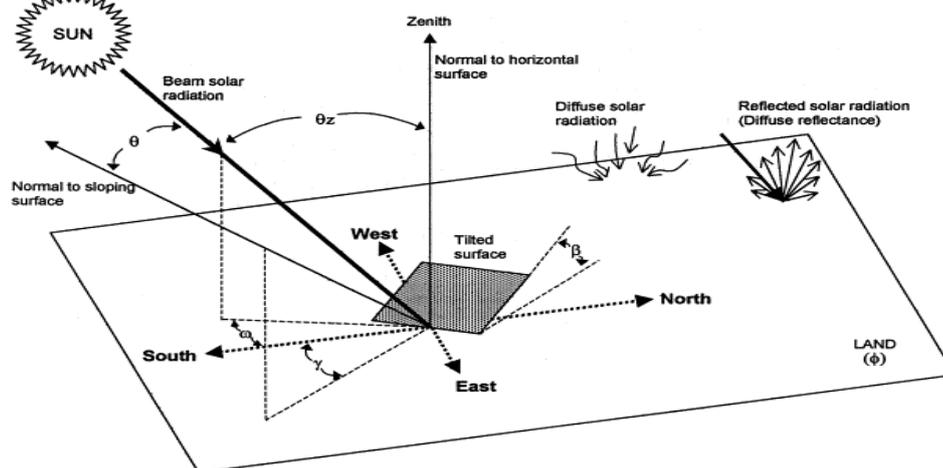
Altura solar ( $\alpha_s$ ). Es el ángulo de elevación del Sol sobre el horizonte. Comienza en  $0^\circ$  al amanecer, culmina al mediodía con el valor:  $\alpha_{s\text{max}} = 90^\circ - \Phi + \delta (n)$ .

El Angulo zenital ( $\theta_z$ ): Es el ángulo complementario de la altura solar.

### 2.2.7. Inclinación e inclinación óptima de los colectores ( $\beta$ ).

Por lo general, se utilizan datos empíricos obtenidos por medición directa para hallar la radiación global incidente en una superficie horizontal, y a partir de los ángulos que definen la orientación e inclinación de la superficie colector es posible conocer la radiación incidente sobre ellos.

Figura 7: Orientación solar.



Fuente: (rincondelvago, 2005)

Como ya hemos comentado, para recoger la máxima cantidad de radiación solar posible por unidad de superficie es preciso inclinar la superficie del colector hasta

lograr la incidencia normal con los rayos del Sol. Así en el hemisferio norte, si la latitud es mayor que la declinación hay que inclinar el colector hacia sur y hacia el norte en el caso de encontrarnos en el hemisferio sur.

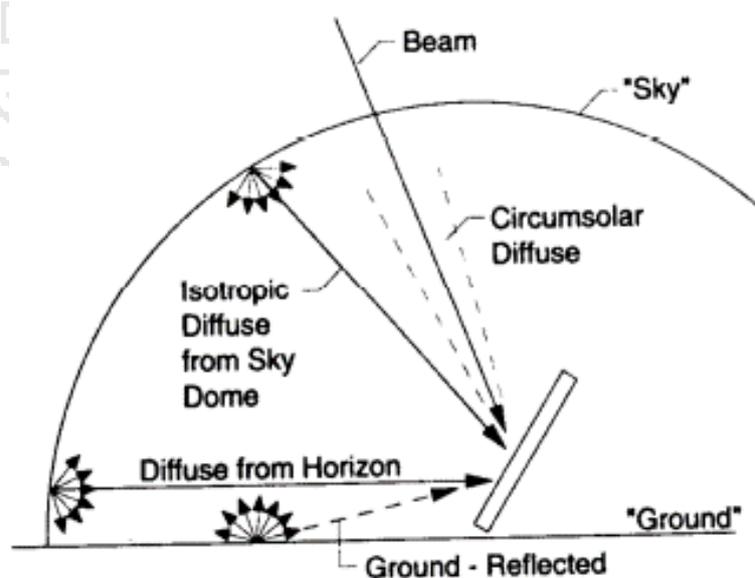
La inclinación óptima es igual a la diferencia entre la latitud y la declinación y por tanto varía para cada día del año.  $\beta_{optima}(n) = \phi - \delta(n)$

### 2.2.8. Radiación sobre una superficie inclinada.

La radiación solar se registra normalmente para un plano horizontal en forma de radiación global sin distinguir entre componente directa y difusa, por tanto, habrá que determinar cuánta radiación es difusa, cuánta reflejada y de qué dirección viene, para ello existen una serie de estudios y correlaciones que generan los llamado modelos de cielo. La radiación total incidente sobre un plano inclinado se suele descomponer en: directa  $I_b$ , difusa isotrópica  $I_{d, iso}$ , difusa circumsolar  $I_{d, cs}$ , difusa de horizonte  $I_{d, hs}$  y reflejada  $I_{d, r}$  y se expresa como la suma de las distintas contribuciones.

$$(2) I_T = I_b + I_d = I_b + I_{d, iso} + I_{d, cs} + I_{d, hs} + I_{d, r}$$

Figura 8: Orientación de la radiación solar.



Fuente: (Serrano, 2012).

Los modelos de cielo separan la radiación difusa en fracciones manejables partiendo de ciertas hipótesis simplificadoras. En este proyecto se trabajará sobre el modelo de cielo aniso trópico HDKR (Hay, Davies, Klucher, Reindl). Según este modelo la radiación total sobre la superficie inclinada del colector se expresa del siguiente modo:

$$(3) I_T = I_b + I_d = I_b + I_d, iso + I_d, cs I_d, hs + I_d, r$$

$$(4) I_T = (I_b + I_d \cdot A_i) R_b + I_d (1 - A_i) \cdot \left(1 + \frac{\cos(\beta)}{2}\right) \cdot \left(1 + f \sin\left(\frac{\beta}{2}\right)^3\right) + I \cdot \rho_g \left(1 - \frac{\cos(\beta)}{2}\right)$$

Donde:

$$(5) R_b = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\theta_2)}$$

*relacion entre la radiacion directa sobre el plano inclinado y el horizontal*

$\theta$  : ángulo de incidencia con respecto a la superficie horizontal

$\theta_2$ : ángulo de incidencia con respecto a la superficie inclinada

$\rho_g$  : reflectividad del suelo: 0.2 en condiciones normales

$\left(1 + \frac{\cos(\beta)}{2}\right)$  : factor de forma entre el colector y el cielo

$\left(1 - \frac{\cos(\beta)}{2}\right)$  : factor de forma entre el colector y el cielo

Para separar lecturas de radiación global en sus componentes directa y difusa se recurren a correlaciones, se utiliza un índice de transparencia atmosférico como parámetro.

$$(6) \frac{I_d}{I} = \begin{cases} 1 - 0.09 K_t & \text{si } K_t \leq 0.22 \\ 0.9511 - 0.1604 K_t + 4.388 K_t^2 - 16.683 K_t^3 + 16.683 K_t^4 & \text{si } 0.22 \leq K_t < 0.8 \\ 0.165 & \text{si } K_t \geq 0.8 \end{cases}$$

Donde:

$K_t$  Índice de transparencia atmosférico (irradiación sobre el plano horizontal / irradiación atmosférica)

**2.2.9. Captadores solares.**

El captador solar es el elemento clave de los sistemas térmicos de calefacción y refrigeración solar. Su función es transformar la energía solar en energía térmica útil. En este apartado se resumirán las principales características técnicas de las diferentes tecnologías de captación solar disponibles. La correcta elección del tipo de captador depende principalmente de la temperatura de trabajo deseada y de las condiciones climáticas.

El rendimiento de los captadores solares disminuye al aumentar la temperatura del fluido y también cuando la temperatura ambiente o la radiación disponible disminuyen.

**2.2.9.1. Tipos de captadores.**

Tabla 1: Temperatura media de los captadores solares

De baja temperatura (hasta 60°C)	De temperatura media (60-400°C)	De alta temperatura (400-3000°C)
Captadores planos	Captadores de vacío concentradores	Concentradores parques de heliostatos
ACS Calefacción Piscinas Secaderos	Calefacción Refrigeración Climatización Procesos industriales y químicos.	Procesos industriales de alta temperatura. Generación eléctrica.

Fuente: (López, 2009).

a *Captadores solares planos.* “En este tipo de captadores, el fluido que circula por el interior del absorbedor es usualmente agua (a menudo con aditivos anticongelantes) aunque es posible utilizar otros fluidos” (López, 2009). Con el fin de maximizar la obtención de energía y reducir las pérdidas térmicas, estos captadores cuentan con los siguientes elementos.

i *Tubos del circuito del fluido térmico.* Conjunto de tuberías por donde circula el fluido caloportador, esto tubos están en contacto directo con el absorbedor y su unión

suele hacerse mediante soldadura metálica a lo largo de toda la longitud del tubo para que la transferencia de calor se realice a través de una superficie de alta conductividad.

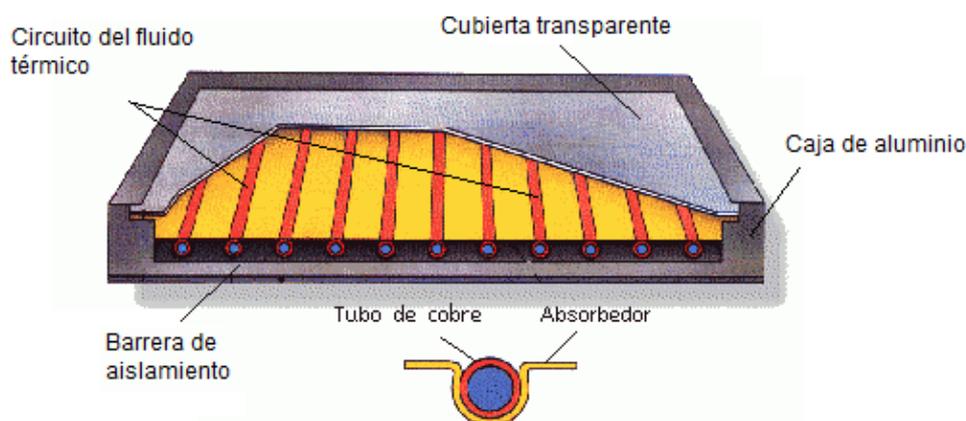
ii *Placa absorbedora.* Es el elemento donde la energía absorbida en forma de radiación solar se convierte en energía térmica y se transfiere al fluido caloportador. Las superficies absorbedoras suelen tener recubrimientos diseñados para tener la absorptividad más alta posible del espectro visible e infrarrojo y la emisividad más baja posible del espectro infrarrojo correspondiente a las temperaturas de operación del captador.

iii *Cubierta transparente.* Ésta puede ser simple o doble, tiene por objeto permitir el paso de la radiación solar de una forma óptima y provocar el efecto invernadero además de reducir las pérdidas.

iv *Barreras de convección.* Son película situada en la parte posterior de la cubierta de cristal (habitualmente construidas de teflón) que presenta una gran resistencia al calor para reducir las pérdidas por convección.

v *Caja o carcasa.* Alberga los elementos que componen el captador solar y alberga el material aislante que impide las pérdidas térmicas por la superficie no transparente del captador solar.

Figura 9: Captadores solares planos.



Fuente: (seenergy, 2016).

b *Captadores solares de tubo de vacío.* Están formados por hileras de tubos de cristal conectados en paralelo a una tubería de cabecera. En cada uno de estos tubos se ha realizado el vacío a fin de reducir al máximo las pérdidas de calor. Su geometría tubular es necesaria para soportar la diferencia de presiones entre la atmosférica y el vacío interior. Se pueden clasificar en dos grupos:

i *Tubos de flujo directo.* Este sistema fue el primero en desarrollarse, y su funcionamiento es idéntico al de los captadores solares planos, en donde el fluido caloportador circula por el tubo expuesto al sol, calentándose a lo largo del recorrido.

ii *Tubos tipo heat pipe o flujo indirecto.* Es una evolución del tubo de flujo directo que trata de eliminar el problema del sobrecalentamiento presente en los climas más calurosos. En este sistema, se utiliza un fluido que se evapora al calentarse, ascendiendo hasta un intercambiador ubicado en el extremo superior del tubo. Una vez allí, se enfría y vuelve a condensarse, transfiriendo el calor al fluido principal. Este sistema presenta una ventaja en los veranos de los climas cálidos, pues una vez evaporado todo el fluido del tubo, éste absorbe mucho menos calor, por lo que es más difícil que los tubos se deterioren o se rompan.

Figura 10: Tubos tipo heat pipe o flujo indirecto.

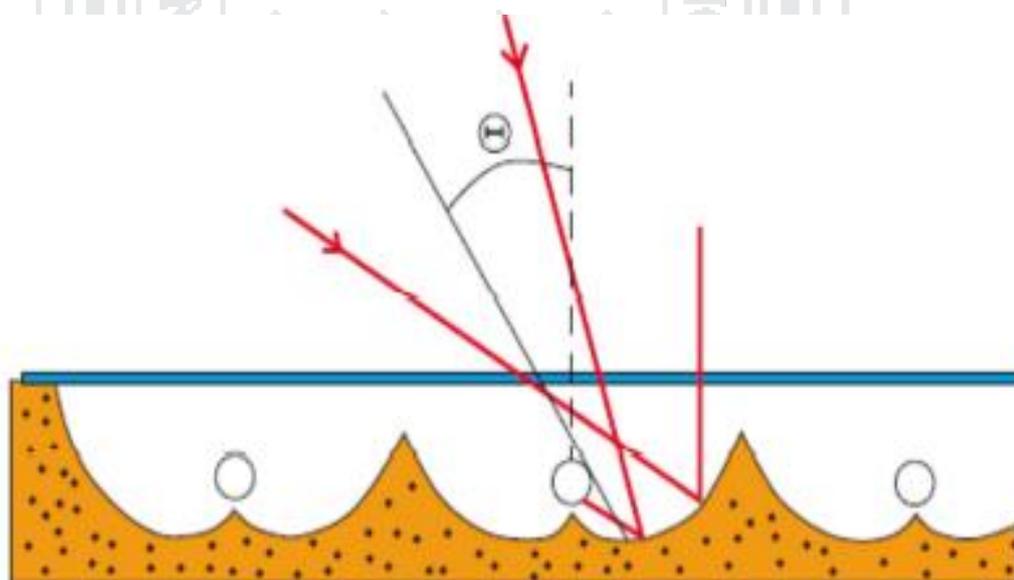


Fuente: (Serrano, 2012).

c *Captadores de vacío.* Su funcionamiento es similar a los captadores solares de tubos de vacío, pero en este caso el vacío se produce en el espacio entre absorbedor y cubierta por tanto será necesario incorporar elementos que den rigidez a su estructura, para evitar el hundimiento de la cubierta acristalada. Existen varios modelos en el mercado, los más sencillos son similares a un colector plano normal, pero con vacío entre la cubierta y el absorbedor, los modelos más complejos, llamados UHV (Ultra High Vacuum) logran un vacío de hasta  $1 \cdot 10^{-12}$  bar reduciendo de manera considerable las pérdidas por conducción y convección.

d *Captadores parabólicos compuestos. (concentradores):* También llamados concentradores porque concentran la radiación mediante el uso de reflectores que, después de una o más reflexiones, fuerzan la radiación incidente dentro de un cierto ángulo (llamado ángulo de aceptación) en la dirección del absorbedor. El gran ángulo de aceptación de estos dispositivos les permite aprovechar tanto la radiación directa como la indirecta.

Figura 11: Esquema de funcionamiento de un concentrador.

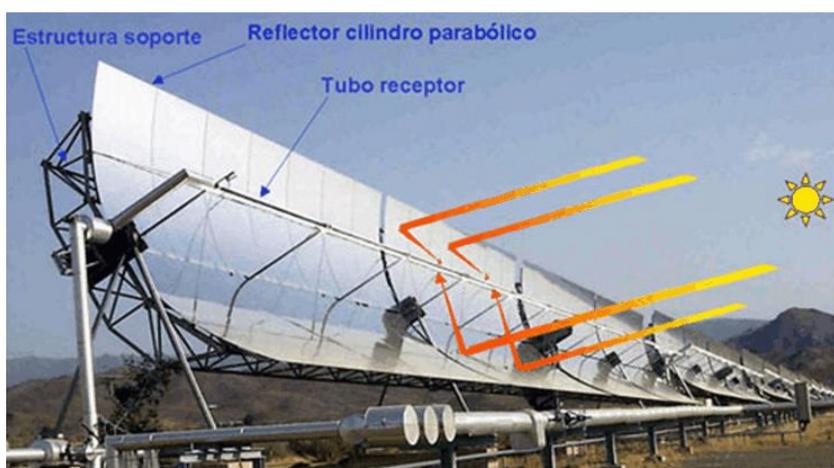


Fuente: (infobae, 2016).

e *Captadores lineales de tipo fresnel.* La tecnología Fresnel utiliza reflectores planos, simulando un espejo curvo por variación del ángulo ajustable de cada fila individual de espejos en relación con el absorbedor. “Los espejos paralelos enfocan la energía irradiada por el sol en un tubo, colocado por encima de los espejos se utiliza agua como fluido caloportador en estado vapor. Los niveles de concentración solar son inferiores respecto a los captadores cilindro-parabólicos y, por tanto, las temperaturas de trabajo son más bajas” (Paredes, 2012). Esta tecnología destaca por su sencillez y bajo coste. Los reflectores se construyen con espejos de vidrio normales, por lo tanto, su materia prima es muy barata, por otro lado, la forma curvada de los espejos cilindro parabólicos, y su mayor calidad, hace que sean un 15% más eficiente que los espejos Fresnel.

f *Captadores cilíndrico-parabólicos (ccp).* Este tipo de captadores incorporan un mecanismo que permite alcanzar temperaturas elevadas en el fluido caloportador ( $T > 150^{\circ}\text{C}$ ), los captadores cilíndrico-parabólico son la tecnología de generación de calor a alta temperatura más madura, se utiliza en plantas de generación eléctrica o en procesos industriales que requieran calor a alta temperatura. “Los reflectores, que tienen una forma parabólica, concentran la radiación solar directa en el receptor situado a lo largo del foco. El receptor consiste en un tubo absorbedor con un área, que es normalmente de 25 a 35 veces más pequeña que la apertura. El fluido a calentar circula por el interior del tubo absorbente” (Paredes, 2012). Los fluidos de trabajo más habitual son los aceites térmicos. El tubo absorbente o receptor es uno de los elementos fundamentales de todo CCP, ya que de él depende en gran medida el rendimiento global del captador. El receptor suele estar formado por dos tubos concéntricos. El tubo metálico interno lleva un recubrimiento selectivo que posee una elevada absorptividad ( $>90\%$ )

Figura 12: Esquema de funcionamiento de un CPC.



Fuente: (rincondelvago, 2005).

g *Otras tecnologías de captación solar.* Parques de heliostatos / disco Stirling: Existen concentradores térmicos puntuales (no lineales), como plantas solares de torre y discos Stirling, que utilizan mecanismo de seguimiento de dos ejes y no suelen encontrarse en sistemas generadores con aplicaciones térmicas exclusivamente.

#### 2.2.10. Selección del captador solar.

“Existen muchos factores que influyen a la hora de decidir qué tipo de colectores instalamos en nuestro proyecto solar: (factores técnicos, económicos, limitación de espacio...)” (Cabrera J. , 2011). Para este proyecto de investigación nos basaremos en la temperatura de operación prevista del fluido caloportador a su paso por el colector.

Por las características de la instalación descritas en el anterior, suponemos en una primera aproximación que la temperatura de entrada del colector ( $T_{ic}$ ) es constante y coincide con la temperatura del cambio de fase del material PCM que almacena el calor en el depósito: ( $T_{ic} \approx T_{PCM} \approx 48^{\circ}\text{C}$ ).

La carga energética del material de cambio de fase no requiere temperaturas excesivamente altas (basta con temperaturas superiores a los  $48^{\circ}\text{C}$ ), por tanto, es

razonable la elección de colectores planos como sistema de captación solar en este proyecto.

La carga energética del material de cambio de fase no requiere temperaturas excesivamente altas (basta con temperaturas superiores a los 48°C), por tanto, es razonable la elección de colectores planos como sistema de captación solar en este proyecto.

- Ventajas:
- Estructura robusta y sencilla en comparación con otros tipos de captadores.
- Ampliamente desarrollados y contrastados desde un punto de vista técnico.
- Relación favorable entre el precio y el rendimiento.
- Atractivo desde un punto de vista estético, debido a las superficies planas y tintadas que existen hoy en día.

Figura 13: Montaje del sistema de captación sobre el tejado de las viviendas de Alemania.



Fuente: (infobae, 2016)

Barrio de Alemania que genera su propia energía.



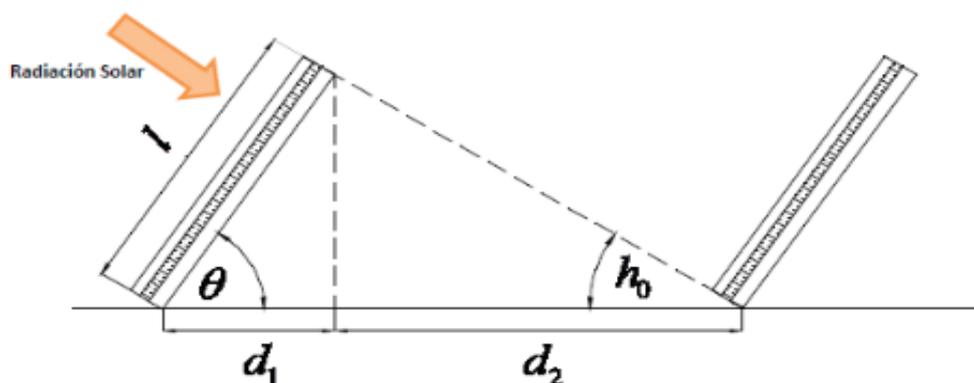
Fuente: (infobae, 2016).

La separación entre filas de captadores será tal que, al mediodía solar del día más desfavorable, la sombra de la arista superior de una fila a de proyectarse como máximo sobre la arista inferior de la fila siguiente.

En nuestro caso, el campo de captadores está orientado hacia el sur y situado en el hemisferio norte, se sabe que:

$$(7) H_0 = (90^\circ - \text{latitud}) - 23,5^\circ = (90 - 10) - 23,5 = 56,$$

Figura 14: Distancia entre filas de colectores.



Fuente: (Cabrera J. , 2011)

Figura 15: Posición del sol.



Fuente: (sunearthtools, 2016)

### 2.2.11. Circuito solar.

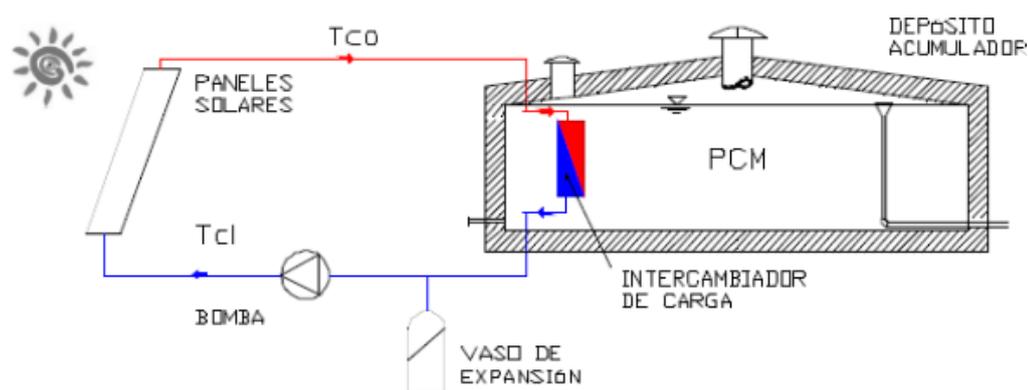
El circuito solar de nuestro diseño de instalación es aquél que engloba desde el sistema de captadores hasta el intercambiador de carga del tanque acumulador. El fluido de trabajo circula a través del sistema de tuberías pre aisladas y es el encargado de transmitir la energía térmica absorbida por el colector solar al acumulador estacional de calor.

Resumen de componentes:

- **Colectores.** Son los dispositivos encargados de absorber la irradiación solar incidente y transformarla en energía térmica a través del sistema de tubos de su interior.
- **Fluido de transferencia térmica (HTF).** Circula por el sistema de tubos de los colectores almacenando calor hasta el intercambiador donde cede parte de su calor, a la salida del intercambiador es impulsado por el sistema de bombeo y vuelve a circular a través de los tubos del sistema de colectores.

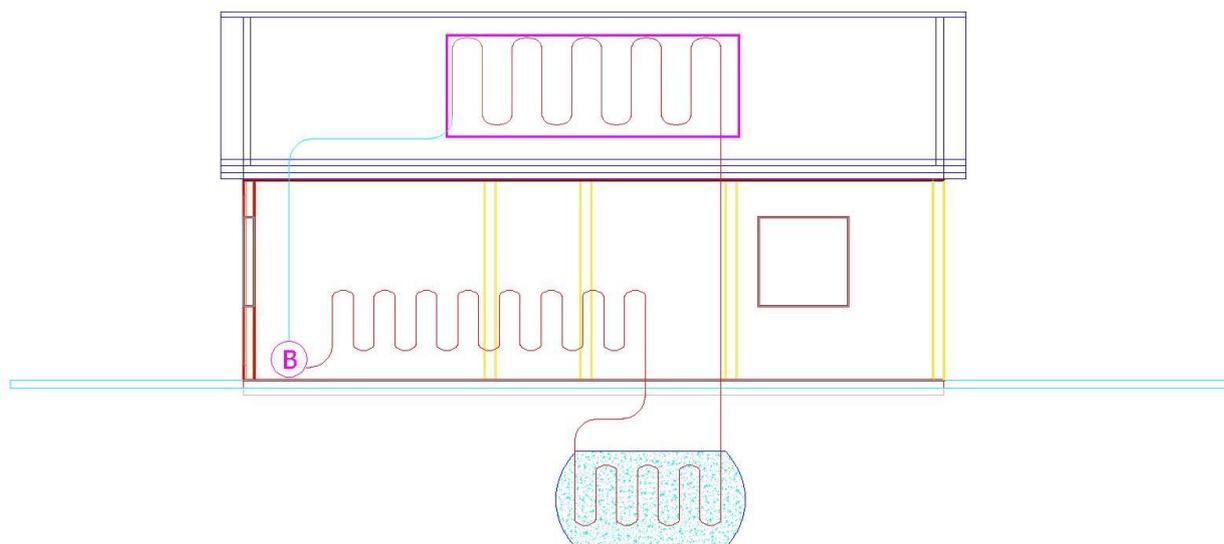
- Sistema de bombeo. El circuito primario consta con una bomba eléctrica que permite regular la transferencia térmica a partir de la regulación del caudal.
- Vaso de expansión. Localizado a la salida del intercambiador, su función es absorber la dilatación de volumen sufrida por el fluido debido a los cambios de temperatura.

Figura 16: Esquema general del circuito primario del sistema.



Diseño: Propia.

Figura 17: Esquema general del circuito primario del sistema.



Diseño: Propia.

#### **2.2.12. Almacenamiento de calor y materiales de cambio de fase (PCM).**

El concepto de almacenamiento de calor en sistemas térmicos consiste en aprovechar el calor generado por los colectores solares con el fin de disminuir los gastos de energía eléctrica. El almacenamiento térmico mejora la eficiencia energética de los sistemas de calefacción / climatización. “Existen tres posibilidades de almacenamiento de energía térmica que se investigan en la actualidad” (Bérriz, s.f.).

#### **2.2.13. Por calor sensible.**

(Cerezuela, 2008) “El calor sensible es aquel que recibe un cuerpo o un objeto y hace que aumente su temperatura sin afectar su estructura molecular y por lo tanto su estado la cantidad de calor necesaria para calentar o enfriar un cuerpo es directamente proporcional a la masa del cuerpo”. En la mayoría de las aplicaciones de acondicionamiento térmico de espacios el calor se guarda en tanques de agua o lechos de piedra en forma de calor sensible el cual se puede aprovechar para los fines necesarios.

#### **2.2.14. Por calor latente.**

Que es el calor necesario aportar o extraer para que una masa  $m$  de cierto material cambie de fase, este calor es proporcional a la masa, la constante de proporcionalidad  $L$  (J/kg) se denomina calor latente de la sustancia y depende del tipo de cambio de fase.

#### **2.2.15. Por reacción química.**

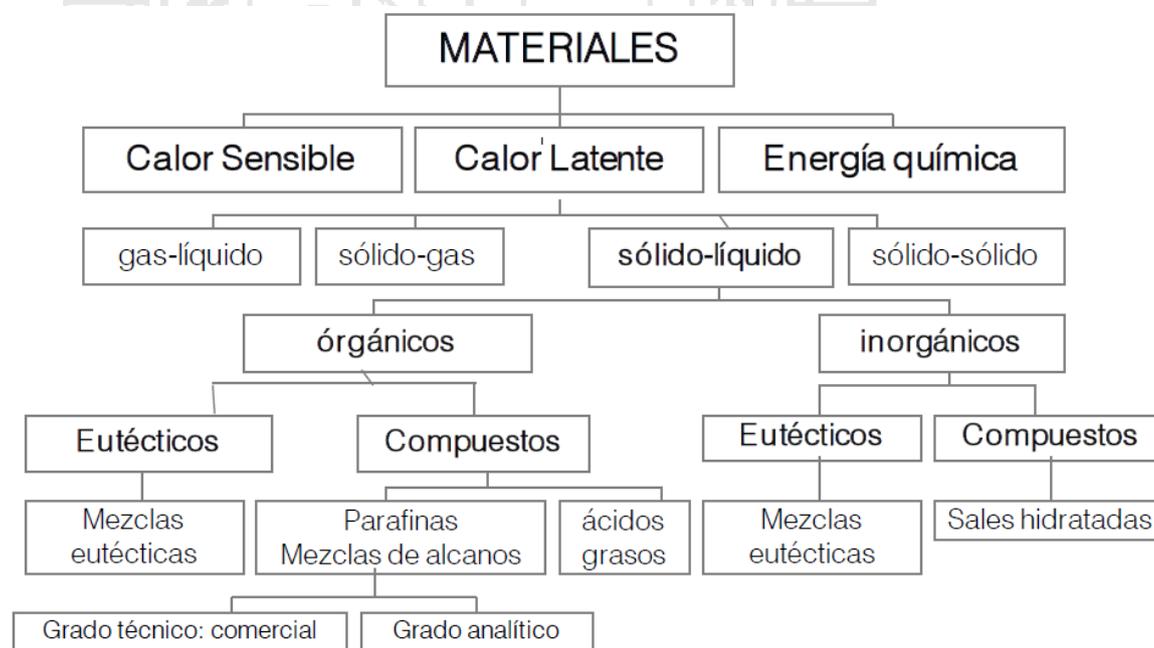
Las reacciones químicas poseen una elevada capacidad de almacenamiento térmico (hasta 350 kWh / m<sup>3</sup>) dependiendo de la reacción, pero para ello se necesitan altas temperaturas (130°C aproximadamente) por lo que su aplicación está relacionada con procesos industriales más complejos.

Aun cuando el agua es el elemento más utilizado para el almacenamiento de energía debido a sus buenas propiedades térmicas y a su bajo costo, con pequeñas cantidades de PCM se puede mejorar considerablemente un aumento significativo del rendimiento del sistema de almacenamiento térmico consiguiendo que el agua del depositada se mantenga a una temperatura óptima para el uso durante un periodo de tiempo considerablemente mayor sin la necesidad de aportación de energía así como un rápido recalentamiento del agua hasta la temperatura de uso en caso de que el depósito se vacíe completamente.

### 2.2.16. Tipos de materiales de cambio de fase.

Los materiales de cambio de fase líquido-sólido más comunes en el rango de temperaturas 20 °C y 80 °C son las ceras de parafina, sales hidratadas, mezclas eutécticas y ácidos grasos (Dechema, 2012).

Figura 18: Clasificación de las sustancias usadas para almacenamiento térmico.



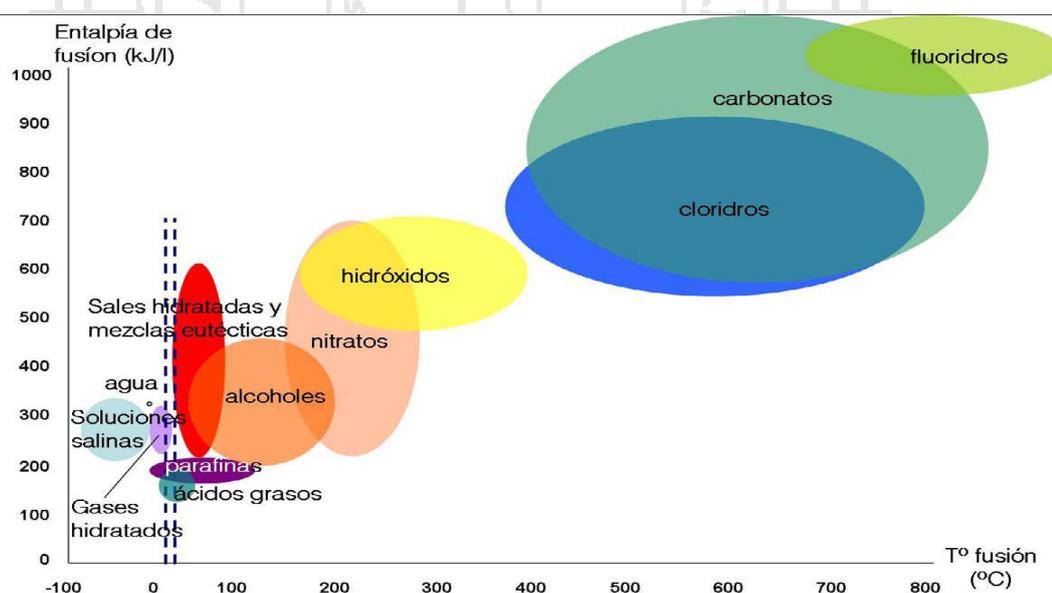
Fuente: (A, F, & Santos, 2010).

Las ceras de parafina están disponibles en el mercado, pero su calor latente (hasta 200 kJ/kg.) es sólo la mitad del de las sales hidratadas. Las sales hidratadas son más

baratas que las ceras de parafina y también están disponibles en el mercado, pero tienen algunas desventajas como las bajas temperaturas de fusión o la corrosión en contacto con metales.

“Los compuestos orgánicos, frente a los inorgánicos, no presentan problemas de subenfriamiento y son más estables” (A, F, & Santos, 2010). Los materiales orgánicos, especialmente sustancias como las ceras, grasas y sus ésteres han sido recomendados como acumuladores. Su calor latente de fusión, densidad, conductividad térmica y calor específico se encuentran en el orden de 120 kJ/kg, 800 kg/m<sup>3</sup>, 0,20 W/m C y 1500 J/kg °C, respectivamente.

Figura 19: Muestra la relación entre la temperatura y calor de fusión para los. PCM disponibles.



Fuente: (A, F, & Santos, 2010).

### 2.2.17. PCM inorgánicos sales hidratadas.

Los primeros esfuerzos por desarrollar materiales para almacenamiento térmico utilizaban PCM inorgánicos como las sales hidratadas, fueron muy estudiados en las primeras etapas de investigación de PCM, por su bajo coste y su capacidad de

almacenamiento de grandes cantidades de calor por unidad de volumen, en comparación con las sustancias orgánicas, que las convierten en candidatos idóneos para sus múltiples aplicaciones en el ámbito del almacenamiento de energía solar. “Ninguna sal hidratada solidifica en su punto de congelación, aunque están sub-enfriadas varios grados por debajo de éste. Así, el líquido sub-enfriado permanece en un estado meta estable. La introducción de un núcleo cristalino en el PCM provoca una cristalización espontánea de todo éste” (Cerezuela, 2008).

Varios estudios se han centrado en la búsqueda de materiales que tengan un buen almacenamiento de calor y que ocupe un menor espacio. Se han desarrollado técnicas de encapsulado de las sales hidratadas, a través de las cuales las partículas de la emulsión, o los gránulos, o incluso grandes bloques de materiales, se encapsulan en resinas flexibles de poliéster. También se ha examinado la influencia de varias mezclas para obtener un mejor resultado “Añadiendo cloruro de manganeso tetrahidratado en nitrato de manganeso hexahidratado en cantidades del 4% en peso no varía el calor de fusión” (Cerezuela, 2008). Sus propiedades térmicas le confieren un elevado potencial de seguridad y buena presentación de PCM para almacenamiento térmico en sistemas de refrigeración. Estas propiedades se presentan en el Anexo 1 Materiales de Cambio de Fase.

Los PCM inorgánicos desarrollados como material de almacenamiento de calor, que no se estudian en este proyecto de investigación debido a que sus temperaturas de fusión no están próximas a las de confort, y por tanto no son aplicables en materiales de edificación.

La búsqueda de sustancias con temperatura de cambio de fase próxima a la temperatura ambiente no ha encontrado buenos candidatos dentro de este grupo y las investigaciones se han dirigido más hacia las sustancias orgánicas.

Tabla 2: Ventajas e inconvenientes de los PCM inorgánicos.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Generalmente baratos. Densidad de almacenamiento térmico elevada. Elevada conductividad térmica. Temperatura de cambio de fase claramente definida. No inflamables.	El encapsulado y preparación para su uso ocasionan algunos problemas. Su uso prolongado necesita de aditivos. Son susceptibles de subenfriamiento. Los aditivos utilizados para evitar una fusión incongruente reducen su capacidad de almacenamiento latente por unidad de volumen en más de un 25% Potencialmente corrosivos con algunos metales Reciclables y biodegradables.

Fuente: (A, F, & Santos, 2010).

Tabla 3: Las propiedades térmicas de algunos de estos materiales se muestran a continuación.

PCM	T° DE FUSION °(C)	Q DE FUSION(KJ/Kg))	REFERENCIA
KF.4H <sub>2</sub> O	18,5	231	Nagano et al
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> .10 H <sub>2</sub> O	32,4	254	Nagano et al
CaCl <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O	24-29	192	Strithi U. et l
CaCl <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O+Nucleador+Mg Cl <sub>2</sub> . 6H <sub>2</sub> O (2:1)	23	-	Cabeza et al

Fuente: (A, F, & Santos, 2010).

**2.2.18. PCM orgánicos: parafinas, ácidos grasos y mezclas orgánicas.**

Los materiales de cambio de fase orgánicos poseen unas características que los hacen muy útiles en su aplicación en determinadas circunstancias para el almacenamiento de calor. Son más estables químicamente que las sustancias inorgánicas, sin necesidad de agentes nucleadores (sustancia química para crear núcleos y formar cristales dentro del polímero) y no sufren subenfriamiento o histéresis (cuando el PCM líquido se enfría por debajo del punto de solidificación).

No obstante, se ha demostrado que son más compatibles y más adecuados para la absorción en varios materiales constructivos. “Aunque el coste inicial de un PCM

orgánico es superior al de un inorgánico, su coste es competitivo, los ácidos grasos cuestan el doble que las parafinas” (Martínez, 2012)

Sin embargo, estos materiales tienen otras desventajas. La más significativa es que son inflamables y que emiten gases nocivos durante su combustión lo cual es nocivo para el medio ambiente. Otro de los problemas es que son menos extendidos, son las reacciones con los productos de la hidratación en hormigón (hidróxido de calcio), envejecimiento por oxidación, cambios de olor y volumen apreciables.

Tabla 4: Ventajas y desventajas de los PCM orgánicos.

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Fáciles de usar	Calor latente y entalpía más bajos.
Estabilidad térmica y química.	Baja conductividad térmica.
No sufren subenfriamiento.	Amplio rango de fusión
No necesitan agente nucleador para Solidificar.	Grandes cambios de volumen
No corrosivos.	Reacción potencial con hormigón.
Reciclables y ecológicamente inocuos.	Potencialmente combustibles.
	Más caros.

Fuente: (A, F, & Santos, 2010).

Dentro de los PCM orgánicos se pueden encontrar tres grupos de sustancias diferentes: parafinas, ácidos grasos, y mezclas orgánicas.

a *Parafinas*. Las parafinas son esencialmente un alcalino sólido refinado.

Muestran dos rangos de enfriamiento: un rango más estrecho para un breve periodo de tiempo, y un rango más extenso que ocurre durante un periodo más amplio. “Es importante destacar la gran diferencia entre el rango de temperatura de congelación medido experimentalmente y los datos disponibles. El resultado es de gran importancia a la hora de diseñar y operar con sistemas de almacenamiento de calor” (Amazings & NCYT, 2014), que exige un conocimiento exacto de la temperatura de cambio de fase del material de almacenamiento térmico.

“Un número importante de autores centran su trabajo en materiales orgánicos del tipo alcanos, ceras o parafinas” (Amazings & NCYT, 2014).

Desde un punto de vista práctico de su aplicación en sistemas de calefacción pasiva, son más interesantes las parafinas comerciales y las ceras de parafina, debido a su temperatura de fusión, estos materiales se producen a gran escala y se utilizan ampliamente en varios campos.

Tabla 5: Valores típicos de parafinas con T° de fusión próxima a la T° de confort.

PCM	T° DE FUSION °(C)	Q DE FUSION (KJ/Kg)	REFERENCIA
Hexadecano.	18	236	Darkwa K, Kim JS
Heptadecano	22	214	Darkwa K, Kim JS
Octadecano	28	244	Darkwa K, Kim JS
Parafina	20-60	200	(Hawes, Feldman)
RT25	25	147	Weinlader H

Fuente: (Serrano, 2012).

Tabla 6: Valores típicos de los PCM comerciales empleados en construcción. P: parafina; S.H. Sal Hidratada; C Cera: \*Mezcla de dos soluciones eutécticas no tóxicas y hielo.

PCM	TIPO DE PRODUCTO	T° DE FUSION °(C)	Q DE FUSION (KJ/Kg)	REFERENCIA
Astorstat HA17	P	21,7–22,8	--	Astor wax by Honey
RT20	P	22	172	Rubitherm GmbH
--	2SH	22-25	--	ZAE Bayern
Climsel C23	SH	23	148	CLIMATOR
E23		23	155	(EPS)
Climsel C24	SH	24	216	CLIMATOR
RT25	P	25	131	Rubitherm GmbH
RT26	P	26	232	Rubitherm GmbH
STL27	SH	27	213	Mitsubishi chemical
S27	SH	27	207	CRISTOPIA
Astorstat A18	C	27,2–28,3	--	Astor wax by Honey
RT30	P	28	206	Rubitherm GmbH
RT 27	P	28	179	Rubitherm GmbH
TH29	SH	29	188	TEAP
Climsel C32	SH	32	212	CLIMATOR
RT32	P	31	130	Rubitherm GmbH

Fuente: (San José, 2011).

b *Ácidos grasos*. Los ácidos grasos, derivados de productos animales y vegetales, están constituidos por una larga cadena alifática, más de 12 carbonos. Su cadena alquílica puede ser saturada o insaturada (Juarez, 2011).

Su forma general es:  $R - \text{COOH}$ , donde el radical R es una cadena alquílica larga.

La mayoría de los ácidos grasos naturales posee un número par de átomos de carbono, esto es debido a que son biosintetizados a partir de acetato ( $\text{CH}_3\text{CO}_2^-$ ), el cual posee dos átomos de carbono.

En general los ácidos grasos presentan unas excelentes características térmicas (punto de fusión y congelación). El rango de temperatura refrigeración es grande, y no se produce subenfriamiento, aunque en algunos casos se han detectado (0,5 K), sin embargo, por su alto coste y su difícil obtención no es una opción viable.

En la siguiente Tabla se puede observar que sólo el ácido Cáprico, presente en pequeñas cantidades en el aceite de coco y de palma tiene su temperatura de fusión próxima a la de confort.

Tabla 7: Características térmicas de algunos ácidos grasos.

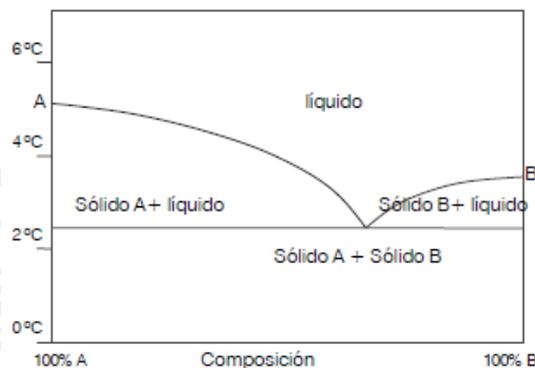
MEZCLA ACIDOS GRASOS	Tm °C	Ti °C	$\Delta H_m$ KJ/Kg
Cáprico	31,5	30,1	158
Laurico	42-44	41,3	179
Pentadecano	52	-	159
Mirístico	54	52,1	190
Palmítico	63	54,1	183
Eritrol	116-118	-	126

Fuente: (San José, 2011).

c *Mezclas de ácidos grasos*. Las mezclas de ácidos grasos son más atractivas para fabricar y comercializar que las mezclas eutécticas composiciones basadas en los compuestos de ácidos grasos producidos. Algunas mezclas con ácidos grasos

desprenden un fuerte olor, por lo que no es convenientemente utilizarlos como PCM en los depósitos de almacenamiento de energía calorífica.

Figura 20: Diagrama de fases de una mezcla binaria.



Fuente: (Azeotropo, 2015).

La disponibilidad, los elevados calores de fusión -presentados en la siguiente Tabla- y la flexibilidad de ajuste de los puntos de fusión en cada mezcla para cada aplicación particular justifican su uso en los cerramientos del edificio.

Tabla 8: Características térmicas de algunos ácidos grasos.

PCM	T° fusión(°c)	Q fusión(KJ/Kg)	Referencia.
Emerest2326(butil stearato+butil palmitato 50/48)	18-22	140	Feldman D, Banu et al 1996
Butil estearato	19	140	(Hawes, Feldman et al. 1993)
Propil palmitato	19	186	(Hawes, Feldman et al. 1993)
Cáprico -laurico 82/18	19,1	147	Lv SL, Zhu N, Feng GH 2006
Cáprico -Laurico 61,5/38,5	19,1	132	Kauranen P, Peippo K, 1991
Cáprico-Laurico 45/55	21	143	(Hawes, Feldman et al. 1993)
Cáprico -mirstico 73,5/26,5	21,4	152	Kauranen P, Peippo K, 1991
Cáprico -palmitato 75,2/24,8	22,1	153	Kauranen P, Peippo K, 1991
Cáprico -estearato 86,6/13,4	26,8	160	Kauranen P, Peippo K, 1991

Fuente: (Azeotropo, 2015).

“Dentro de los trabajos realizados con materiales orgánicos existe un conjunto de materiales denominados MCPAM (Materiales con cambio de fase constituidos por aleaciones moleculares), formados por aleaciones a base de alcanos, que tienen la ventaja de ser termo ajustables” (Dechema, 2012), es decir, que permiten modular la temperatura de cambio de fase a partir de su composición.

Expertos del REALM en Cristalografía, Termodinámica y otras disciplinas trabajan complementariamente en la definición de estos criterios: grado de homeomorfismo molecular, grado de isomorfismo cristalino, noción de familia, temperatura característica, correlaciones entre magnitudes cristal o Tablas y termodinámicas.

“Si los componentes de una aleación presentan calores latentes de transición de fases de primer orden elevados, entonces las aleaciones moleculares elaboradas a partir de ellos presentan a su vez, propiedades muy interesantes para el almacenamiento de energía térmica” (Juarez, 2011). Por tanto, se trata de un material “termo ajustable”, que permite modular la temperatura de almacenamiento y restitución de la energía a partir de su composición.

#### **2.2.19. Características de los materiales de cambio de fase.**

Las principales características a cumplir por un PCM para almacenamiento energético son.

##### **2.2.19.1. Físicas.**

- La densidad del líquido y del sólido deben ser similares, y preferiblemente elevadas, para poder almacenar mayor cantidad de calor por unidad de volumen.
- Variación de volumen –en el cambio de fase- baja.

**2.2.19.2. Cinéticas.**

- Evitar el problema de histéresis, subenfriamiento o retardo al inicio de la solidificación, como ocurre en los PCM inorgánicos, que se produce al no ceder el calor latente de un PCM pese a que su temperatura sea inferior al punto de congelación.
- Poseer suficiente tasa de cristalinización: en los PCM inorgánicos se necesitan agentes nucleadores aditivos para que comience a solidificar la sustancia.

**2.2.19.3. Químicas.**

- El proceso de cambio de fase debe ser totalmente reversible y sólo dependiente de la temperatura
- Ser químicamente estables en el tiempo evitando su descomposición y contaminación.
- No presentar segregación de fases.
- Ser compatibles con los materiales de encapsulado y otros con los que esté en contacto: estabilidad química, para evitar oxidación, descomposición térmica, hidrólisis, corrosión y otras reacciones.
- No inflamables y resistentes al agua.

**2.2.19.4. Térmicas.**

- La temperatura de cambio de fase debe ser adecuada a cada aplicación particular.
- Presentar una temperatura de fusión definida o, al menos, el cambio de fase debe producirse en un valor discreto (sustancia pura) o en un pequeño intervalo de temperaturas, denominado ventana térmica (Cuevas-Diarte, Haget et al. 1996).

- Poseer una gran capacidad de almacenamiento de calor sensible (calor específico) en estado sólido y líquido y elevada entalpía de cambio de fase, calor latente.
- Poseer una alta conductividad térmica para facilitar la transferencia de calor.

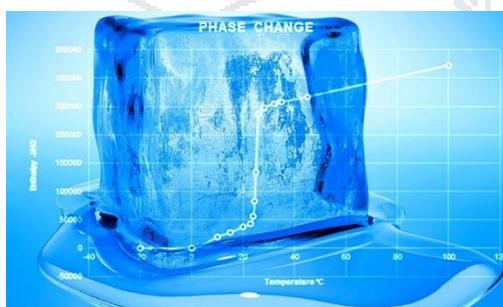
#### 2.2.19.5. *Económicas.*

- Estar disponible en grandes cantidades a bajo coste, para que sean viables técnica y económicamente.
- Tener un razonable ciclo de vida útil de acuerdo a su costo.

#### 2.2.20. **Aplicaciones de los PCM.**

La utilización de PCM ha mejorado significativamente en los últimos 25 años, a lo largo de los cuales ha ido apareciendo información sobre sus características. Las aplicaciones de las ceras de parafina han sido las más analizadas (Los resultados demostraban que la combinación de un sistema prototipo y enfriamiento nocturno proporciona un índice de almacenamiento térmico apropiado para evitar el sobrecalentamiento en condiciones habituales de verano, y que el sistema ofrece beneficios sustanciosos respecto a sistemas alternativos como las “chilled beams” y el aire acondicionado).

Figura 21: Ejemplo de forma de materiales de cambio de fase.



Fuente: (Magdaleno, 2011).

Las mezclas de sales hidratadas inorgánicas, agua y agentes nucleadores y estabilizadores son los PCM eutécticos usados más frecuentemente en aplicaciones de

almacenamiento de frío. Pero estas mezclas eutécticas son algo complicadas de preparar y manejar, con lo que se está trabajando con otros PCM con unos materiales primarios más disponibles.

En general, los PCM tienen múltiples y variados usos, desde la electrónica (para mantener los dispositivos a una temperatura adecuada para su buen funcionamiento) hasta la botánica (protección térmica de plantas). También se utilizan para transporte de mercancías, sensibles a los cambios de temperaturas (material sanitario), para la industria alimentaria, industria textil (especialmente en prendas deportivas).

#### **2.2.21. Aplicaciones de los PCM en el diseño integral del edificio.**

##### **2.2.21.1. Control de temperatura y la calidad ambiental interior.**

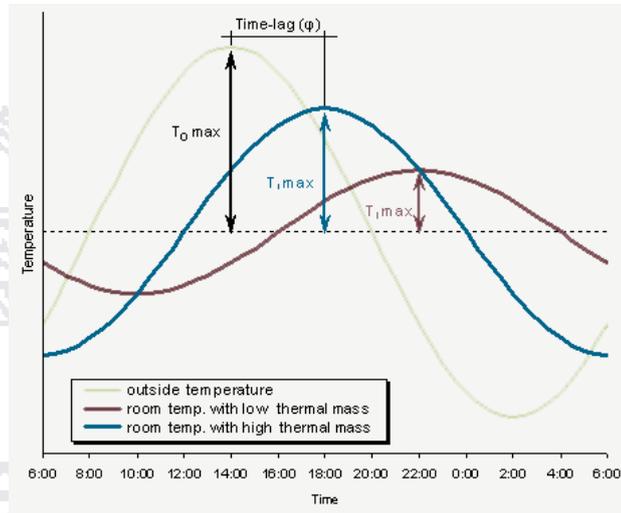
“Además de la reducción energética, los materiales de almacenamiento térmico poseen un gran potencial de desplazamiento de carga” (Maya, 2010). En el campo de la construcción la temperatura que brindan los PCM son muy óptimas para el uso de climatización, especialmente las de elevado grado de exposición como las cubiertas, y la inercia térmica, tienen una gran influencia en las condiciones de confort interior debido a la uniformidad de interacción con el aire interior de la habitación.

Cuando un PCM se usa para regular la temperatura en una estancia, su punto de fusión y de congelación deben estar sobre la temperatura media de la habitación. En una oficina en Alemania, para asegurar que se alcanza la temperatura deseada durante el periodo nocturno –por debajo de la de cambio de fase- necesaria para liberar el calor diurno y activar la recarga.

“Los módulos de PCM mantienen la temperatura interior constante por un periodo largo de tiempo. Se utilizan para acondicionamiento de espacios especialmente los sensibles a los cambios de temperatura” (Amazings & NCYT, 2014), salas de

ordenadores, telecomunicaciones, para prevenir las variaciones excesivas de temperatura en los diferentes espacios designados se opta por un sistema automatizado por ordenador.

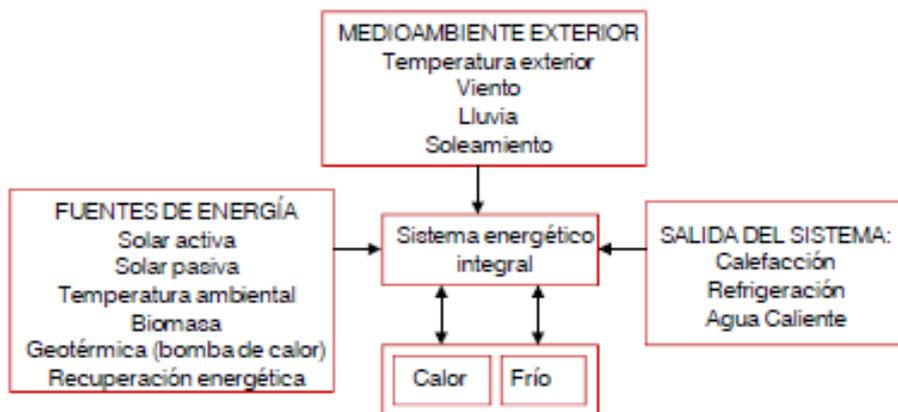
Figura 22: Estabilización de temperatura con masa térmica.



Fuente: (Magdaleno, 2011).

Estas estrategias pasivas pueden mejorar sus resultados de acondicionamiento de los espacios, incorporando instalaciones activas, más complejas, constituyendo todas ellas un sistema energético integral.

Figura 23: La ilustración conceptual de un sistema de energía integral con el almacenamiento térmico.

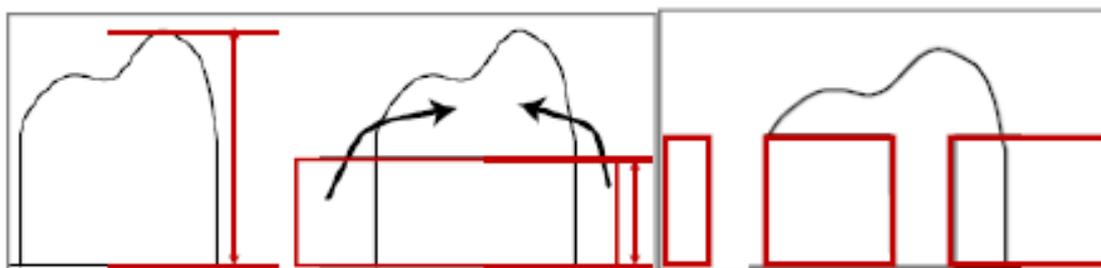


Fuente: (San José, 2011).

### 2.2.21.2. Ahorro en los momentos pico.

Los sistemas de almacenamiento de energía térmica -TES- acumulan el calor para usarlo en horario diferente, pudiendo equilibrar la demanda energética y suministro. Estos sistemas pueden utilizarse para almacenar calor, y pueden acoplarse con un colector solar y una bomba.

Figura 24: Capacidad de una máquina sin y con almacenamiento térmico.

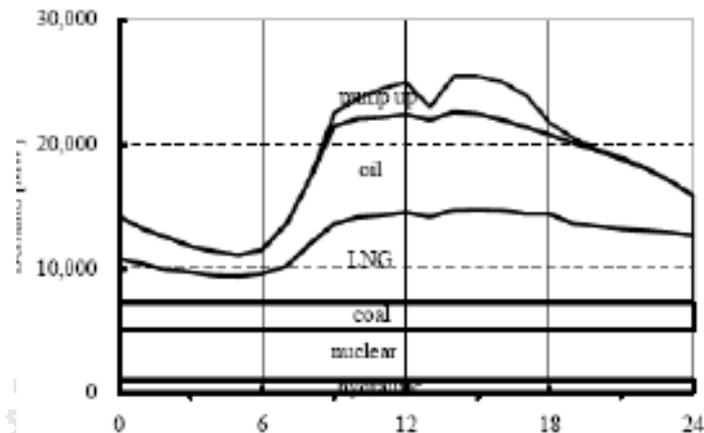


Fuente: (Bérriz, s.f.).

La carga máxima de refrigeración se produce durante el mediodía en los meses de verano, sólo durante unos pocos días al año. Hay momentos en los que la máquina no tiene capacidad de alcanzar la carga para la demanda máxima, mientras que la mayoría del tiempo trabaja a carga parcial. Con la incorporación de sistemas de almacenamiento térmico a los equipos de producción de calor se compensan momentos de alta demanda aumentando su eficacia.

De esta manera, el sistema puede ajustar la producción de calor reduciendo horas de funcionamiento de cargas parciales. Podrían reducirse así la capacidad total y el coste del sistema.

Figura 25: Una estructura de generación de potencia máxima durante un día.



Fuente: (Amazings & NCYT, 2014).

### 2.2.21.3. Uso eficiente de energías limpias y excedentes energéticos.

Según las estadísticas del IEA, alrededor del 30% del suministro energético se pierde durante su conversión, es decir, debido a disipaciones o gastos térmicos. Por ello es muy importante el aprovechamiento de esta “fuente de energía”.

Además, el incremento en el uso de las fuentes de energía renovables, de carácter intermitente -como la solar, la eólica y la geotérmica- necesita del almacenamiento de energía térmica para hacer efectiva su utilización y abrir un camino hacia el sistema de energía sostenible.

El uso eficiente de las pérdidas energéticas derivadas de las intermitentes temperaturas elevadas de procesos industriales forma parte de trabajos de investigación, tanto para climatizar edificios como para control de temperatura.

Referente a la energía solar, los paneles fotovoltaicos necesitan refrigeración para mantener su eficiencia. Los grandes paneles pueden refrigerarse mediante corrientes de aire canalizadas por su parte inferior. “El aire frío entra por la parte inferior del panel y sale por la parte superior a una temperatura más elevada, la energía térmica almacenada en el aire caliente puede acumularse y utilizarse para calefacción” (Paredes, 2012). en la actualidad los PCM no ofrecen ahorros

económicos en el campo de almacenamiento térmico en baja temperatura (50-100 °C), ya que estos sistemas (parafinas) vienen a costar del orden del doble que los sistemas con agua caliente por lo que ve conveniente el uso de sales hidratadas; aunque también declara las ventajas asociadas a estos materiales, como la baja corrosión y la estabilidad química.

#### **2.2.22. Tanque de acumulación.**

##### **2.2.22.1. Acumulación de calor.**

Las perspectivas de agotamiento de los combustibles fósiles y la preocupación sobre el calentamiento global debido a emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera están estimulando la investigación de fuentes de energía renovables.

Por otro lado, la demanda térmica para calefacción representa una fracción importante del consumo anual de energía en edificios residenciales, las plantas térmicas solares pueden satisfacer parte de esta demanda, pero tienen un gran inconveniente ya que la mayoría de la potencia térmica estará disponible en verano (mayor radiación) mientras que la demanda térmica es mínima en estos meses y máxima en invierno, precisamente cuando menos radiación solar se recibe. Así pues, las tecnologías de acumulación térmica es el punto clave a desarrollar para utilizar la energía térmica solar de manera eficiente. El siguiente gráfico, basado en datos reales utilizados en este proyecto, ilustra de manera clara el desfase existente entre la energía solar disponible (Irradiación media mensual W /m<sup>2</sup>) y la demanda térmica de energía de calefacción según los cálculos realizados.

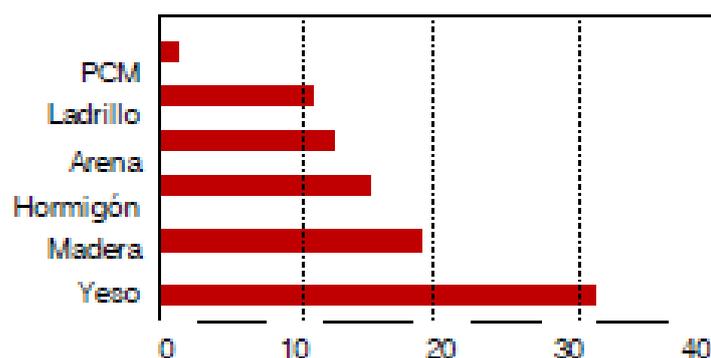
##### **2.2.22.2. Almacenamiento térmico y los sistemas pasivos de climatización.**

La tendencia a aligerar el peso de los materiales y de los sistemas constructivos para abaratar costes de producción, tiempos de ejecución, facilitar su manejo,

reutilización, ha suscitado el interés por la incorporación de PCM en los sistemas de construcción, con el fin de incrementar su capacidad de almacenamiento térmico, y con ello reducir las elevadas variaciones de temperatura y el consumo energético en los edificios. Sin embargo, existen algunas condiciones que limitan la selección de PCM como el calor de fusión, la temperatura de fusión, compatibilidad con materiales de construcción, resistencia a fuego.

La figura siguiente muestra la cantidad necesaria de diferentes materiales constructivos para lograr la misma capacidad térmica que 1 cm de PCM. Mezclando los materiales constructivos tradicionales con materiales de cambio de fase la inercia térmica del edificio aumenta considerablemente sin incrementar el peso del material. Las simulaciones muestran que el pico de temperaturas durante los días calurosos puede reducirse en 2 o 3 °C introduciendo estos materiales. Durante el periodo nocturno, la ventilación es crucial para liberar el calor almacenado y regenerar la capacidad de almacenamiento térmico del PCM.

Figura 26: Valor equivalente en masa necesario para almacenar la misma cantidad de energía.



Fuente: (Maya, 2010).

Este concepto de almacenamiento térmico se ha utilizado en muchas construcciones tanto para refrigeración como calefacción pasiva. En el primer caso, se utiliza la ventilación nocturna para refrigerar el edificio. Esto puede ahorrar el coste de

la demanda máxima durante el día cuando el edificio se calienta. Además, estas operaciones durante el periodo nocturno son más baratas porque la tarifa eléctrica tiene un precio reducido.

En el segundo caso se utiliza la calefacción solar pasiva, aprovechando la radiación solar directa y otras cargas térmicas sobre los materiales de construcción. “Los materiales de almacenamiento térmico pueden convertirse en una característica propia de edificios autónomos, que no necesitan una gran instalación para mantener un ambiente interior confortable” (Cerezuela, 2008).

### **2.2.22.3. Almacenamiento térmico y sistemas activos de climatización calefacción.**

Como se ha visto, los materiales de cambio de fase tienen ventajas con respecto a otros materiales especialmente si la temperatura de almacenamiento es superior a la del punto de fusión. Estos materiales tienen una temperatura de fusión que se encuentra dentro del rango de temperaturas del agua del depósito acumulador.

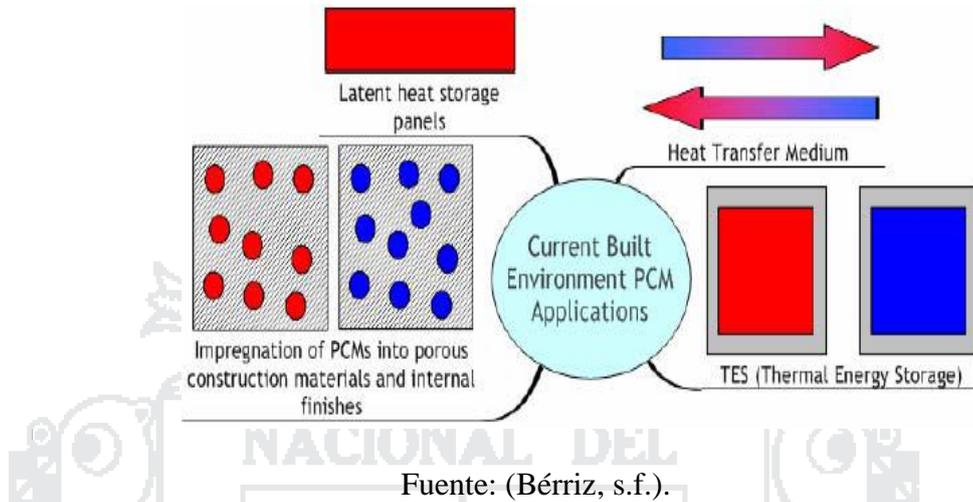
En él se presenta una revisión de materiales, ventajas, inconvenientes y características para una serie de sustancias PCM aplicables para almacenamiento térmico en construcción (plasterboard). Entre cuatro posibles tipos de PCM analizados, los que mayores ventajas presentan son las parafinas (hidrocarburos -60 °C A 80 °C) cuyo origen puede ser a partir de la polimerización del etileno o como subproducto del petróleo. Un PCM comercial proporcionado TEAP Energy utiliza sal hidratada en un aluminio macro-encapsulado como sistema de contención. Se ha instalado dentro bajo el pavimento.

### **2.3. Almacenamiento térmico.**

El sector comercial es mucho más variado que el residencial, y GCHP se han

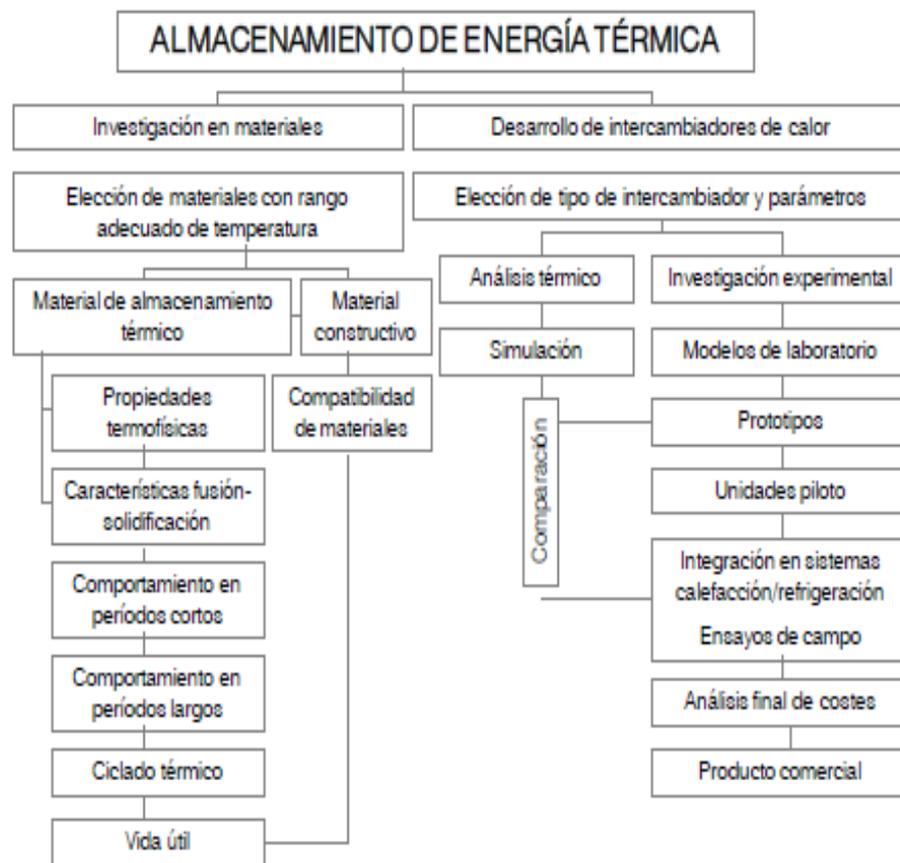
utilizado para climatizar oficinas, colegios, supermercados, centros comerciales, hoteles, equipamientos deportivos y edificios institucionales.

Figura 27: Aplicaciones más usuales de PCM en edificación.



Fuente: (Bérriz, s.f.).

Figura 28: Líneas de trabajo en sistemas de almacenamiento térmico.



Fuente: (A, F, & Santos, 2010).

### 2.3.1. Sistemas acumuladores en redes dh.

Cuando se integra la tecnología de colectores solares en redes de calefacción de distrito el almacenamiento de energía térmica se hace imprescindible, la acumulación de calor permite hacer frente al desfase comentado entre producción de calor solar y demanda durante el transcurso de uno o varios días, e incluso durante el curso de un año. Dependiendo del tiempo que necesitemos mantener calor almacenado podemos distinguir dos tipos de acumuladores.

Los sistemas de acumulación térmica diario (short-term heat storage) acumulan calor procedente de la radiación solar diurna con el fin de satisfacer la demanda térmica nocturna.

Figura 29: Acumulador de calor diario (short term heat storage).



Fuente: (seenergy, 2016).

Los sistemas acumuladores de calor estacionales (seasonal or long-term storage systems), almacenan el excedente de calor producido durante periodos de alta irradiación solar (verano) con el fin de satisfacer la demanda térmica de calefacción durante periodos de baja fracción solar y alta demanda térmica (invierno). Esta tecnología eleva la contribución solar en los sistemas D.H En este proyecto se diseñará y estudiará el funcionamiento de un sistema de almacenamiento de calor

estacional. En la actualidad, se utilizan principalmente cuatro tipos de sistemas acumuladores de calor de este tipo:

Pozos acumuladores de calor con gravilla: Earth storage.

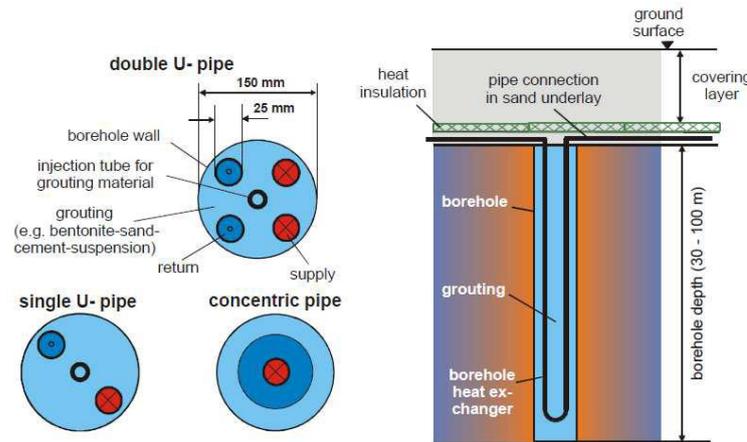
Almacenamiento térmico en sondeos: Borehole or duct heat storage.

Los tanques de almacenamiento de calor, también llamados tanques de agua (water tanks) porque suele ser agua el material acumulador de calor, se construyen con paredes de hormigón reforzado y acero o fibra de vidrio. Se suelen construir bajo tierra (Underground heat storage) para aprovechar el aislamiento natural (y gratis) que ofrece el terreno.

“Los sistemas de pozos acumuladores de calor con gravilla Pit Thermal Storage (consisten en grandes excavaciones artificiales realizadas en el terreo que posteriormente se rellenan con agua y gravilla, la configuración es bastante similar a los tanques de almacenamiento de agua” (Cabrera J. , 2011) no obstante se han convertido en el tipo de acumuladores más utilizados debido a sus bajos costes de construcción (no necesita paredes contenedoras) pues una tapa de aislante térmico alrededor en el contorno y en la parte superior del pozo completa la estructura de sistema acumulador.

En los sistemas de almacenamiento Subterráneo de Energía Térmica en Sondeos o pozos el calor se almacena directamente en el subsuelo. Se instalan intercambiadores de calor en pequeñas perforaciones realizadas en el suelo cuya profundidad varía entre los 30 y los 100 metros y el diámetro se sitúa en torno a los 100-150mm. Los intercambiadores de calor son tubos en forma de U y a través de ellos circula en flujo cerrado el fluido caloportador (generalmente agua).

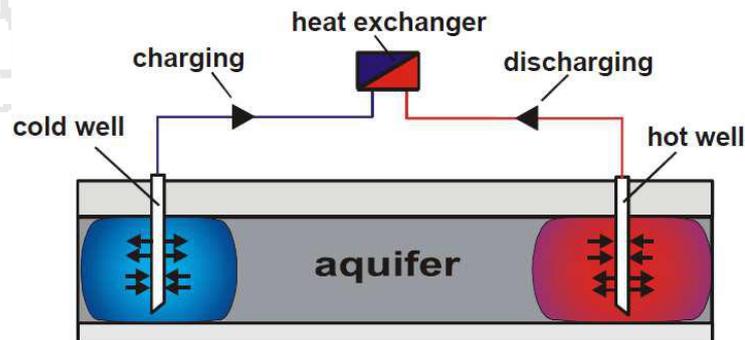
Figura 30: Esquema de un sistema de almacenamiento basado en boreholes (posos).



Fuente: (Cabrera J. , 2011).

En el sistema de acuíferos el fluido caloportador (generalmente agua) describe un circuito abierto. En verano se extrae agua de un pozo frío y si en la superficie se le aporta calor (propio calor del edificio, energía solar.) que aumenta la temperatura del agua y es inyectada a un pozo de agua caliente natural (acuífero). Durante el invierno, el proceso se revierte y el agua caliente es bombeada desde el acuífero, aporta energía térmica para satisfacer la demanda de calor y es re-inyectada al pozo de agua fría.

Figura 31: Esquema de un sistema de almacenamiento basado en la tecnología de acuíferos.



Fuente: (García, 2013).

La tabla siguiente presente una comparación entre los acumuladores estacionales anteriormente descritos.

Figura 32: Sistema de acumulación estacional de calor más utilizados.

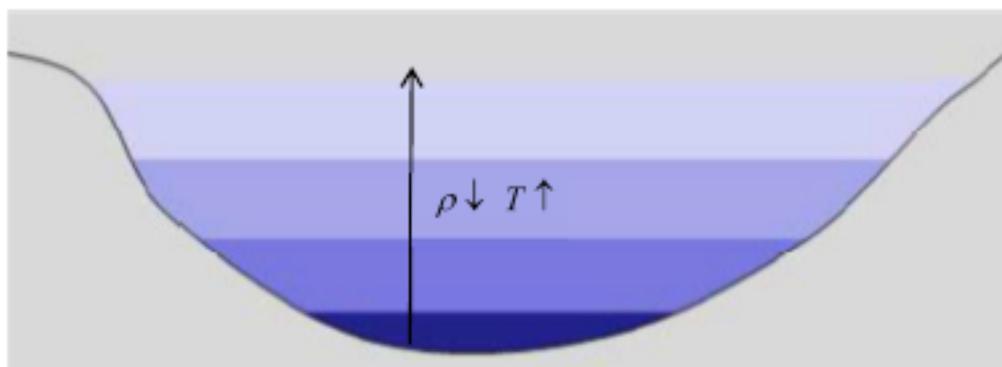
Acumulador	Agua caliente	Agua-grava	Conducto	Acuífero
Material de almacenaje	Agua	Agua y grava	Materiales del terreno (tierra, roca...)	Materiales del terreno (arena, grava, agua...)
Capacidad calorífica (kWh /m <sup>3</sup> )	60-80	30-50	15-30	30-40
Volumen de almacenamiento por m <sup>3</sup> de agua equivalente (m <sup>3</sup> )	1	1,3-2	3 ... 5	2...3
Requisitos geológicos	*Terreno en condiciones estables. *Se prefiere sin agua subterránea. *5-15 metros de profundidad.	*Terreno en condiciones estables *Se prefiere sin agua subterránea *5-15 metros de profundidad	*Terreno perforable * Favorable si hay agua subterránea *Favorable si hay agua subterránea *Alta capacidad calorífica *Alta conductividad térmica * 30-100 m de profundidad *Baja conductividad hidráulica	*Acuíferos naturales con alta conductividad hidráulica (FORM) *Capas limitantes arriba y abajo. *Bajo o ningún tipo de flujo de agua subterránea *Ancho el acuífero: 20 -50 m

Fuente:(Juarez, 2011).

### 2.3.2. Estratificación

La estratificación térmica en un fluido que ocupa un volumen determinado (depósito, tanque, lago...) es la separación diferenciada en estratos de capas del fluido que se encuentran a distinta temperatura. La formación de estos estratos se debe a las distintas densidades que el líquido puede tener. La mayor densidad del líquido a menor temperatura provoca su desplazamiento hacia el fondo del depósito mientras que el líquido con mayor temperatura y por tanto menos densa tiende a ocupar las zonas más altas del depósito o tanque, se forma así un gradiente de densidades debido a la gravedad. Este fenómeno tiene lugar de manera natural en lagos considerados aislados térmicamente y con agua en reposo.

Figura 33: Diagrama de estratificación térmica de un fluido en reposo.



Fuente: (Cabrera J. , 2011).

En acumuladores térmicos estratificados se puede practicar casi cualquier diferencia de temperaturas, aunque el volumen de acumulador se minimiza para diferencias de temperaturas ( $\Delta T$ ) grandes.

La difusión térmica entre el fluido caliente y el frío se localiza en la región llamada termoclina.

La clave para aprovechar este fenómeno de cara al almacenamiento térmico es crear capas estratificadas y mantener intacta dicha estratificación.

### 2.3.3. Funcionamiento.

Teóricamente el cambio de fase del PCM Climacel C48 debe desarrollarse a una temperatura constante e igual a  $48^{\circ}\text{C}$ . En la realidad el PCM comienza a absorber calor latente a una temperatura más bien próxima a los  $46^{\circ}\text{C}$  y deja de absorber calor latente para absorber calor sensible en estado líquido a una temperatura próxima a los  $48^{\circ}\text{C}$ , así pues, podemos implantar un límite inferior y superior de temperatura del PCM en el depósito de  $46^{\circ}\text{C}$  y  $48^{\circ}\text{C}$  respectivamente.

### 2.3.4. Sensores de temperatura.

Debido al proceso espontáneo de estratificación comentado anteriormente, la temperatura más baja del depósito estará en el fondo mientras que las temperaturas

máximas estarán en la parte superior. Así pues, podemos instalar un par de sensores de temperatura localizados en la parte inferior y superior del depósito:

T.P.H: Es el sensor de alta temperatura localizado en la parte superior del depósito próximo a la interface PCM-aire.

T.P.B: es el sensor para la temperatura mínima situada en cerca del fondo del tanque.

### 2.3.5. Carga del acumulador.

Para el proceso de carga es necesario que la bomba P1 esté en marcha y la bomba estará en marcha cuando la diferencia entre la temperatura del sensor TPH y la salida de la temperatura de salida del fluido caloportador de los colectores solares sea mayor que uno:

$$(8) P1 \text{ ON si } (t_{sc} - t_{hd}) > 1$$

De este modo, nos aseguramos de que el HTF proveniente del colector solar se encuentra a mayor temperatura que el PCM almacenado (que debería estar como máximo a 48°C) y por tanto el intercambio de calor desde el fluido hacia el PCM es posible.

Si todo el tanque se encuentra en estado líquido entonces la parte más fría del PCM localizada en el fondo del tanque no debe superar los 48°C, por tanto, si la temperatura que indica el sensor del fondo del tanque es superior a 50 (daremos un margen de dos grados), entonces no es necesario la transferencia de calor en intercambiador de carga y la bomba P1 de carga deberá estar apagada.

$$(9) P1 \text{ OFF si } (t_{fd} - 48) > 2$$

### 2.3.6. Tubería de drenaje.

Se instalará una tubería de salida próxima al fondo del depósito que se utilizará para vaciar el tanque mientras líquido PCM se encuentre en estado líquido. El vaciado del

taque se realizará por necesidades de mantenimiento o por renovación del PCM tras varios años de uso. Para que este sistema de evacuación funcione el material debe estar en estado líquido, esto es a una temperatura superior a 48°C. Durante el vaciado se procederá al calentamiento de forma manual (basta con una resistencia eléctrica) hasta que el PCM adquiera unos 60°C.

### **2.3.7. Tubería de nivel máximo.**

En la zona superior del tanque, el PCM se encuentra a una temperatura máxima y puede llegar a superar los 48°C, en este caso el material acumulador se encuentra en estado líquido y para evitar que aumenta el nivel debido a la pequeña expansión volumétrica tenemos una tubería que, por gravedad recoge el líquido sobrante y lo extrae fuera del depósito para posteriormente ser introducido manualmente en estado sólido o líquido a 48°C desde la entrada principal.

## **2.4. Glosario de palabras**

Energía solar, calefacción, vivienda, sal hidratada, temperatura, material de cambio de fase

## **2.5. Hipótesis de la investigación.**

### **2.5.1. Hipótesis general**

“Al utilizar los materiales de cambio de fase mejorará la calidad de vida del poblador.”

### **2.5.2. Hipótesis específicas**

Usando los materiales de cambio de fase se logrará un ahorro de energía eléctrica por concepto de calefacción.

Usando los materiales de cambio de fase se evitará las enfermedades respiratorias.



**CAPITULO III  
DISEÑO METODOLOGICO DE LA  
INVESTIGACION**

### **3.1. Tipo y diseño de investigación.**

El tipo de investigación corresponde al descriptivo y aplicativo.

### **3.2. Población de la investigación**

- Viviendas de alto Puno.

### **3.3. Muestra de la investigación**

- 1 vivienda de la población de alto Puno.

### **3.4. Ubicación y descripción de la población o ámbito de estudio**

El ámbito de estudio será la zona de Alto Puno, donde se desarrollarán las pruebas de campo donde se construirá la vivienda.

Región: Puno

Provincia: Puno

Distrito: Puno

Coordenadas geográficas:

Latitud: 15° 49' 11.2404" Sur

Longitud: 70° 1' 59.5554": 3 910 m.s.n.m.

### **3.5. Técnicas e instrumentos para recolectar información**

Entrevistas y diálogos con fuentes europeas.

Termómetros.

Software para procesar datos.

Barómetro.

Cinta métrica.

Laptop.

Cámara fotográfica.

### **3.6. Técnicas para el procesamiento y análisis de datos.**

Hojas de trabajo en Excel, fotos y apuntes de mediciones

### 3.7. Plan de tratamiento de datos:

Los datos de temperatura, velocidad del viento, etc., serán recolectados de las entidades correspondientes como el Senamhi.

Se analizará la mejor opción para la utilización de los materiales de cambio de fase se estudiará las condiciones de operatividad de los materiales de cambio de fase para su mejor funcionamiento en el departamento de Puno.

Se analizará las experiencias realizadas en otros lugares (Europa).

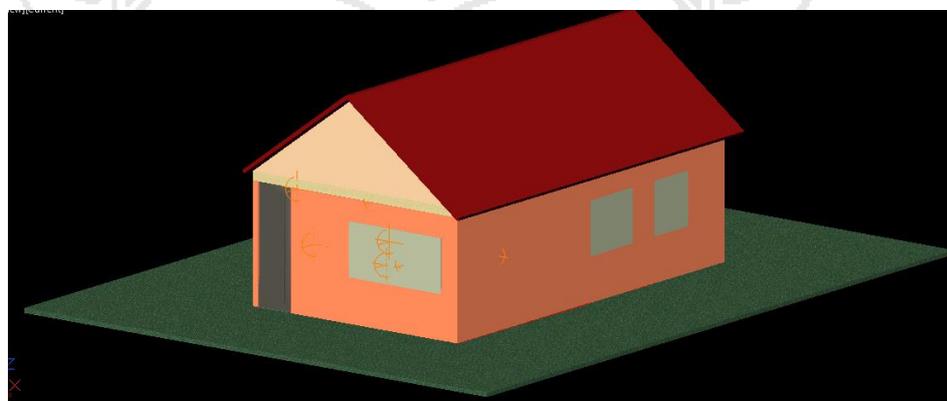
### 3.8. Diseño de la vivienda.

#### 3.8.1. Características de la vivienda modelo:

Se hará el estudio de las necesidades de calefacción para una vivienda general, que a partir de ahora se llamará vivienda modelo. Según el Reglamento nacional de edificaciones en su Artículo 2- Los ambientes con techos horizontales, tendrán una altura mínima de piso terminado a cielo raso de 2,45 m. Las partes más bajas de los techos inclinados podrán tener una altura menor. En climas calurosos la altura deberá ser mayor (RNE-PERÚ, 2009) (Reglamento Nacional de Edificaciones-Perú).

- Características generales de la vivienda modelo: Vivienda familiar
- Superficie construida: 50 m<sup>2</sup>

Figura 34: Diseño de la vivienda.



Fuente: Propia (Dibujo en AutoCAD 2016).

**3.8.2. Características de los encerramientos**

**3.8.2.1. Características de los muros.**

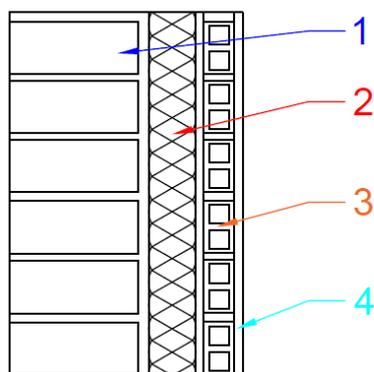
De acuerdo con la figura, los muros de la fachada de la vivienda modelo está formado por 4 capas de distintos materiales cuyo espesor y conductividad térmica quedan definidos a continuación.

$$superficie\ de\ la\ fachada = Perimetro \times altura = 30 \times 2.5 = 75\ m^2$$

Se debe de tener en cuenta que la superficie de la fachada está ocupada por un 16% de puertas y ventanas, por tanto, la superficie real de los muros de fachada será.

$$S_{m.f} = 0.84 \times 75 = 63\ m^2$$

Figura 35: Detalles del muro.



DETALLES DEL MURO	
N°	MATERIAL
1	Ladrillo Macizo
2	Aislante
3	Ladrillo Hueco
4	Enlucido de Yeso

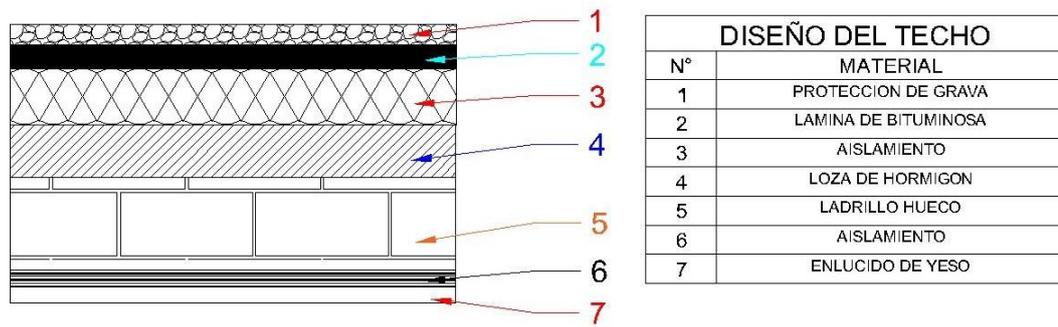
Fuente: Propia (Dibujo en AutoCAD 2016).

**3.8.2.2. Características del techo.**

Consideramos que el techo de la vivienda modelo es un techo plano, del tipo azotea donde habrá espacio suficiente para instalar los colectores solares y estará formado por una capa exterior de grava seguido por una serie de materiales que dan consistencia a la estructura y que ayudan a aislar térmicamente el interior de la vivienda. La superficie de techo será igual a la superficie que se quiere climatizar.

$$S_c = 40\ m^2$$

Figura 36: Diseño del techo.



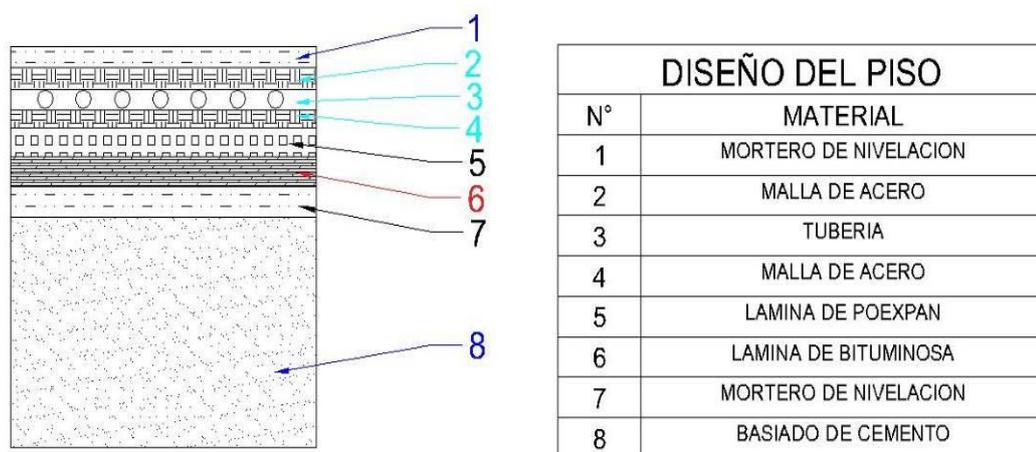
Fuente: Propia (Dibujo en AutoCAD 2016).

**3.8.2.3. Características del suelo.**

Suponemos que la casa no cuenta con garaje subterráneo. Por tanto, el espacio habitable de la vivienda estará en contacto directo con el terreno. El suelo de la vivienda estará formado por una serie de capas de distintos materiales que darán consistencia a la edificación y ayudarán al aislamiento térmico. La temperatura del terrero durante los meses de invierno consideramos que es de  $T_m$ , suelo inv.  $0^{\circ}\text{C}$ . El detalle constructivo de los materiales que conforman el suelo se observa en la fig.

2.4. La superficie del suelo será igual a la superficie que se quiere climatizar:  $40\text{ m}^2$ .

Figura 37: Diseño del piso.



Fuente: Propia (Dibujo en AutoCAD 2016).

### 3.8.3. Cálculo de la carga térmica.

En un sistema de calefacción, la demanda energética es la energía necesaria para mantener en el interior de una edificación a unas condiciones ambientales dadas definidas en función del uso de la edificación. En una edificación residencial, se entiende la demanda energética como el conjunto de condiciones necesarias para mantener un ambiente de confort a una temperatura que proporcione bienestar a sus ocupantes.

La carga térmica de un edificio es la potencia de calefacción o refrigeración en vatios (W) necesaria para satisfacer la demanda energética de dicho recinto. Para el dimensionamiento del sistema de calefacción de la vivienda modelo se obtendrá el valor de la demanda energética a partir del cálculo de las cargas térmicas.

El concepto de carga térmica engloba los fenómenos que tienden a modificar la temperatura y la humedad (cantidad de vapor de agua) de la vivienda. Distinguimos dos tipos:

Cargas térmicas sensibles: si sólo se modifica la temperatura seca del aire de la vivienda.

Cargas térmicas latentes: si se modifica la cantidad de vapor de agua en el aire de la vivienda.

También se pueden clasificar en cargas térmicas interiores y exteriores.

Cargas térmicas interiores: son las debidas al aporte de calor a la vivienda por parte de sus ocupantes, de electrodomésticos, iluminación, etc. Las personas aportan carga tanto sensible como latente mientras que los electrodomésticos y otros aparatos sólo aportan carga sensible.

Cargas térmicas exteriores: en este apartado se engloban las cargas térmicas debidas a la radiación que se produce a través de muros y ventanas, las debidas a la

transmisión a través de los cerramientos, las cargas térmicas de ventilación que se producen al ventilar la vivienda con el objeto de mantener un ambiente de pureza y salubridad del aire y las cargas térmicas por infiltración que se deben a que la vivienda no es estanca.

#### **3.8.4. Condiciones de diseño.**

La carga térmica dependerá del propósito de la instalación, su localización y las características de los cerramientos (envolvente) del ambiente que se pretende controlar. Para el correcto diseño del sistema de calefacción es necesario establecer una serie de condiciones climatológicas de diseño tanto para el ambiente interior como para el exterior que lo rodea.

#### **3.8.5. Condiciones de ambiente interior.**

También denominadas condiciones de proyecto, porque son las que se quieren lograr o condiciones de confort porque en un entorno residencial son las condiciones que hacen agradable la estancia de los ocupantes en el interior del recinto con una temperatura de confort de 20 °C.

##### **3.8.5.1. Condiciones de ambiente exterior.**

Las condiciones del ambiente exterior dependerán de la localización geográfica del edificio objeto de estudio, la existencia de diferentes parámetros como la irradiación solar o la temperatura mínima, dependen de la zona geográfica en la que se encuentra la vivienda y es necesario tenerlos en cuenta para realizar un balance térmico correcto.

La norma Nacional de edificaciones tiene como objetivo establecer las condiciones termo higrométricas exteriores de proyecto para diferentes localidades y es de aplicación para los sistemas de climatización y ventilación destinados al

bienestar de las personas. Dicha norma utiliza los datos de temperatura basados en el nivel percentil, esto es el porcentaje de horas anuales en los que la temperatura de la localidad es sobrepasada por un cierto valor, por ejemplo: el valor de la temperatura seca de una localidad con un nivel percentil del 97 % supone que tan solo en un 3% de las horas de un año la temperatura es menor que dicho valor, por ende tomaremos como valor  $T_{ext} = -3.7^{\circ}C$  al efectuar los cálculos con este valor estaremos asegurando que nuestro sistema de calefacción responderá a las condiciones climatológicas más desfavorables.

**3.8.6. Cálculo de las teorías térmicas.**

El cálculo de cargas térmicas de la vivienda incluyendo materiales de cambio de fase requiere un trato especial, ya que su estado varía a lo largo del periodo de cálculo.

**3.8.6.1. Muros**

. Los muros exteriores separan el interior de la vivienda del aire exterior y su composición se puede observar en el siguiente detalle constructivo.

Tabla 9: Propiedades térmicas de los materiales del muro.

CAPA	MATERIAL	ESPESOR e [cm]	Conductividad $\lambda$ [w/(m°C)]	RESISTENCIA $R_{Mi}$ [(m°C)/W]
1	Ladrillo macizo	14	0.87	0.161
2	Aislante	4	0.03	1.333
3	Ladrillo hueco	5	0.49	0.1020
4	Enlucido de yeso	2	0.3	0.0667
			TOTAL	1.6627

Fuente: (Macia, Parra, & Chejne, 2009)

Elaboración: Propia.

Resistencias térmicas superficiales de los cerramientos en contacto con el aire exterior.

**Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior en m<sup>2</sup>·K/W**

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R <sub>se</sub>	R <sub>si</sub>
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)		0,04	0,17

Fuente: (A, F, & Santos, 2010).

Resistencia térmica total de las paredes exteriores:

$$(10) R_M = \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se} + R_{si} = 1.6627 + 0.04 + 0.13 = 1.8327$$

Y el coeficiente de transmisión de calor para dichas paredes será:

$$(11) U = \frac{1}{R_{T,T}} = 0.54 [w/(m^2 \cdot c)]$$

### 3.8.6.2. *Techo.*

La composición del techo se obtiene con la información del detalle constructivo.

Tabla 10: Propiedades térmicas del techo

CAPA	MATERIAL	ESPESOR e [cm]	Conductividad λ [w/(m°c)]	RESISTENCIA R <sub>Mi</sub> [(m°c)/W]
1	Protección de grava	4	0.81	0.049
2	Lamina de bituminosa	1.5	0.19	0.079
3	Aislamiento	5	0.025	2.0
4	Loza de hormigón	5	0.8	0.063
5	Ladrillo hueco	10	1,4	0.071
6	Aislamiento	1	0.025	0.4
7	Enlucido de yeso	1.5	0.57	0.026
TOTAL				2.688

Fuente: (San José, 2011).

Elaboración: Propia.

Resistencia térmica total del techo es:

$$R_M = \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + R_{se} + R_{si} = 2.688 + 0.04 + 0.10 = 2.828$$

Y el coeficiente de transmisión de calor para dichas paredes será:

$$U = \frac{1}{R_{T,T}} = 0.3536 \text{ [w/(m}^2\text{°c)]}$$

### 3.8.6.3. Puertas y ventanas.

Según quedó definido el porcentaje de huecos sobre en las paredes interiores de la vivienda está en torno al 15%. El CTE, ofrece tablas en las cuales se limita valor de la transmitancia de huecos según la zona climática. En este proyecto, dicho parámetro toma el valor de  $U_{Hlim} = 3 \text{ [w/(m}^2\text{°c)]}$

Las cargas térmicas por transmisión a través de los cerramientos que se han obtenido partiendo de las condiciones extremas: esto es temperatura exterior igual  $T_{ext} = -3.7 \text{ °C}$

### 3.8.6.4. Suplemento de compensación por intermitencia (zi).

Para tener en cuenta la intermitencia de funcionamiento de la instalación de calefacción es necesario incrementar el valor de las cargas térmicas de transmisión añadiendo un suplemento de compensación por intermitencia que dependerá de la permeabilidad térmica del local a calentar. La permeabilidad térmica se calcula con la expresión:

$$K = \frac{Q_{T0}}{S_{T0} \cdot (T_i - T_e)} = 0.57 \text{ [w/(m}^2\text{k)]}$$

Donde  $Q_{T0}$  es la carga térmica por transmisión calculada para la vivienda y  $S_t$  es el superficial total de su envolvente.  $(T_i - T_e)$  es la diferencia de temperatura de la vivienda con el exterior.

Suponemos que el sistema funciona con una interrupción entre las 9 y las 12 horas. Con la aplicación del suplemento por régimen de utilización tenemos un valor final para la carga térmica de transmisión de:

$$Q_{T.trans} = Q_{T0}x(1 + Z_i) = 3644.2 x 1.15 = 4190.8 w$$

### 3.8.6.5. Cargas térmicas por ventilación.

En las instalaciones de calefacción es necesario prever una cierta renovación del aire (para la eliminación de olores, etc.... e introducción de suficiente oxígeno) para asegurar la calidad del aire en el interior del local. El aire exterior introducido será compensado con el mismo caudal de aire extraído o expulsado por ventanas y puertas, con el fin de mantener la misma cantidad de aire seco en el interior del local. La cantidad de calor latente aportado como carga se calcula con la siguiente expresión.

$$(12) \dot{Q} = V \cdot \rho_a \cdot c_{pa} \cdot \Delta T \cdot N_{ren}$$

Donde V es el volumen del recinto a climatizar,  $\rho_a$  es la densidad del aire (1,2 kg/m<sup>3</sup>),  $c_{pa}$  es el calor específico del aire (1kj/kg k),  $\Delta T$  es el salto térmico  $N_{ren}$  el numero de renovaciones por hora considerando 1 renovación por hora, considerando  $T_{ext} = -3.7^\circ c$ .

$$(13) Q_{vent} = (40 x 2,5) x 1,2 x (21 - (-3,7)) = 5802 \frac{kJ}{h} = 1612 \text{ watts}$$

### 3.8.7. Cargas térmicas por infiltración.

Las viviendas son instalaciones no herméticas, de este modo existe un flujo de calor que se pierde a través de las rendijas, grietas y demás aperturas que tiene la casa. Esta pérdida se cuantifica mediante las llamadas cargas térmicas por infiltración. Existen diversos métodos para el cálculo preciso de esta carga térmica, no obstante, se puede estimar que la carga térmica por infiltración es de aproximadamente un 30% de la carga térmica de ventilación forzada.

$$(14) \dot{Q}_{inf} = 0,3 \times \dot{Q}_{vent} = 0,3 \times 1612 = 484 \text{ watts}$$

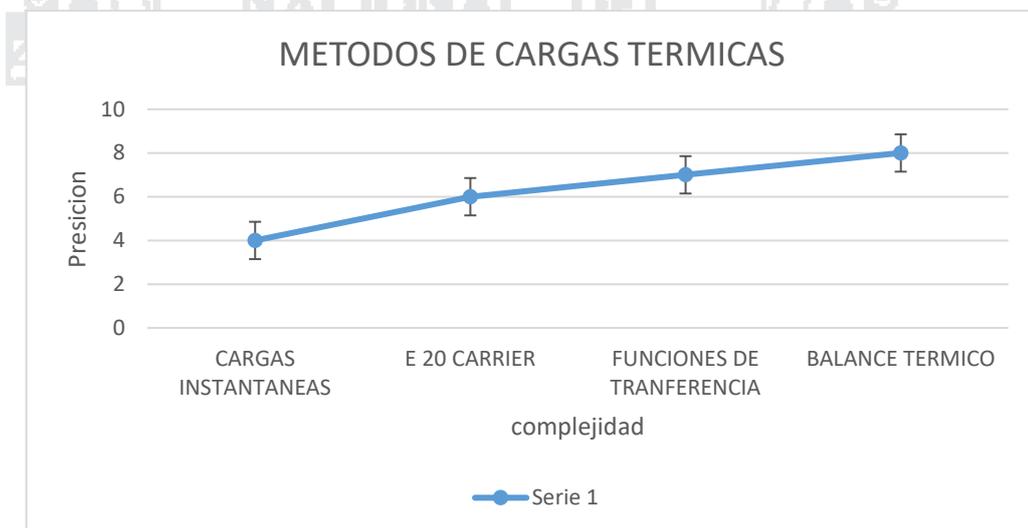
**3.8.8. Resumen del cálculo de las cargas térmicas.**

El cálculo de la carga térmica total para calefacción proporciona la potencia térmica máxima que debe suministrar la instalación térmica. Éste será el dato que utilizamos como potencia del condensador (efecto útil) en nuestra instalación.

$$(15) \dot{Q}_{total} = \dot{Q}_{trans} + \dot{Q}_{vent} + \dot{Q}_{inf} = 6287 \text{ watts.}$$

**3.8.9. Métodos de cálculo de la demanda térmica.**

Figura 38: Métodos de carga.



Fuente: (Cerezuela, 2008).

Tabla 11: Aportes y pérdidas de calor de la vivienda modelo.

APORTES DE CALOR		PERDIDAS DE CALOR	
INTERIORES	EXTERIORES	A TRAVEZ DE LOS ENCERRAMIENTOS	AIRE EXTERIOR
SENSIBLES	Irradiación solar	Paredes de fachada Cubierta Suelo Puertas Ventanas	Aire e infiltración
- Carga por ocupación			
- Iluminación			
- motores	LATENTES		
- Carga por ocupación			
- Procesos productivos			

Fuente: Propia.

La potencia térmica que el sistema de calefacción debe aportar a la vivienda para mantener las condiciones de confort será.

$$(16) Q_{sit.} = Q_I + Q_{int} - |Q_{trans}| - |Q_{vent}| - |Q_{inf}|$$

$Q_I$  = Potencia térmica por irradiación solar

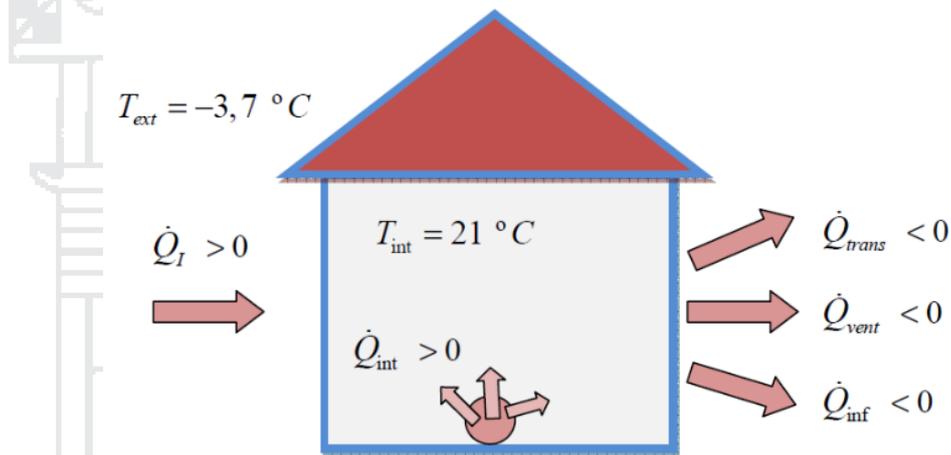
$Q_{int}$  = Potencia térmica por cargas térmicas interiores

$Q_{trans}$  = Potencia térmica por transmisión a través de cerramientos

$Q_{vent}$  = Potencia térmica por ventilación voluntaria

$Q_{inf}$  = Potencia térmica por infiltraciones.

Figura 39: Diagrama del balance térmico para la vivienda modelo.



Fuente: (Cerezuela, 2008).

El objetivo del sistema de calefacción es aportar calor a la vivienda, por ello se suele obviar las cargas térmicas que aportan calor (ayudan al sistema de calefacción) obteniéndose así valores más conservadores para el diseño de la calefacción, la potencia térmica total que debe aportar el sistema de calefacción queda.

$$(17) Q_{sit.} = Q_I + Q_{int} - |Q_{trans}| - |Q_{vent}| - |Q_{inf}| \rightarrow Q_{sit.} = |Q_{trans}| - |Q_{vent}| - |Q_{inf}|$$

### 3.8.10. Cálculo de cargas térmicas por transmisión.

Las cargas térmicas por transmisión son las cargas sensibles que la vivienda pierde a través de cada uno de los cerramientos que forman su envolvente térmica

(muros en contacto con el exterior, techos, suelos y otros elementos como puertas y ventanas). Se calculan a partir de la expresión:

$$(18) Q_{trans} = U \cdot A \cdot \Delta T$$

Donde:

$Q_{trans}$  = potencia térmica que se pierde por transmisión a través del cerramiento[W.]

U= es el coeficiente global de transferencia de calor

A= es el área del cerramiento

$\Delta T$  = diferencia de temperatura entre en los espacios que separa el cerramiento

El coeficiente global de transferencia de calor U, es función de las resistencias térmicas y viene dado por la expresión.

$$(19) U = \frac{1}{R_{T,T}}$$

La resistencia térmica total  $R_{T,T}$  [(m<sup>2</sup> °c)/W] es la suma de las resistencias térmicas de los materiales (supuestos térmicamente homogéneos) que conforman los cerramientos. A estas resistencias de conducción hay que añadir las resistencias superficiales del aire exterior e interior ( $R_{se}$ ,  $R_{si}$ ).

La resistencia térmica( $R_m$ ) de conducción de las paredes exterior se calcula mediante la siguiente expresión:

$$(20) R_M = \sum \frac{e_i}{\lambda_i}$$

Donde  $e_i$  son los espesores de cada una de las capas térmicamente homogéneas que forman la pared exterior y  $\lambda_i$  la conductividad térmica correspondiente a cada una de ellas.

### 3.8.11. Descripción de los pasos.

El principal problema que supone el uso de materiales de cambio de fase reside en el cálculo de cargas. Esto es debido a la variación de su estado durante el día:

El material puede encontrarse en estado sólido, líquido o cambiando de fase, dependiendo de las condiciones exteriores, interiores y otros muchos factores. Se distinguen 3 casos: estado sólido, líquido y cambio de fase, a continuación, se hace una breve descripción de cada uno de ellos.

### **3.8.12. Caso I: sólido.**

El material de cambio de fase se encuentra en estado sólido. Esto ocurrirá cuando las temperaturas exteriores sean bajas y no consigan subir la temperatura del material de cambio de fase hasta la temperatura de fusión. Normalmente esta fase ocurre a primeras horas de la mañana, cuando el material haya conseguido disipar durante toda la noche el calor absorbido del día anterior. Multitud de diseños para la inserción de PCM en viviendas proponen el uso de conductos de ventilación situados en contacto con los PCM para facilitar la disipación del calor almacenado durante los días de verano y expulsar ese aire caliente al exterior, evitando así que la casa recupere el calor almacenado durante el día.

Sin embargo, las simulaciones han sido realizadas sin la presencia de dichos conductos, los resultados son los obtenidos usando materiales de cambio de fase como sistemas pasivos, sin la necesidad de ningún elemento auxiliar para facilitar sus transiciones de líquido a sólido o viceversa. Teniendo en cuenta que el PCM se comporta igual que otro elemento constructivo al encontrarse en estado sólido.

### **3.8.13. Caso II: líquido.**

El material de cambio de fase en estado líquido. Los cálculos para el caso I son válidos para esta situación, teniendo en cuenta que la resistencia térmica del PCM varía según el estado en el que se encuentre, sólido o líquido. Dependiendo del PCM elegido, la resistencia térmica varía respecto a la correspondiente a la de estado sólido. Por ejemplo, si elegimos un PCM SP25 A8 cuyas conductividades térmicas

en estado líquido y sólido son 0,232 W/Mk y 0,464 W/Mk respectivamente. Las resistencias térmicas para un espesor de 2 cm son las mostradas a continuación.

$$(21) R_{T\text{ PCM SOLIDO}} = \frac{e_{\text{PCM SOLIDO}}}{\lambda_{\text{PCM SOLIDO}}} = 0.043$$

$$(22) R_{T\text{ PCM LIQUIDO}} = \frac{e_{\text{PCM LIQUIDO}}}{\lambda_{\text{PCM LIQUIDO}}} = 0.086$$

### 3.8.14. Caso III: cambio de fase.

El PCM se encuentra en estado de cambio de fase. Este caso es el más complejo de los tres analizados, ya que el calor del exterior no podrá traspasar las paredes hasta llegar al interior de la vivienda, sino que será almacenado en forma de calor latente consiguiendo una disminución significativa de carga térmica resultante. Para simplificarlo se han establecido las siguientes condiciones: · El material se encuentra durante todo el tiempo de cambio de fase homogéneo. Es decir, no coexisten fases al mismo tiempo.

$$(23) Q_{\text{latente}}[M] = hf * \lambda \text{ PPCM } V_{\text{PCM}}$$

$$(24) Q_{\text{sensible}}[M] = cp * \lambda \text{ PPCM } * V * \Delta T$$

$$(25) Q_{\text{latente}}[M] = 252 \text{ MJ}$$

$$(26) Q_{\text{SENCIBLE}}[M] = 30.25 \text{ MJ.}$$

Acumular energía aprovechando el calor latente de cambio de estado supone almacenar 6 veces más energía que acumular en forma de calor sensible en un muro de ladrillo macizo al que hemos logrado incrementar su temperatura en 20°C. El calor específico del ladrillo es 0,84 kJ/kg·K y su densidad 1800 kg/m<sup>3</sup>, por lo que la energía acumulada en un metro cúbico es solo de 30,24 MJ. En cambio, un PCM con densidad de 1400 kg/m<sup>3</sup> y calor latente de 180 kJ/kg puede llegar a acumular alrededor de 250 MJ en un metro cúbico.

$$(27) R_{T\text{ MATERIAL}} = \frac{e_{\text{material}}}{\lambda_{\text{material}}}$$

$$(28) R_{T PCM SOLIDO} = \frac{e_{PCM SOLIDO}}{\lambda_{PCM SOLIDO}}$$

$$(29) R_{T PCM LIQUIDO} = \frac{e_{PCM LIQUIDO}}{\lambda_{PCM LIQUIDO}}$$

Enlucido de yeso

$$R_1 = 0.0667$$

Ladrillo hueco doble

$$R_2 = 0.102$$

Aislante

$$R_3 = 1.333$$

PCM

$$R_4 \text{ ESTADO SOLIDO} = 0.043$$

Resistencia del interior

$$R_s \text{ interior} = 0.13 \quad R_s \text{ exterior} = 0.04$$

Resistencia del ladrillo macizo

$$R_5 = 0.1609$$

$$(30) R_{TOTAL} = R_1 + R_2 + R_3 + R_4 + R_5 + R_s \text{ interior} + R_s \text{ exterior}$$

$$R_{TOTAL} = 1.8756$$

Coefficiente de transmisión de calor para dichas paredes será:

$$(31) U_M = \frac{1}{\Sigma R} = 0.53$$

### 3.8.15. Selección del material de cambio de fase.

A la hora de seleccionar un PCM para almacenar la energía térmica proveniente de los captadores solares debemos tener en cuenta una serie de características que deben cumplir:

#### 3.8.15.1. Físicas.

Densidades del líquido y del sólido similares y elevadas para almacenar mayor

cantidad de calor por unidad de volumen. Variación de volumen baja durante el cambio de fase.

#### **3.8.15.2. Cinéticas.**

Evitar problemas de histéresis, subenfriamiento o retardos al inicio de la solidificación. En los PCM inorgánicos se requiere la presencia de agentes nucleadores para que la sustancia comience a solidificar de manera correcta.

#### **3.8.15.3. Químicas.**

El proceso de cambio de fase debe ser reversible y sólo dependiente de la temperatura.

Deben ser químicamente estables en el tiempo evitando su descomposición y contaminación, no reaccionar con los materiales con los que están en contacto (paredes de tanque, tubos del intercambiador) para evitar oxidaciones, corrosión y otras reacciones, no inflamables y resistentes a fuego.

#### **3.8.15.4. Térmicas.**

Temperatura de cambio de fase adecuada para la aplicación particular.

El cambio de fase debe desarrollarse a una temperatura de fusión definida, o en un pequeño intervalo localizado de temperaturas (ventana térmica).

Poseer gran capacidad de almacenamiento de calor sensible (calor específico) en estado líquido y sólido y tener alta entalpía de cambio de fase (calor latente “L”), alta conductividad térmica para facilitar el intercambio de calor.

#### **3.8.15.5. Económicas.**

Deben estar disponible en grandes cantidades a bajo coste, tener un razonable ciclo de vida de acuerdo con su coste, para el acumulador de calor estacional de este proyecto se ha optado por escoger una sal hidratada, estas sustancias fueron muy estudiadas en las primeras etapas de investigación de PCM, por su bajo coste y su capacidad de almacenamiento de grandes cantidades de calor por unidad de volumen

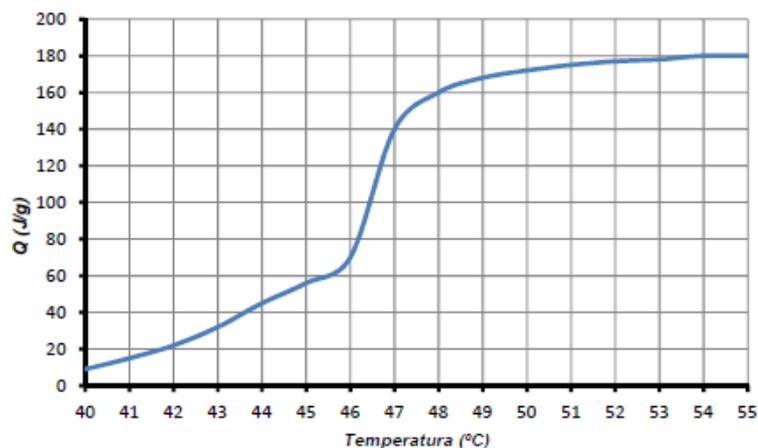
en comparación con las sustancias orgánicas, lo que las convierten en candidatas idóneos para su ser usadas en aplicaciones de almacenamiento de energía solar.

Estos materiales tienen algunas propiedades atractivas como los elevados valores de calor latente, que no son inflamables, su elevado contenido hídrico significa que son baratos y disponibles. Sin embargo, sus características de inadaptación (corrosión, inestabilidad, dificultades de re solidificación y tendencia al subenfriamiento) han conducido a profundizar la investigación de estos materiales inorgánicos para su aplicación energética.

#### **3.8.15.6. *Climacel c-48.***

El fabricante de materiales de cambio de fase CLIMATOR ofrece una variedad de sales hidratadas con diferente temperatura de cambio de fase. Finalmente, el producto seleccionado es CLIMSEL C-48 (véase Anexo 5). La elección de esta sustancia está basada en las propiedades comunes de las sales hidratadas mencionadas anteriormente y en su temperatura de cambio de fase (cerca a los 48°C), esto nos permite tener un depósito de PCM a una temperatura casi constante y no muy elevada para evitar un exceso de pérdidas de calor hacia el exterior ni tampoco muy baja ya que la idea es que el fluido de trabajo transfiera el calor desde el depósito al condensador de la vivienda que para a una temperatura próxima a los 40°, pues se trata de un sistema de calefacción basado en suelo radiante. Este tipo de instalaciones tiene la ventaja de no necesitar la instalación de un sistema de apoyo ya que la temperatura de impulsión para suelos radiantes suele estar entre los 20 y 30 °C.

Figura 40: Se Comportamiento de CLIMSEL C48 en temperaturas próximas a las del cambio de fase.



Fuente: (Climator, s.f.).

Figura 41: Propiedades de CLIMSEL C48.

Temperatura de cambio de fase	48 °C
Temperatura máxima	65 °C
Capacidad de almacenaje (40-60) °C	81 Wh / kg
Calor latente de fusión	68 Wh / L
Aprox. Calor específico	1 Wh / Kg K
Densidad	1,38 Kg / L
Conductividad térmica	0,5–0.7 W / m K

Fuente: (Climator, s.f.).

Figura 42: CLIMSEL C-48



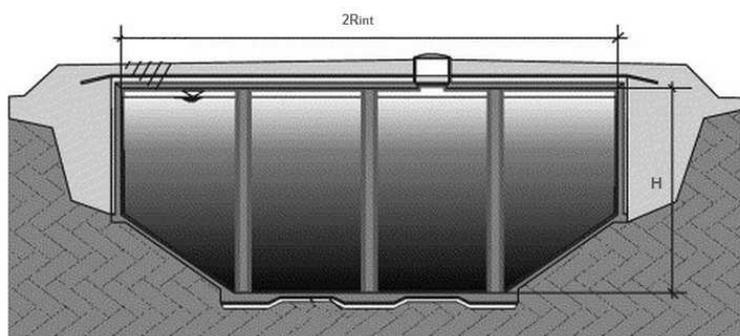
Fuente: (Climator, s.f.).

### 3.8.16. Tipo de sistema acumulador.

Con el fin de optimizar el rendimiento del sistema de calefacción solar, este proyecto está diseñado para albergar un sistema de acumulación estacional. De entre los sistemas más comunes citados en el apartado anterior debemos descartar los sistemas de sondeos y de acuíferos naturales, pues es necesario disponer de unas condiciones geológicas muy restrictivas: necesitamos tener una temperatura alta en el subsuelo con el fin de calentar el fluido caloportador, este perfil de subsuelo es más bien típico en países como Islandia donde este tipo de tecnología combinado con bombas de calor son instalados para satisfacer una fracción importante de la demanda anual de calefacción.

El medio acumulador de en este proyecto será un material de cambio de fase (PCM) basado en una sal hidratada (acetato sódico) y por tanto un tanque acumulador construido con paredes de hormigón y una chapa interior de acero parece una buena solución para albergar el volumen de PCM necesario para acumular energía térmica en forma de calor latente. Además, aprovecharemos la posibilidad de diseñar una estructura subterránea para minimizar pérdidas de calor con el ambiente, mejorar la estética urbanística y aprovechar la superficie sobre el tanque para poder construir jardines o parques.

Figura 43: Esquema de un tanque acumulador como el que se pretende diseñar.



Fuente: (Cabrera J. , 2011).

### 3.8.17. Cálculo del volumen del PCM.

En este proyecto partimos de la idea de diseñar un sistema D.H capaz de satisfacer el 100% de la demanda anual de calefacción. Los datos obtenidos en el apartado anterior indican que la demanda térmica de calefacción + ACS para el período de invierno asciende a 6.232 kWh

$$Q_{TOTAL} = 6.232 \text{ kWh}$$

El PCM que acumulará el calor es CLIMSEL C-48, el cual posee un calor latente de fusión igual a 60Wh/kg.

Suponemos que todo el calor proveniente del fluido de transferencia se almacena en forma de calor latente de fusión y por tanto tenemos que el volumen de material de cambio de fase necesario para almacenar en forma de calor latente una energía igual al consumo de calefacción será:

$$(32) Q_d = m_{PCM} \cdot L_{PCM} = m_{PCM} = Q_d / L_{PCM}$$

Donde  $Q_d$  es la demanda térmica en kWh,  $m$  es la masa de material de cambio de fase necesaria y  $L_{pcm}$  es el calor latente específico del material de cambio de fase en kWh/kg.

Utilizando las propiedades físicas del PCM Climsel C48:

$$(33) m_{PCM} = \frac{Q_d}{L_{PCM}} = \frac{6232}{60 \times 10^{-3}} = 103.86 \text{ kg}$$

Calculamos el volumen del tanque acumulador:

$$(34) V_s = \frac{m_{PCM}}{\rho_{PCM}} = 79.6 \text{ l} \approx 0.8 \text{ m}^3$$

Tomando como modelo el tanque acumulador del sistema D.H de Friedrischaffen mencionado anteriormente, se diseñará en este proyecto un tanque acumulador en forma de cilindro, con un volumen de  $0.79 \text{ m}^3$  y localizado bajo tierra. Las paredes estarán formadas por una estructura de hormigón armado, en la cara interior tendrá una capa de acero inoxidable e irá forrada con una capa aislantes, finalmente con el objetivo de rigidez

a la estructura y prensar el aislante se construirá una pared exterior de PVC. Las dimensiones del tanque cilíndrico serán las siguientes:

$$RADIO = 0.5m$$

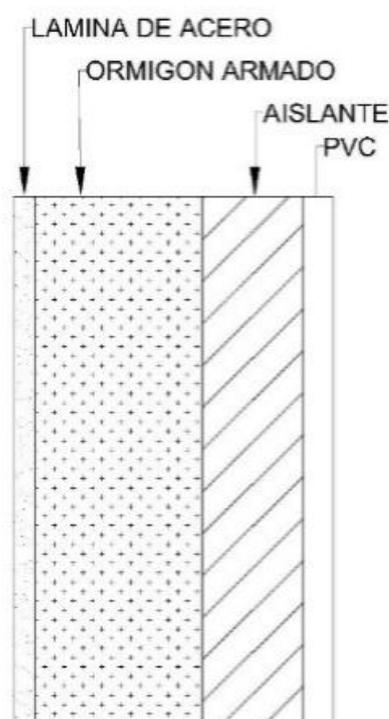
$$ALTURA = 1m$$

$$VOLUMEN = 0.8m^3$$

### 3.8.18. Aislamiento térmico del tanque.

Es muy importante mantener la temperatura del material acumulador para que, en la medida de lo posible, el PCM se encuentre a una temperatura cercana a la de su cambio de fase. La estrategia para mantener este calor es aislar el tanque y minimizar las pérdidas de calor hacia el exterior, así pues, las paredes del tanque estarán formadas por las siguientes capas.

Figura 44: DISEÑO DEL TANQUE.



Fuente: (Cabrera D. A., 2012)

Elaboración: Propia.

### **3.8.18.1. Capa interior de acero inoxidable.**

El interior del tanque estará cubierto por una primera capa de acero inoxidable con el objeto asegurar la estanqueidad material en el depósito, proteger el aislamiento térmico posterior y reducir las pérdidas de calor provocadas por difusión de vapor a través de las paredes de hormigón.

### **3.8.18.2. Construcción de hormigón armado.**

El material básico para la construcción del tanque es hormigón armado, este material dará consistencia a la estructura y además resistirá el peso y presiones del material acumulador de calor.

### **3.8.18.3. Material aislante.**

Como ya se ha comentado, el tanque acumulador de energía térmica es una fuente permanente de pérdidas de calor, por tanto, es imprescindible invertir en su aislamiento térmico. Para este proyecto se ha decidido adquirir lana de roca como material aislante. El producto decidido es una manta armada de lana de roca volcánica cosida con hilos de acero galvanizado a una malla de acero galvanizado. Esta manta está especialmente indicada para aplicaciones industriales donde se exigen altas prestaciones térmicas al aislamiento el proveedor de este material nos ofrece varias soluciones para el aislamiento térmico con antas térmicas, se ha decidido forrar el exterior del tanque con Manta térmica 150 del material ProRox WM 980. (ver Anexo 6)

Figura 45: Ejemplo de aislamiento de un tanque acumulador de calor con lana de roca.



Fuente: (Manca, 2015).

#### **3.8.18.4. Recubrimiento de PVC.**

Será la capa más externa del tanque y estará formado por láminas de PVC. Ayudará a prensar la capa de aislante contra la pared de hormigón y dará consistencia a exterior a la estructura.

#### **3.8.18.5. Arena y capa de drenaje.**

Rodeando la ubicación subterránea del tanque se procederá a introducir arena y un material de drenaje para evitar que el tanque adquiera humedades procedentes del terreno y consideraremos esta capa como parte del terreno a efecto de cálculos de resistencias térmicas.

#### **3.8.19. Pérdidas de calor en el depósito.**

Para calcular las pérdidas térmicas del depósito partimos de la simplificación de que el depósito es un cilindro perfecto de radio interior 0.5 metros y altura 1 m. Con esta aproximación distinguimos tres superficies de transferencia de calor hacia el terreno: el área de la base circular superior, el de la base circular inferior y la superficie cilíndrica.

Cuando tenemos paredes cilíndricas, como en nuestro caso, podemos considerar las paredes cilíndricas como paredes de planas cuya área igual total será igual a:

$$(35) A_{pared} = 2\pi \times R_{int} \times H$$

Así pues, la transferencia de calor desde el interior del tanque hacia el terreno por metro cuadrado de pared se podrá obtener con la expresión:

$$(36) \frac{q_{p.d}}{H_d} = \frac{\Delta T}{\sum R_{term.}}$$

Para el cálculo del coeficiente de convección interna  $h_{conv,int}$ , tenemos los siguientes órdenes de magnitud.

Imagen 1: PÉRDIDAS DE CALOR EN EL DEPÓSITO.

- Para el caso de gases
  - \_ Con movimiento natural (1-10 W/m<sup>2</sup> °C)
  - \_ Con movimiento forzado (10-100 W/m<sup>2</sup> °C)
- Par el caso de líquidos
  - \_ Con movimiento natural (100-1.000 W/m<sup>2</sup> °C)
  - \_ Con movimiento forzado (1.000-10.000 W/m<sup>2</sup> °C)
- Para el caso de fluidos en cambio de fase
  - \_ del orden de algunos millares (1.000-10.000 W/m<sup>2</sup> °C)

Fuente: (infobae, 2016).

El material que pierde calor es el material de cambio de fase (PCM) por tanto la resistencia convectiva interior es del orden de 10<sup>-5</sup> y podemos considerarla despreciable, para el cálculo de la resistencia térmica del terreno utilizamos un valor de 0,67 W /m°C.

Las propiedades térmicas de los materiales que forman la pared del tanque acumulador se exponen a continuación:

Imagen 2: Espesor óptimo de aislante calculado en el siguiente aparatado.

Material	espesor (mm)	Radio (m)	Conductividad (W/m K)
Capa de acero	5	12,005	54
Pared hormigón	200	12,205	1,4
Aislante térmico	$e_{ais.} (*)$	$12,205 + e_{ais.}$	0,04
Capa de PVC	5	$12,300 + e_{ais.}$	0,12

Fuente: (Cabrera J. , 2011).

### 3.8.19.1. Temperatura del suelo.

En una primera aproximación utilizaremos la temperatura media del suelo registrada a lo largo de todo un año que es de 13,77 °c (La Conservación de Suelos en la Sierra del Perú).

### 3.8.20. Cálculo del espesor de óptimo económico de aislamiento.

La determinación de un espesor de aislamiento adecuado obedece en algunos casos a condiciones exclusivamente técnicas, como puede la limitación de caída de temperatura de un recipiente, o fijar la temperatura máxima superficial por motivos de seguridad de los trabajadores. Pero la mayor parte de las inversiones en aislamiento tienen un carácter económico: limitar las pérdidas de calor en recintos a temperaturas muy diferentes a las ambientales. Por ello es necesario introducir conceptos económicos en la determinación del espesor del aislamiento.

### 3.8.21. Planteamiento teórico:

- Las pérdidas de energía disminuyen con un aumento del espesor de aislamiento, de acuerdo con fórmulas de perdidas calor conocida.
- El aumento del espesor de aislamiento supone un incremento de la inversión para su compra e instalación.

Así pues, para un período de tiempo previsto de amortización “n” años, se tendrá dos tipos de costes económicos:

- Inversiones en función del espesor de aislamiento <math>\langle e \rangle</math>
- Pérdidas energéticas + gastos de mantenimiento para el período considerado, en función también del espesor “e”

Para este proyecto nos basaremos en el método de cálculo directo propuesto en el Manual de aislamiento industria.

**3.8.22. Datos.**

Para la determinación del  $e_{opt}$  vamos utilizar los siguientes valores en los parámetros necesarios para el cálculo.

**3.8.23. Datos del proyecto.**

- Temperatura interior ( $48^{\circ}C$ ), la temperatura del cambio de fase del PCM.
- Temperatura exterior (13,76), la temperatura media anual del suelo.
- Horas de funcionamiento al año:  $Z=8760$  horas /año (año completo)

**3.8.24. Datos económicos.**

- Coste de la energía:  $E= 0.59$  S/kW-h
- Número de años de amortización:  $n = 20$  años
- Incremento del coste de la energía  $b=1\%$ /anual
- Tasa de actualización  $r= 2\%$

**3.8.25. Datos técnicos del aislante**

- Conductividad del aislante:  $K_{aisl}=0,04$  W/ Mk
- Precios para distintos espesores: (tabla).

También se podría reemplazar por roca volcánica tratada que es relativamente fácil de obtener en el departamento de Puno.

Tabla 12: Relación de precios del material aislante.

ESPESOR(m)	PRESIO(€/m <sup>2</sup> )
0,04	12,65
0,05	15,59
0,06	17,83
0,06	17,83
0,07	19,79
0,08	21,5
0,1	26,2
0,12	30,46

Fuente: (Climator, s.f.).

Tabla 13: Cálculo del espesor óptimo económico de aislante.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Espesor del aislante (m)	Perdidas de energía (W/m <sup>2</sup> )	Coste de las pérdidas (s/m <sup>2</sup> año)	Valor de pérdidas en periodo (s/m <sup>2</sup> )	Incremento de ahorro (s/m <sup>2</sup> )	Incremento de inversión (s/m <sup>2</sup> )	Diferencia (5) -(6) (s/m <sup>2</sup> )
0.07	14,14	5,83	130,26	14,99	7,24	7,75
0,08	12,82	5,28	118,04	12,18	6,31	5.87
0.1	39,88	4,47	99.43	18,61	17,35	1,26

Fuente: (A, F, & Santos, 2010).

Donde:

a Espesor del aislante (Dato del fabricante)

b Valor de las pérdidas de energía:

$$(37) 2_t = \frac{(T_{PCM} - T_{m.suelo})}{\left[ \frac{e_i(1)}{K_{aisl}} \right] + R_{terreno}}$$

c Coste de las pérdidas por año.

$$(38) (3)_i = (2)_i \times Z \times E$$

Valor de las pérdidas en el periodo en el periodo de estudio.

$$(39) (4)_i = (3)_i \times coef. VAN = (3) \times 22,24.$$

d Incremento del ahorro.

$$(40) (3)_{i+1} - (3)_i$$

e Incremento de la inversión.

$$(41) (4)_i - (3)_i$$

f Diferencia.

$$(42) (5)_i - (6)_i$$

Se observa como al incrementar al espesor de aislante desde 10 a 12 cm el incremento de la inversión supera a ahorro energético. Por tanto, consideramos el espesor óptimo (dentro de las posibilidades que nos ofrece el fabricante del aislante) de 0,10 m.

En el siguiente gráfico se ha representado el coste empresaria en relación con el espesor de aislamiento:

### 3.8.26. Datos técnicos del acumulador de calor.

#### 3.8.26.1. Descripción.

Tanque de almacenamiento estacional de calor enterrado y de forma cilíndrica.

#### 3.8.26.2. Dimensiones.

- Radio 0.5m
- Altura 1m
- Volumen 1m<sup>3</sup>.

#### 3.8.26.3. Materiales de construcción.

Tabla 14: Materiales de construcción del tanque.

MATERIAL	ESPESOR (mm)	CONDUCTIVIDAD TERMICA W/Mk
Acero inoxidable	5	54
Hormigón Armado	200	1,4
*Lana de roca	100	0,04
Recubrimiento de PVC	5	0,12

Fuente: (Cabrera D. A., 2012).

#### 3.8.26.4. Material acumulador de calor.

- Acumulación latente de calor.
- Material e cambio de fase: CLIMSEL C48

#### 3.8.26.5. Parámetros de operación.

- Temperatura de operación:

$$T_{PCM} = 48^{\circ}C \text{ (Supuesta constante durante todo el año)}$$

- Coeficiente global de pérdida de calor:

$$(43) (UA)_{dep} = 0,53 \text{ kw/k}$$

- Capacidad máxima de almacenamiento de calor:

$$(44) (Q_{max}) = 20000 \text{ kwh}$$

### 3.8.27. Sistema de distribución

#### 3.8.27.1. Diseño de tuberías.

Las tuberías que forman parte de una red de distribución, por donde circula el agua desde la central de producción hasta los puntos de consumo, pueden ser de materiales muy variados dependiendo en muchos casos de las características de la aplicación particular para la que se utilizarán y de las condiciones climáticas del lugar donde se proyecta el proyecto.

Los materiales más usados para tuberías son el acero, metales flexibles y plásticos flexibles y no flexibles. Independientemente del material de la tubería, actualmente la gran mayoría de las tuberías son pre-aisladas dadas sus bajas pérdidas térmicas, así como su gran durabilidad y facilidad de instalación respecto de lo que sería la instalación por separado de las tuberías y el aislamiento.

Las tuberías de circulación deberían tener una válvula de equilibrado hidráulico entre los diferentes ramales para garantizar los caudales correctos de la red. Los aislamientos en las redes de distrito deben acompañar tanto las líneas de impulsión como las de retorno.

Generalmente este tipo de tuberías se componen de tres partes:

- La tubería por donde circula el fluido.
- El aislamiento encargado de disminuir las pérdidas térmicas.
- La cubierta exterior protectora.

Las pérdidas térmicas en las tuberías no sólo dependen del salto térmico; también dependen del diámetro, a medida que aumentamos el diámetro de la tubería, mayores son las pérdidas térmicas.

Con respecto a las pérdidas por fricción es importante destacar que van en favor de las tuberías de impulsión (calientes) y en contra de las tuberías de retorno (frío) puesto que con el rozamiento se libera una cierta cantidad de calor.

En este proyecto se optará por utilizar el Sistema de tubos pre aislados para distribución de agua de calefacción, refrigeración, agua potable y agua caliente sanitaria de la empresa UPONOR [29] ANEXO (7).

Una característica de un buen sistema de tuberías es ofrecer soluciones profesionales para una gran cantidad de usos con sólo unos pocos componentes. Las cualidades de los tubos flexibles pre aislados los hacen aptos para una gran diversidad de aplicaciones. Como ejemplo de tubos pre aislados que se podrían instalar en este proyecto tenemos:

#### **3.8.28. Uponor Thermo.**

Tubos Single o Twin para el suministro de agua de calefacción. La versión Thermo Twin permite líneas de flujo y retorno en un único tubo.

Figura 46: UPONOR Thermo Single.



Fuente: (Uponor, s.f.)

Utilizando la documentación podemos estimar las pérdidas de calor por metro de tubo THERMO SINGLE a partir del diagrama de pérdidas ofrecido por la compañía. Utilizaremos los tubos de 32/140, Características de los tubos THERMO SINGLE de UPONOR.

Figura 47: Características de la tubería.

**Uponor Thermo Single**



**Main application**

- Heating water

**Other applications**

- Waste water
- Chemicals

**Medium pipe**

- PE-Xa with EVOH, SDR 11

**Option**

- Heating cable\*

**Insulating material**

- PE-X foam

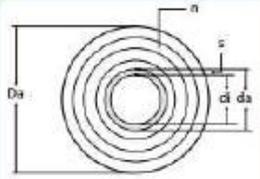
**Material jacket pipe**

- HDPE

\* (refer to Page 40)

**Note:**

The tried-and-tested solution for heating water distribution in local heating networks and for individual building tie-ins.



Fuente: (Uponor, s.f.).

Figura 48: Características térmicas de la tubería.

Old Code	Order Code	Medium pipe da / di / s [mm]	n	Jacket pipe Da [mm]	Weight [kg/m]	Delivery lengths [m]	Bending radius [m]	Insulation thickness [mm]
500002	1018109	25 / 20.4 / 2.3	4	140	1.10	200	0.25	45
500003	1018110	32 / 26.2 / 2.9	3	140	1.20	150	0.30	42
500004	1018111	40 / 32.6 / 3.7	4	175	2.20	100	0.35	55
500005	1018112	50 / 40.8 / 4.6	4	175	2.43	100	0.45	50
500006	1018113	63 / 51.4 / 5.8	3	175	2.73	100	0.55	43
500007	1018114	75 / 61.4 / 6.8	3	200	3.74	100	0.80	49

Fuente: (Uponor, s.f.).

### 3.8.29. Tubería para sistema de distribución.

Para la distribución dentro del ambiente a climatizar se utilizará Tubo de polietileno reticulado PE-Xa con barrera anti difusión de oxígeno (alcohol etilvinílico) (EVAL) por su excelente resistencia a la temperatura, presión, mayor grado y uniformidad de gesticulación, superior flexibilidad. Con las propiedades anti difusión de la barrera EVOH y la memoria térmica. La barrera EVOH anti difusión de oxígeno es una fina cama del polímero etil-vinil-alcohol que reduce drásticamente la permeabilidad del tubo a la difusión de oxígeno y por tanto reduce la corrosión en los elementos metálicos de la instalación y aumenta la vida útil de toda la instalación.

### 3.8.30. Almacenamiento de energía de corto y largo plazo.

Las diferentes canterías son distinguidos por el nivel de potencia y tiempo de descarga requerido. Éstas especificación a la vez determina los requerimientos de energía almacenada. Los niveles de potencia y tiempos de almacenamiento para las varias categorías consideradas.

Figura 49: Tiempo de almacenamiento de calor cada 100kg de PCM.

**Application Category Specifications.**

Application Category	Discharge Power Range	Discharge Time Range	Stored Energy Range	Representative Applications
Bulk energy storage	10 - 1000 MW	1 - 8 hrs	10 - 8000 MWh	Load leveling, spinning reserve
Distributed generation	100 - 2000 kW	0.5 - 4 hrs	50 - 8000 kWh (0.05 - 8 MWh)	Peak shaving, transmission deferral
Power quality	0.1 - 2 MW	1 - 30 sec	0.1 - 60 MJ (0.028 - 16.67 kWh)	End-use power quality and reliability

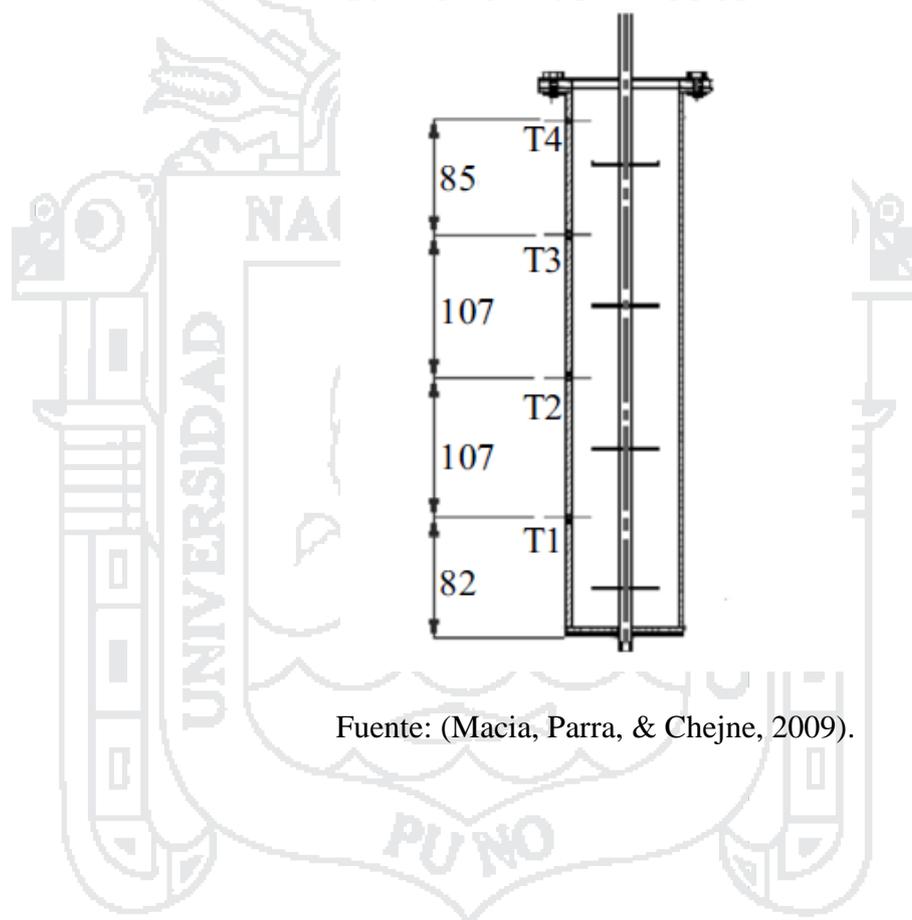
Fuente: (Mand & Burkhard, 2002).

Diversos tipos de materiales líquidos, sólidos y combinaciones de líquidos y sólidos, pueden almacenar energía por cambios de temperatura. Esta energía almacenada es igual al cambio de energía interna ( $U$ ) que sufre el material al cambiar su temperatura y viene a ser igual al calor sensible ( $Q_s$ ). Una regla de tipo práctico para determinar si un material es apropiado para utilizarse como medio de almacenamiento, es que este debe ser capaz de almacenar entre 300 y 600 kJ/°C-m<sup>2</sup> de área de colector, como mínimo.

También encontramos que cuanto mayor sea la temperatura que pueda alcanzar el medio de almacenamiento, tanto menor será el tamaño del sistema, aunque las pérdidas se hacen más evidentes. Por ejemplo, 1000 litros de agua pueden almacenar aproximadamente 84 MJ de energía cuando su temperatura aumenta de 30 a 50 °C y 168 MJ cuando la temperatura varía de 30 a 70 °C.

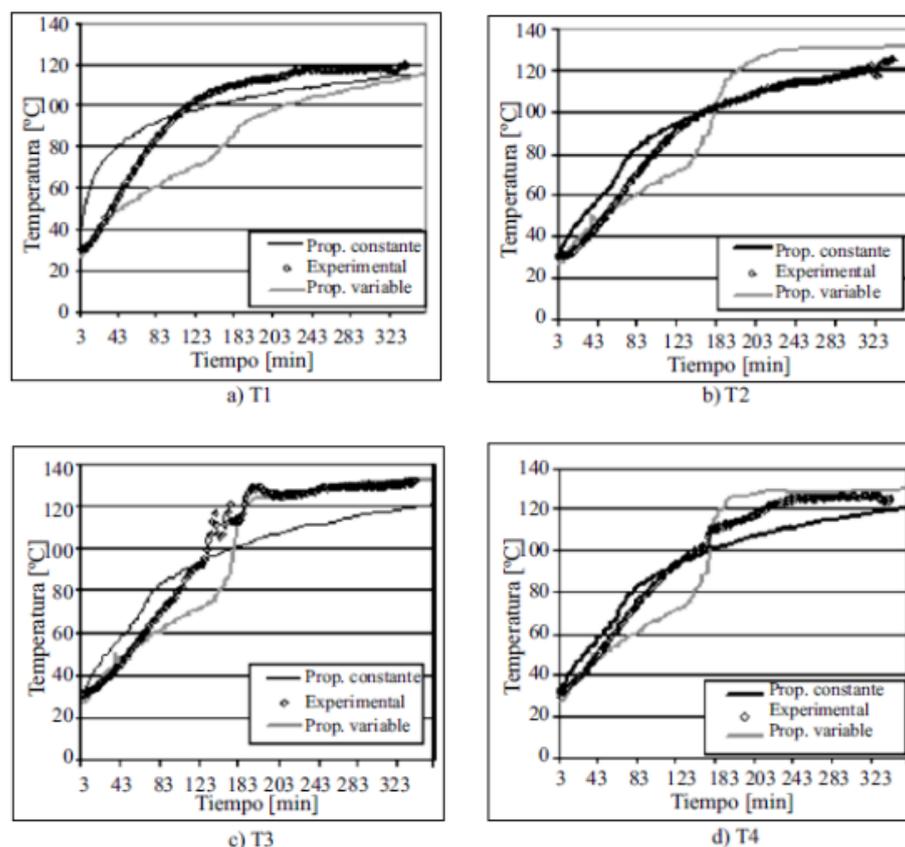
El calor específico o capacidad calorífica específica de una sustancia es de manera formal, la energía necesaria para incrementar en una unidad de temperatura una cantidad de sustancia; usando el SI es la cantidad de julios de energía necesaria para elevar en un 1 K la temperatura de 1 Kg de masa.

Figura 50: Puntos de medida de temperatura.



Fuente: (Macia, Parra, & Chejne, 2009).

Figura 51: Resultados experimentales del tiempo de almacenamiento térmico.



Fuente: (Macia, Parra, & Chejne, 2009) .

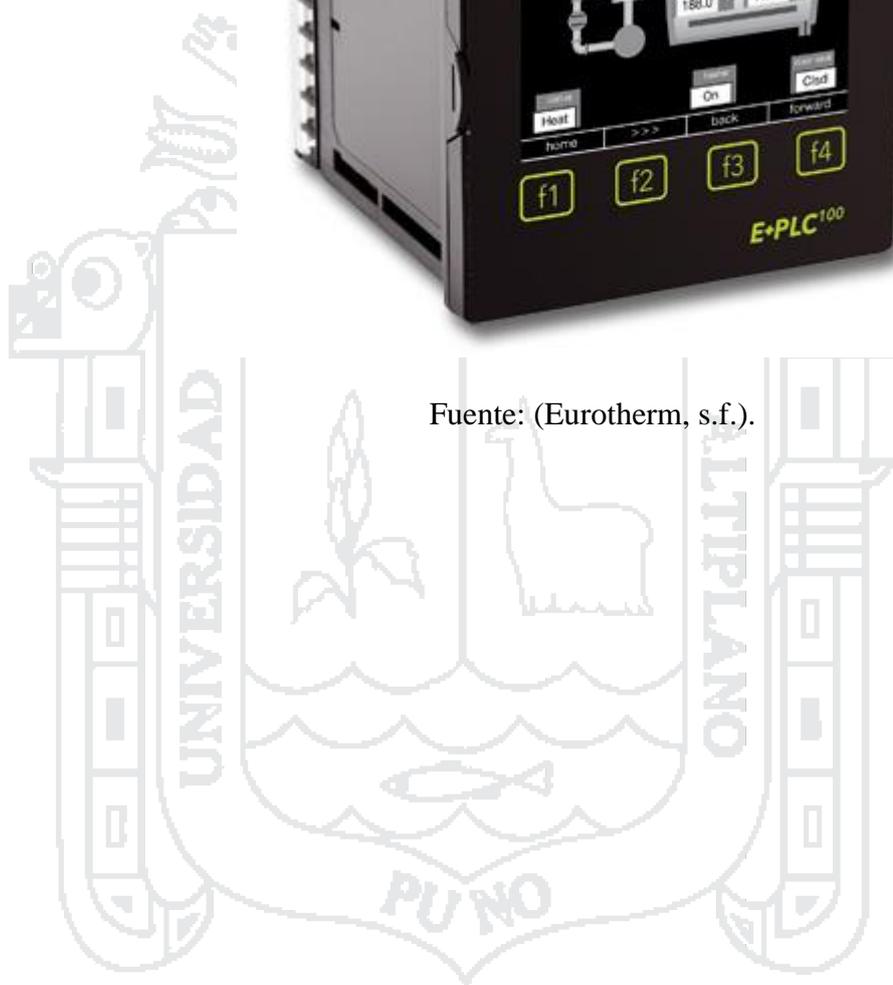
### 3.8.31. Control de automatizado del sistema.

Se ha visto por conveniente usar el E+PLC100 es un controlador PID, registrador y PLC ingeniosamente diseñado, todo en un sólo instrumento compacto con una pantalla táctil de color de 3,5" TFT. Al utilizar una plataforma estándar industrial abierto (IEC61131-3) y un entorno de programación único e integrado, reduce significativamente el tiempo sin dejar de ofrecer el mejor rendimiento del proceso y un cumplimiento normativo más fácil.

Figura 52: PLC controlador del sistema.



Fuente: (Eurotherm, s.f.).





**CAPITULO IV**  
**ANALISIS E INTERPRETACION DE**  
**RESULTADOS DE LA INVESTIGACION**

#### 4.1. Ahorro de energía en Comparación con el uso de estufas eléctricas.

El cálculo del ahorro de energía frente a una estufa eléctrica teniendo en cuenta la demanda térmica total que se necesita en la vivienda modelo es:

$$\text{estufa electrica} = 2000 \text{ watt}$$

$$\text{Coste por dia} = 4 \frac{\text{kw}}{\text{h}} \times 0.57 \frac{\text{sol}}{\text{kw}} = 2.28 \frac{\text{sol}}{\text{h}} * 6 \text{ hor.} - \text{dia} = 13.68 \text{ soles} - \text{dia}$$

$$\text{coste por mes} = 13.68 * 30 = 410.4 \text{ soles } x \text{ mes}$$

$$\text{bomba electrica} = 0.5 \text{ Hp} \approx 0.372 \text{ kw}$$

$$\text{Coste por dia} = 0.372 \frac{\text{kw}}{\text{h}} \times 0.57 \frac{\text{sol}}{\text{kw}} = 0.21 \frac{\text{sol}}{\text{h}} * 6 \text{ hor.} - \text{dia} = 1.27 \text{ soles} - \text{dia}$$

$$\text{coste por mes} = 1.27 * 30 = 38.10 \text{ soles } x \text{ mes}$$

#### 4.2. Capacidad de almacenamiento de calor.

No se pueden hacer comparaciones entre los medios de almacenamiento sin considerar un proceso solar total, incluyendo las características de los colectores solares asociados, cargas sobre el proceso, ciclos meteorológicos más probables, costes y muchos otros factores.

Los datos presentados en la tabla son de medios que podrían utilizarse en aplicaciones para el calentamiento y el enfriamiento de edificios; se aplican consideraciones idénticas en el almacenamiento de energía a altas temperaturas. El rango de temperatura puede variar desde 90°C hasta 150°C (almacenamiento para un proceso de acondicionamiento de aire), llegando hasta valores de 800°C a 1000°C (en una aplicación de un motor térmico).

Los principales factores que determinan la capacidad óptima de los sistemas de almacenamiento para vivienda son,

- a) El coste de la unidad de almacenamiento, que incluye,
  - El coste de los recipientes

- El medio de almacenamiento
- El lugar donde se sitúa
- El coste de funcionamiento de la unidad de almacenamiento

b) El efecto que la capacidad de almacenamiento tenga sobre el funcionamiento del resto del sistema y sobre todo sobre el colector.

Una unidad de almacenamiento más pequeña, funcionando a una temperatura media más alta, puede llegar a producir pérdidas grandes a la salida del colector, en comparación con sistemas parecidos con unidades de almacenamiento grandes, matizando el hecho de que el almacenamiento a corto plazo para cubrir cargas para períodos de unos cuantos días, puede resultar el más económico para aplicaciones en la construcción.

c) Hay que considerar que las pérdidas térmicas de la unidad de almacenamiento dependen de la diferencia de temperaturas entre el medio de almacenamiento y el ambiente; la transferencia total de energía es también función de su tiempo de almacenamiento.

Si se considera el almacenamiento de energía durante períodos largos, las pérdidas térmicas pueden ser importantes, llegándose a la conclusión de que, para calefacción de casas, el almacenamiento durante largos períodos parece no ser muy viable económicamente.

Hay que recalcar que, en algunas operaciones, sobre todo en calefacción de viviendas, la unidad de almacenamiento se puede situar dentro del espacio al cual va a aplicarse calor; en estas condiciones, las pérdidas de la unidad al ambiente no se pueden considerar como tales, ya que se trata de una transferencia de energía incontrolada desde el almacenamiento al espacio a calentar.

## CONCLUSIONES

Primera conclusión: tras la realización de esta tesis se puede obtener una serie de conclusiones relacionadas con los sistemas de calefacción en general y con el proyecto concreto que se desarrolla para mejorar la calidad de vida saludable del poblador alto andino.

Segunda conclusión: la existencia de nuevos proyectos de calefacción en países europeos como Dinamarca, Alemania y España incitan a plantear el desarrollo de estas instalaciones en la sierra del Perú. El desarrollo de esta tecnología en Perú debe ir unida a de las energías renovables, especialmente la energía solar; pues las condiciones meteorológicas locales permiten absorber gran cantidad de radiación solar con un menor número de captadores solares que son necesarios instalar (en comparación con otros países).

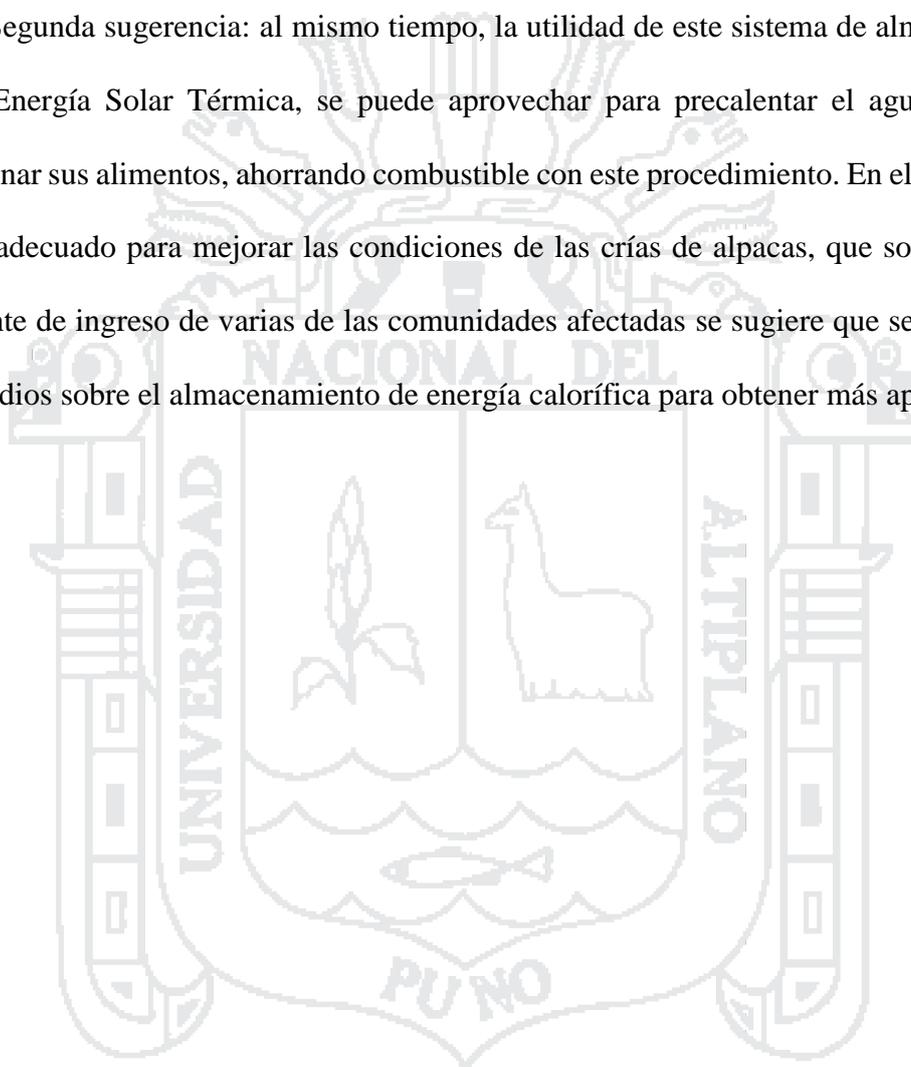
Tercera conclusión: los resultados obtenidos en este trabajo de investigación son prometedores en cuanto al ahorro energético en un 80 % por costo de calefacción de una vivienda mediante el almacenamiento de energía térmica por el uso de materiales de cambio de fase.

Cuarta conclusión: al aprovechar el almacenamiento de energía térmica calorífica se reducirá las enfermedades respiratorias agudas (I.R.A.S.). La propuesta planteada en este proyecto de investigación cuenta con un amplio campo de aplicación ya se en lo residencial, rural o incluso en lo industrial por su bajo consumo energético y muy pocos gastos de mantenimiento.

## SUGERENCIAS

Primera sugerencia: con este proyecto se busca beneficiar a familias que viven en condiciones ambientales extremas, se busca mejorar su calidad de vida y reducir el índice de enfermedades respiratorias en estas zonas del país.

Segunda sugerencia: al mismo tiempo, la utilidad de este sistema de almacenamiento de Energía Solar Térmica, se puede aprovechar para precalentar el agua usada para cocinar sus alimentos, ahorrando combustible con este procedimiento. En el futuro podría ser adecuado para mejorar las condiciones de las crías de alpacas, que son la principal fuente de ingreso de varias de las comunidades afectadas se sugiere que se realicen más estudios sobre el almacenamiento de energía calorífica para obtener más aplicaciones.



**BIBLIOGRAFÍA**

- A, O., F, N. J., & Santos, G. (2010). *Clasificación y selección de materiales de cambio de fase según sus características para su aplicación en sistemas de almacenamiento de energía térmica.*
- Abhat. (1983). *Latent Heat Thermal Energy Storage in the Temperature range 20-80°C.*
- Amazings, & NCYT. (2014). *Un sistema reduce el consumo en calefacción usando parafina en vez de agua.* Obtenido de <http://noticiasdelaciencia.com/not/11489/un-sistema-reduce-el-consumo-en-calefaccion-usando-parafina-en-vez-de-agua/>
- Azeotropo, F. (2015). Diagrama de Fases Temperatura de Ebullición-Composición de una Mezcla.
- Bérriz, L. P. (s.f.). *cubasolar.cu.* Obtenido de Calentador solar de tubos de vacío: <http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Energia/Energia39/HTML/articulo02.htm>
- Cabrera, D. A. (2012). *Almacenamiento térmico en aplicaciones solares de concentración de alta temperatura.* Sevilla.
- Cabrera, J. (2011). *Captador solar Plano Energía alternativa.*
- Cerezuela, A. P. (2008). *Estudio térmico de las fachadas ventiladas con aletas de PCM.*
- Climator. (s.f.). *Climator.com.* Obtenido de <http://climator.com/climsel/>
- Dechema. (2012). *Ingeniería química para el almacenamiento de energía.* Obtenido de <http://www.interempresas.net/Quimica/Articulos/99918-Ingenieria-quimica-para-el-almacenamiento-de-energia.html>
- García, A. (2013). *Recurso solar.* Obtenido de [http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/solar/sol\\_1/sol\\_1.html](http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica3/solar/sol_1/sol_1.html)
- Gunstone, F. D., & Herlslof, B. (2012). Características físico-químicas de los principales aceites producidos en el mundo. Fracción saponificable. Principales Ácidos grasos .

industria, m. d. (2005). *aislamiento de un tanque acumulador de calor con lana de roca*.

Obtenido de <http://www.isover-aislamiento-tecnico.es/var/technicalinsulationes/storage/original/application/5b7372bbf49929138e817b1c1673058f.pdf>

infobae. (2016). *infobae.com*. Obtenido de El barrio alemán que genera cuatro veces más energía que la que consume: <http://www.infobae.com/2016/03/28/1799894-el-barrio-aleman-que-genera-cuatro-veces-mas-energia-que-la-que-consume/>

Juarez, D. V. (2011). *Procesado, modelización y caracterización de mezclas industriales de SEBS con materiales con cambio de fase (PCM)*.

LERMA, G. J. (2010). *scalofrios*. Obtenido de [http://www.scalofrios.es/CEE/DB\\_HE1\\_ant/e.1.1.htm](http://www.scalofrios.es/CEE/DB_HE1_ant/e.1.1.htm)

López, V. (2009). *Varinia.es*. Obtenido de <http://varinia.es/blog/2009/01/08/tipos-de-captadores-solares-termicos/>

Magdaleno, L. (2011). *Forum Homini Hotel, el uso de inercia termica en la Arquitectura Sustentable*. Obtenido de <http://arquitectura0emisiones.blogspot.pe/>

Manca, M. (2015). *energrendesign.com*. Obtenido de <http://www.energrendesign.com/pcm-materiales-con-cambio-de-fase/>

Martínez, Á. Y. (2012). *www.interempresas*. Obtenido de [http://www.interempresas.net/Componentes\\_Mecanicos/Articulos/98083-CTC-y-los-materiales-con-cambio-de-fase-gestion-termica-eficiente.html](http://www.interempresas.net/Componentes_Mecanicos/Articulos/98083-CTC-y-los-materiales-con-cambio-de-fase-gestion-termica-eficiente.html)

maya, s. c. (2010). *INCORPORACIÓN DE PCM EN ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS PARA LA catalunya*.

Paredes, C. V. (2012). *Diseño de captador solar cilindrico parabolico para aplicaciones rurales en Paraguay*.

Pezo , R. B. (2011). *Q U K*. Obtenido de El comportamiento de la radiación solar en la Tierra: <http://www.blogdequk.com/2011/07/el-comportamiento-de-la-radiacion-solar.html>

rincondelvago. (2005). *rincondelvago.com*. Obtenido de <http://html.rincondelvago.com/energia-solar-termoelectrica.html>

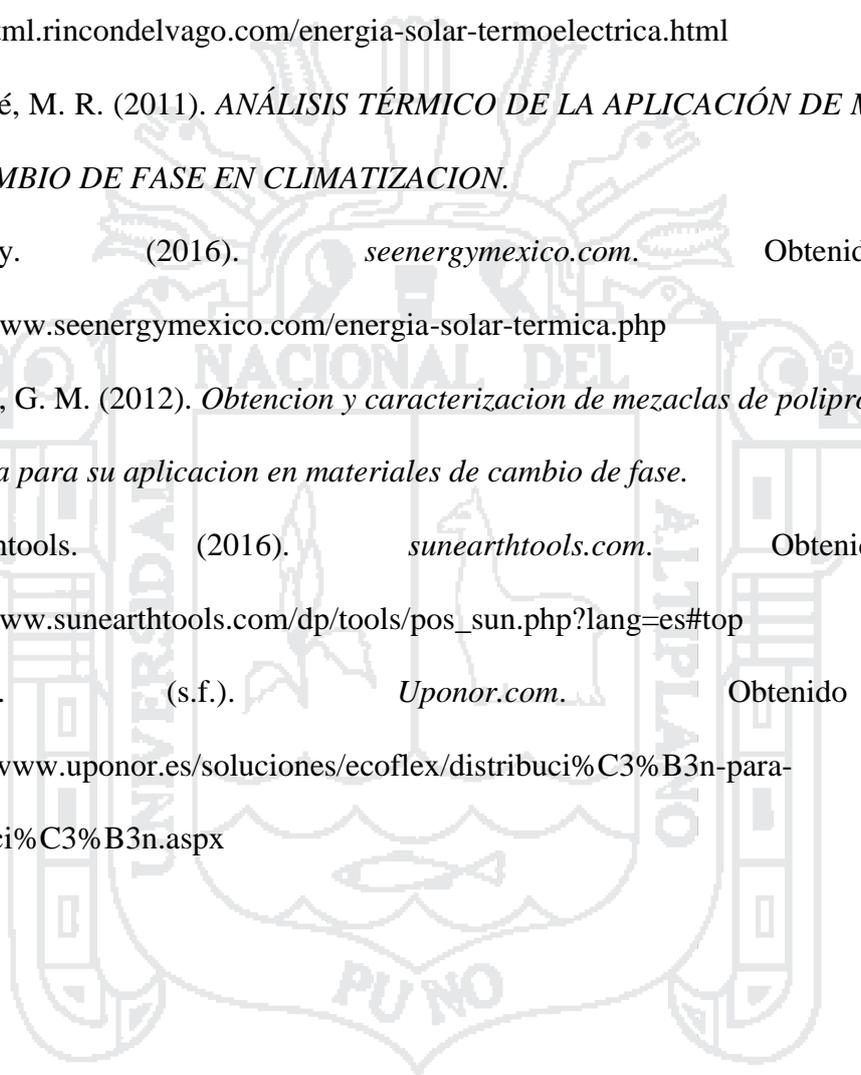
San José, M. R. (2011). *ANÁLISIS TÉRMICO DE LA APLICACIÓN DE MATERIALES DE CAMBIO DE FASE EN CLIMATIZACION*.

seenergy. (2016). *seenergymexico.com*. Obtenido de <http://www.seenergymexico.com/energia-solar-termica.php>

Serrano, G. M. (2012). *Obtencion y caracterizacion de mezaclas de polipropileno y cera parafina para su aplicacion en materiales de cambio de fase*.

sunearthtools. (2016). *sunearthtools.com*. Obtenido de [http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos\\_sun.php?lang=es#top](http://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php?lang=es#top)

Uponor. (s.f.). *Uponor.com*. Obtenido de <https://www.uponor.es/soluciones/ecoflex/distribuci%C3%B3n-para-calefacti%C3%B3n.aspx>



## ANEXOS

## Anexo 1.

## PCM: MATERIALES DE CAMBIO DE FASE



Describimos en esta nota los materiales que posibilitan, por sí mismos, almacenar energía, cambiando su estado de fase manteniendo estable su temperatura en el proceso. Nos referimos a los llamados PCM, por su denominación en inglés (Phase Change Materials).

En climas con grandes diferencias térmicas estacionales y diarias, los edificios necesitan almacenar energía (calor o frío) para mantener estable la temperatura interior y reducir el consumo. Es decir, necesitan dotarse de inercia térmica. Generalmente, la inercia térmica se resuelve recurriendo a grandes espesores de materiales convencionales, como piedra, tierra, cerámica u hormigón. Pero en muchos casos resulta necesario no perder superficie útil y aparecen soluciones más ligeras que pueden aportar esa inercia térmica con materiales capaces de almacenar energía, no calentándose ni enfriándose sino cambiando su estado.

Son los materiales de cambio de estado o de fase –MCF–, más conocidos por sus siglas en inglés: PCM (Phase Change Materials). El cambio suele ser sólido-líquido y líquido-sólido y, durante ese proceso, almacenan o ceden el calor correspondiente al cambio de fase a temperatura constante.

Dado que el calor latente de cambio de estado suele ser alto, una de las ventajas de los MCF reside en que pueden almacenar grandes cantidades de energía térmica en masas relativamente pequeñas y con muy pocas variaciones de temperatura.

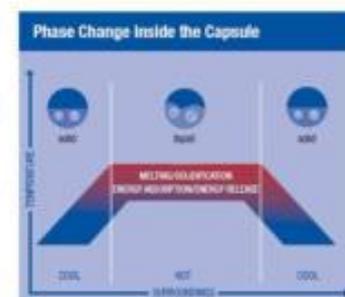
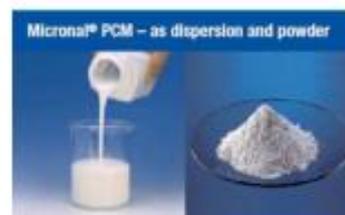
La acumulación de energía térmica en forma de calor latente ha supuesto la solución al aprovechamiento de las energías renovables irregulares (radiación solar o ventilación nocturna), que dependen de las condiciones meteorológicas.

El cambio de estado y, por tanto, el intercambio de energía, se produce en el elemento constructivo donde se ha depositado el MCF, por caso suelos, techos o tabiquería. El material se integra en esos componentes en alguno de sus tres formatos: macroencapsulado –una cápsula de gran tamaño–, microencapsulado –una esfera de tamaño microscópico– o a granel, dentro de algún hueco impermeable en el elemento constructivo.

Existen varios tipos de MCF, clasificados en orgánicos e inorgánicos.

Entre los orgánicos se destacan los de origen parafínico y los ácidos grasos. Entre los inorgánicos, los hidratos de sal. Dependiendo de la composición molecular de cada una de ellas, la sustancia tendrá una temperatura de cambio de estado y una capacidad de almacenamiento de calor característico, los cuales, junto con otras propiedades físico-químicas, la harán en mayor o menor grado aprovechable.

En la construcción los MCF más empleados son los de origen parafínico, pues no son corrosivos, siendo altamente manipulables y térmica y químicamente más estables. Poseen, además, un amplio rango de temperatura de cambio de estado.



Micronal®PCM.-microencapsulado de parafina- desarrollado por BASF

Existe en el mercado un microencapsulado de parafina desarrollado por BASF (Micronal®PCM) que puede ser encapsulado en los materiales de construcción, como por ejemplo en materiales en fachadas, carpintería, revestimientos y cubiertas, mejorando el rendimiento energético del edificio.

En general, en un edificio con MCF tanto el aislamiento como la climatización pasiva mejoran de forma simultánea. La mejora térmica se produce cuando, al integrar el MCF en un cerramiento se crea una barrera que debe cambiar de estado antes de dejar pasar la energía al otro lado; retrasando el flujo de calor. La climatización pasiva se produce por aprovechamiento de la energía renovable que almacena y cede cuando hay demanda.

Las soluciones constructivas más habituales que integran MCF microencapsulado son los paneles de yeso laminado y los morteros de hormigón o cal.

Al macroencapsulado se lo puede encontrar en paneles, suelos técnicos o en falsos techos. También se puede utilizar para absorber el calor residual de un sistema fotovoltaico, mejorando de ese modo su rendimiento. En este último caso se emplearía el material a granel, rellenando un hueco dejado detrás del panel.

## Funcionamiento de los MCF ó PCM

Existe una manera sencilla de explicar el funcionamiento de los MCF en un edificio bioclimático. En invierno, durante la mañana de un día frío, el MCF amanece sólido.

En este caso la fuente de energía es el sol; por lo tanto, es necesario capturar la energía solar –aprovechando el diseño de la vivienda– a través de huecos acristalados. Una vez que se ha procedido al almacenamiento de la radiación solar a temperatura constante licuándose el MCF, el sistema constructivo alcanza una temperatura cercana a la de cambio de estado. Al atardecer, cuando ya no es posible captar radiación solar, la temperatura del sistema comienza a disminuir hasta quedar por debajo de la de cambio de estado del MCF. En ese momento se invierte el ciclo y, a medida que la sustancia se solidifica, cede al exterior la energía acumulada, a temperatura constante.



Las temperaturas de cambio de estado más adecuadas son aquellas ligeramente por encima de la de bienestar, entre 21 y 25°C. Si la temperatura es muy alta, la sustancia podría no llegar a iniciar el proceso de licuación por no recibir suficiente energía, y si es muy baja, cederá la energía a una temperatura excesivamente fría.

Si el objetivo de la integración es regular la temperatura en verano, es necesario elegir una sustancia que tenga una temperatura de cambio más elevada. Dado que la fuente de energía es la ventilación nocturna, la temperatura de cambio no podrá ser inferior a la del aire, es decir, si las nocturnas no bajan de 20°C, la de solidificación tendrá que ser algo superior, pero nunca superar a la de bienestar interior. Por ello las más recomendables son las que oscilan entre los 20 y los 24°C.



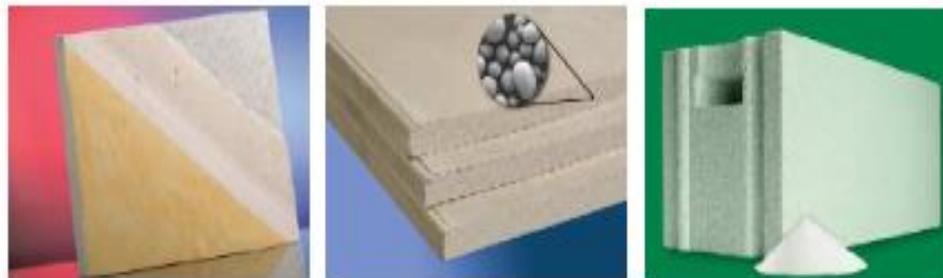
Por la mañana el MCF solidificado se empieza a licuar y almacena el exceso de energía que penetra en el edificio y regula la temperatura ambiente, por lo que la temperatura interior será más fresca que en un caso convencional.

De este modo, para dar una respuesta óptima a las condiciones de verano e invierno se puede jugar con sustancias diferentes, combinándolas entre sí, o utilizar una sola con la temperatura de cambio de estado de 23°C.

En resumen, un sistema que integre MCF trabaja completando ciclos de almacenamiento y cesión de energía, de acuerdo con la temperatura del recinto donde se encuentre instalado, asegurando una gran estabilidad térmica en volúmenes reducidos.

## Aplicaciones de los MCF o PCM en elementos y sistemas constructivos

En la forma embebida en materias de yeso se pueden encontrar productos como; placas de yeso con microesferas con propiedades de cambio de fase, emplastes con material de cambio de fase, enlucidos de yeso que contengan microesferas. En forma de materiales de revestimiento, losas para recubrimiento en fachadas con una película interior que contenga materiales de fase. En forma de elementos constructivos, ladrillos y bloques estructurales que contengan PCM, ventanas que incorporen materiales PCM, como las GlassX® que combinan capas de vidrio con capas de materiales de cambio de fase.



## Anexo 2.

**CERA DE PARAFINA, HUMOS**
**DOCUMENTACIÓN TOXICOLÓGICA PARA EL  
ESTABLECIMIENTO DEL LÍMITE DE EXPOSICIÓN PROFESIONAL  
DE LA CERA DE PARAFINA, HUMOS**

DLEP 09

2009

VLA-ED:	2 mg/m <sup>3</sup>
Nº EINECS:	232-315-6
Nº CAS:	8002-74-2
Fórmula molecular:	C <sub>n</sub> H <sub>2n+2</sub>

**PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS**

Las ceras de parafinas son unos sólidos blancos o ligeramente amarillentos, inodoros, que se obtienen a partir del petróleo. Están constituidas por una mezcla de hidrocarburos de alto peso molecular, principalmente alcanos saturados.

Poseen un peso molecular que oscila en el rango de 350-420 (dependiendo del grado técnico de las ceras), y un punto de ebullición que va de 46 °C a 68 °C.

Son insolubles en agua o alcohol, solubles en la mayoría de los disolventes orgánicos y miscibles con ceras y grasas cuando se calienta.

**USOS MÁS FRECUENTES**

Las parafinas tienen una gran variedad de usos, como, por ejemplo, en la fabricación de velas, como sellante para papel o productos alimenticios, para la extracción de perfumes de las flores o como base para los chicles.

**INFORMACIÓN TOXICOLÓGICA**

Las parafinas no pueden ser ingeridas ni absorbidas y son consideradas como no tóxicas, aunque en alguna ocasión pue-

den contener pequeñas cantidades de impurezas potencialmente carcinógenas. La ingestión de parafinas puede producir efectos laxantes. Hay algunos informes que describen el trabajo con o cerca de parafina líquida como incómodo y nauseabundo.

El spray de parafina presente en los talleres de impresión se ha encontrado que es molesto, debido a su olor y sus propiedades físicas pero no por su toxicidad.

Una concentración de 0,6 mg/m<sup>3</sup> a 1 mg/m<sup>3</sup> de humo de parafina en un lugar de trabajo donde se derrama líquido de velas de parafina se consideró como desagradable en una de las plantas, en cambio, en otras plantas, concentraciones por debajo de 2 mg/m<sup>3</sup> no produjeron ninguna molestia ni ocasionaron quejas.

**RECOMENDACIÓN**

Se recomienda un valor de VLA-ED de 2 mg/m<sup>3</sup> frente a la exposición laboral a humos de cera de parafina para minimizar el riesgo potencial de irritación del tracto respiratorio y posibles náuseas provocadas por el desagradable olor que desprenden.

Se considera de forma general una sustancia no tóxica. Las propiedades físicas de las

ceras de parafina pueden presentar un riesgo seguro si la limpieza del área de trabajo no se mantiene adecuadamente.

No se dispone de datos suficientes para recomendar las notaciones de "vía dérmica", "sensibilizante" o "cancerígeno".

## BIBLIOGRAFÍA

Letcher, C.S: Waxes. In: Kira-Othmer Concise Encyclopedia of Chemical Technology, pp. 1259-1260. M. Grayson, Ed. John Wiley & Sons, Nueva York (1985).

Merck & Co., inc: Paraffin Wax Fume. In: The Merck Index, 12<sup>th</sup> edition on CD-ROM, Version 12.1 S. Budavari, M. O'Neil, A. Smith, et al., Eds. Chapman & Hall, Nueva York (1996).

Gerade, H.W: Toxicology and Biochemistry of Aromatic Hydrocarbons. Elsevier, Amsterdam (1960).

Shybik, P; Saffiotti, U.; Lijnssky, W., et al. ; Studies on the Toxicity of Petroleum Waxes. Toxicol. Appl. Pharmacol. 4 (suppl.): 1-62 (1962).

Osor, A., Farrar, Jr., G.E: The Dispensatory of the United States of America, 25th ed. J.B. Lippincott, Philadelphia (1955).

Anonymous: Queries and minor notes. JAMA 110:2102. (1938).

Massachusetts Division of Occupational Hygiene: Unpublished data (1970).



## Anexo 3.



Hojas de Seguridad según  
1907/2006/CE, Artículo 31

Revisado a: 21/03/2011  
Fecha: 30/06/2011  
Versión: e

## PARAFINA SÓLIDA Ph. Eur.

### 1. Identificación de la Sustancia o Preparado y de la Sociedad o Empresa :

**Nombre producto :** Parafina sólida, Ph. Eur.  
**Producto N°. :** 0301

**Proveedor :**  
GUSTAV HEESS, S.L.  
Mar del Carib / Av. Vallés.  
E 08130 SANTA PERPÉTUA DE MOGODA  
Tel.: 34 935 748 600  
FAX: 34 935 748 601

**Teléfono de urgencias :** Departamento de Policía y Bomberos

### 2. Identificación de los peligros :

**Peligros potenciales para la salud Humana y el medio ambiente:**

Sólida: ninguno

Líquida: puede causar quemaduras como resultado de la temperatura

Polvo / vapor: puede estar irritar al sistema respiratorio

### 3. Composición / Información sobre los componentes :

**Caracterización química :** Hidrocarburos sólidos saturados

**CAS N°. :** 8002-74-2

**EINECS N°. :** 232-315-6

### 4. Identificación de los peligros :

**Primeros auxilios - inhalación :** Trasladarse a un espacio abierto. Consulte a su médico después de la exposición.

**Primeros auxilios - piel :** Lavar con agua y jabón.

**Primeros auxilios - ojos :** Aclarar con abundante agua. Intente mantener los párpados a distancia del globo ocular para asegurar el aclarado.

**Primeros auxilios - ingestión :** No hay síntomas ni efectos conocidos. Consulte a su médico si es necesario.

### 5. Medidas de lucha contra incendios :

**Modos de extinción :** Espuma, polvo químico seco, dióxido de carbono, arena o tierra.

**Inadecuado modo de extinción :** agua

**Peligros de exposición especiales:** Ninguno

**Descomposición arriesgada / productos de combustión :** Productos de combustión: CO, CO<sub>2</sub> y humo.

**Equipo protector :** Utilizar aparato de respiración autónomo.

### 6. Medidas en caso de vertido accidental :

**Precauciones personales :** Las precauciones habituales para manipular sustancias químicas deberían ser observadas.

**Precauciones medioambientales :** Prevenga la salida o el derrame. Prevenga que se extienda o entre en desagües, zanjas o ríos utilizando arena, tierra o barreras apropiadas.

**Métodos de limpieza :** Permite solidificarse / sacar mecánicamente.

**Más información :** En caso de la pérdida de una gran cantidad, informar a las autoridades responsables.

**Gustav Heess**

Oleochemische Erzeugnisse | Seit 1897

**PARAFINA SÓLIDA Ph. Eur.**

7. Manipulación y Almacenamiento :

**Manipulación:** No tomar medidas especiales si es usado correctamente. El polvo del producto puede formar una mezcla explosiva cuando entra en contacto con el aire.

**Almacenamiento :** Mantenga el contenedor bien cerrado. Evite la luz solar directa, fuentes de calor y agentes de oxidación fuertes. ⇒ Almacénelo a temperatura ambiente.

**Materiales recomendados:** acero, polietileno.

**Prevención de fuego y explosión :** Evite el contacto con agentes oxidantes.

8. Controles de la exposición / Protección personal :

**Medidas de control de ingeniería :** Las precauciones habituales para manipular sustancias químicas, deberían ser observadas

**Normas de exposición ocupacionales :**

Nombre componente	Tipo limite	Valor/Unidad	Más información
-------------------	-------------	--------------	-----------------

Indíquese en el exterior del envase

**Protección respiratoria :** solo si hay formación de polvo.

**Protección manos :** guantes resistentes al calor.

**Protección cuerpo :** ropa protectora.

**Protección ojos :** gafas de seguridad.

9. Propiedades Físicas y Químicas :

**Forma :** sólida a temperatura ambiente

**Color :** blanco

**Olor :** prácticamente sin olor

**Cambio de estado fisico :**

**Área de solidificación :**

Valor	Unidad	Método
-------	--------	--------

ca. 50 – 60 °C

**Punto de inflamación :**

> 150 °C

**Propiedades explosivas :**

Limite de explosión baja:

Polvo Parafina : > 15 g/m<sup>3</sup>

Limite de explosión alta:

Polvo Parafina : > 1000 g/m<sup>3</sup>

**Presión del vapor :** a 20°C

< 0,01 mbar

**Densidad :** a 20 °C

ca. 0,9 g/m<sup>3</sup>

**Viscosidad :** a 100 °C

ca. 5,5 – 6,5 mm<sup>2</sup>/s DIN 51 562

**Solubilidad en**

**agua :** insoluble

10. Estabilidad / Reactividad :

**Estabilidad / Materiales a evitar :** El almacenamiento prolongado por encima de los 20 °C, puede interferir en la calidad del producto.

**Materiales a evitar :** Evite el contacto con agentes fuertes que se oxidan.

**Productos de descomposición arriesgados :** En caso de una combustión incompleta y/o monóxido de carbono de descomposición térmica, se puede formar dióxido de carbono y humo.

**Gustav Heess**

Oleochemische Erzeugnisse | Seit 1897

## PARAFINA SÓLIDA Ph. Eur.

### 11. Información Toxicológica :

---

**Toxicidad :** LD<sub>50</sub> oral (rata) : > 5000 mg/kg  
LD<sub>50</sub> dermal (conejo) : > 2000 mg/kg

**Resultados sintomáticos específicos :**

**Sensibilización piel :** sin sensibilización

**Irritación piel :** no irritante

**Irritación ojos :** no irritante

#### Información toxicológica general :

No está clasificado como peligroso conforme la EEC Dangerous Substance Directive (Directriz de Sustancia Peligrosa) and Dangerous Preparation Directives (Directrices de Preparación Peligrosa).  
Si el producto es usado correctamente, no dañará la salud.

### 12. Información Ecológica :

---

**Mobilidad:** En estado sólido, el producto no puede dispersarse en el ambiente. En estado líquido, el producto se extiende sobre la superficie y se solidifica.

**Información adicional:** Biodegradable (OECD 301 B).

**Toxicidad pescado:** no tóxico (DIN 38 412-L 31).

### 13. Consideraciones relativas a la eliminación :

---

#### Producto :

**Precauciones :** Según regulaciones locales (probablemente la incineración más controlada).

**Embalaje contaminado :** Lavar con agua y jabón

**Precauciones :** Según regulaciones locales.

**Detergente recomendado :** agua y detergente

### 14. Información relativa al transporte :

---

No es peligroso para el transporte.

### 15. Información reglamentaria :

---

#### Clasificación CE:

No está clasificado como peligroso de acuerdo con la Regulación CLP (CE) Nº. 1272/2008.

#### Regulación Nacional :

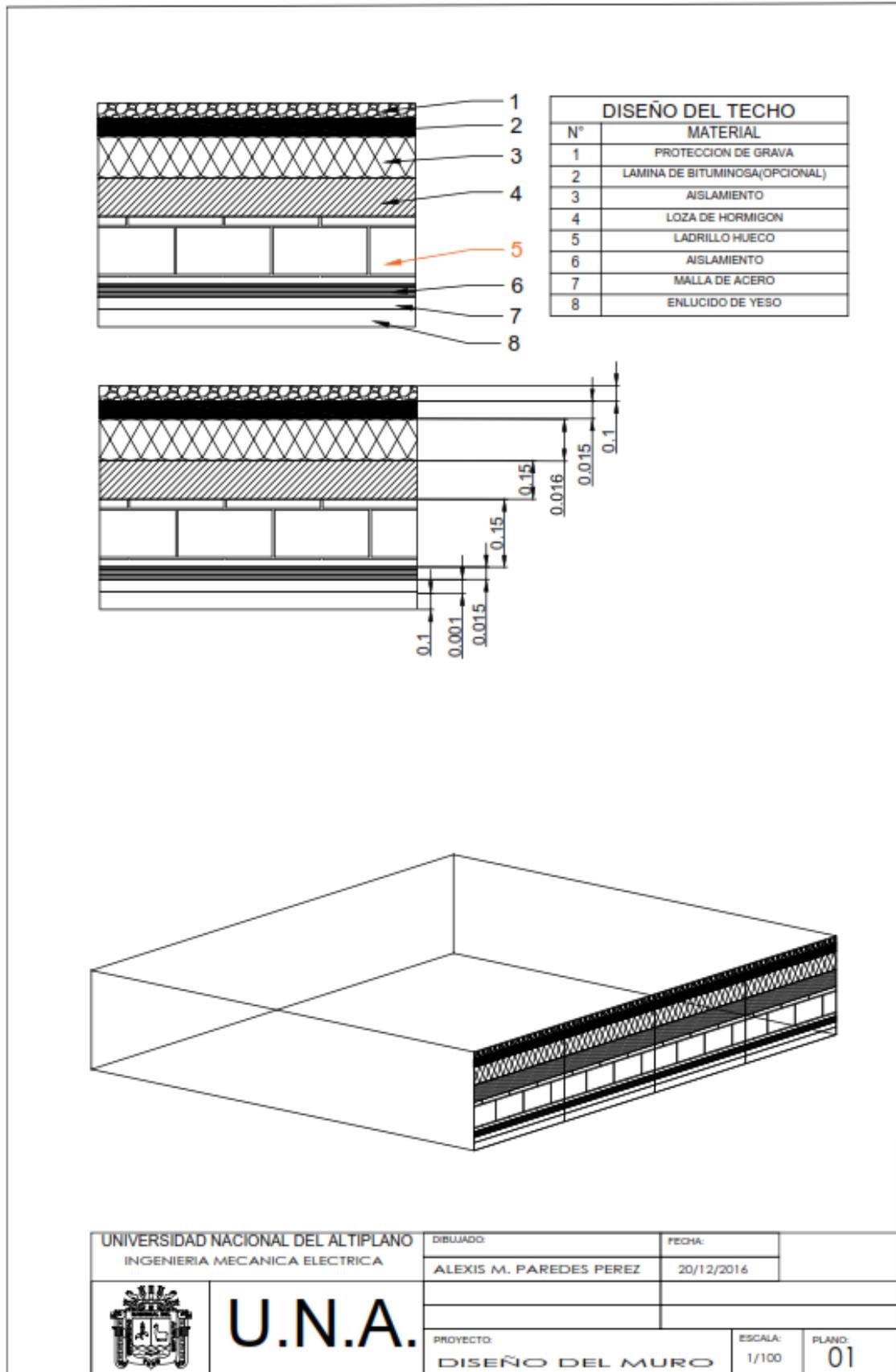
Puesta en peligro de la categoría del agua (Alemania); no hay puesta de peligro del agua para los propósitos de § 19g Abs. 5 WHG. (Clasificación después VwVwS de 17. Mayo 1999, Número 1.2 a) en la conexión con apéndice 1)

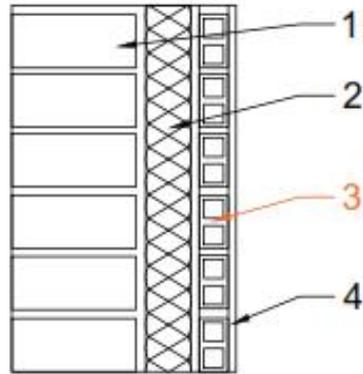
### 16. Otra Información :

---

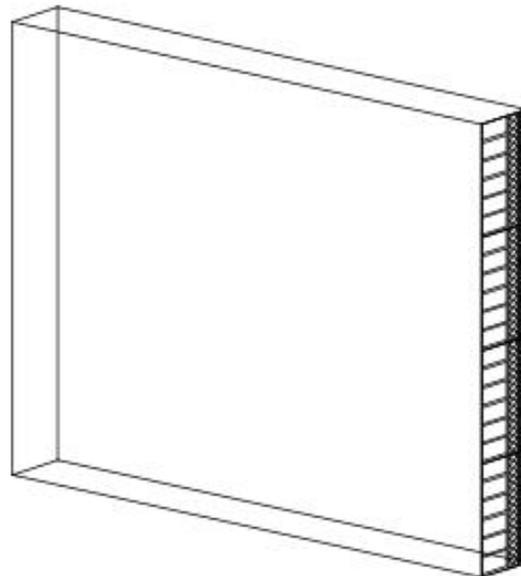
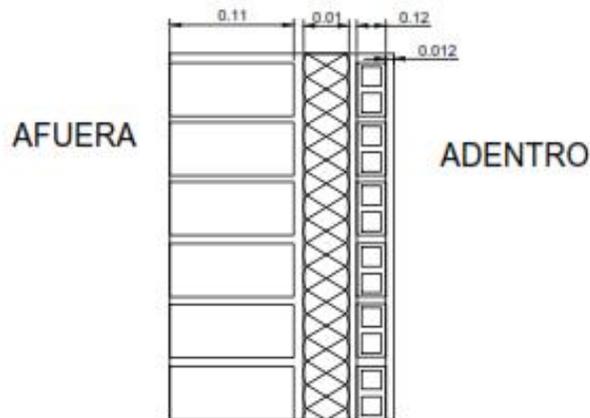
Esta información está basada según nuestro conocimiento actual y se ha intentado describir para propósitos de la salud, seguridad y exigencias ambientales. Por lo tanto esto no debería ser interpretado como garantía de alguna propiedad específica legal del producto.

Anexo 4.

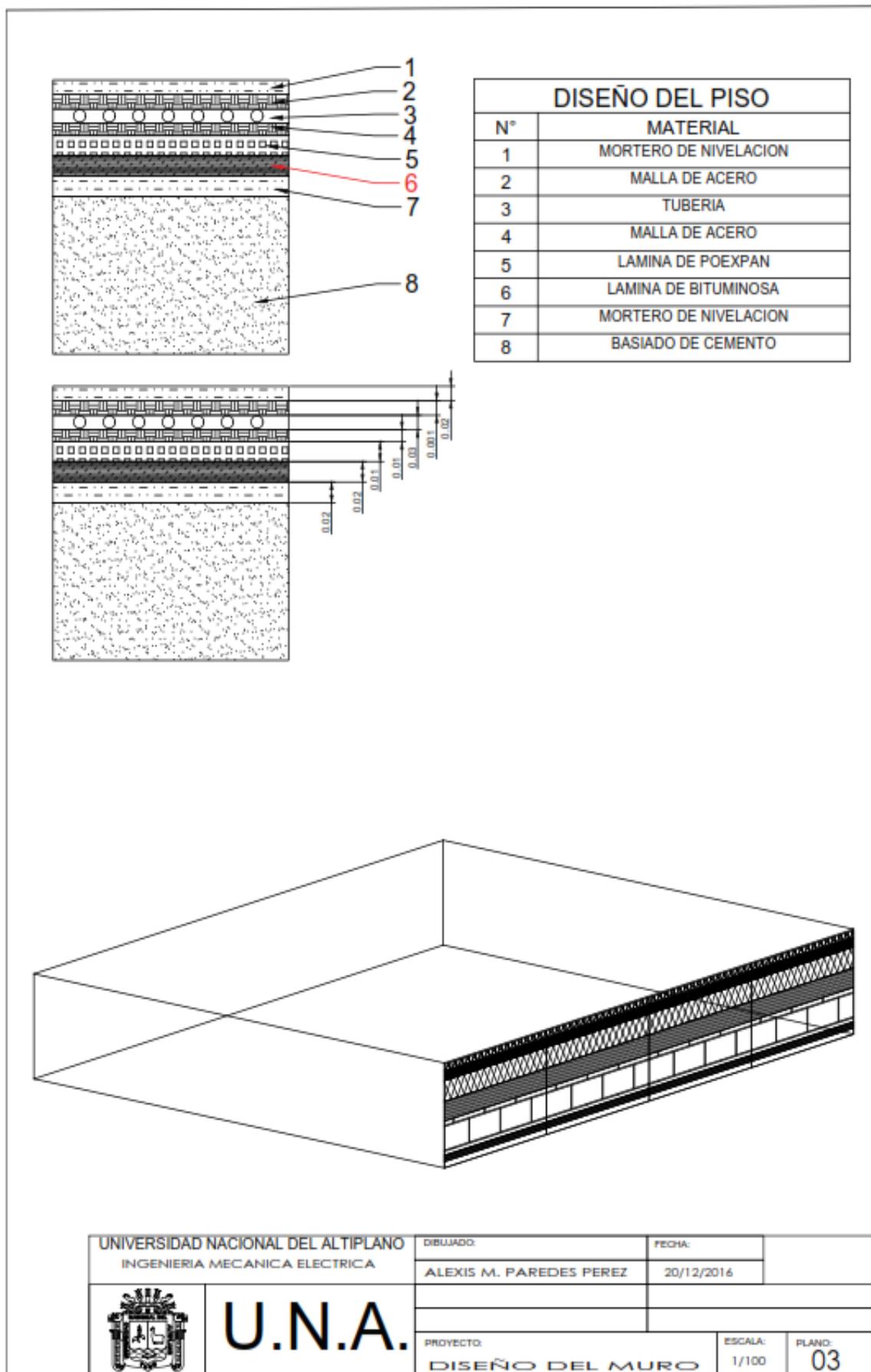


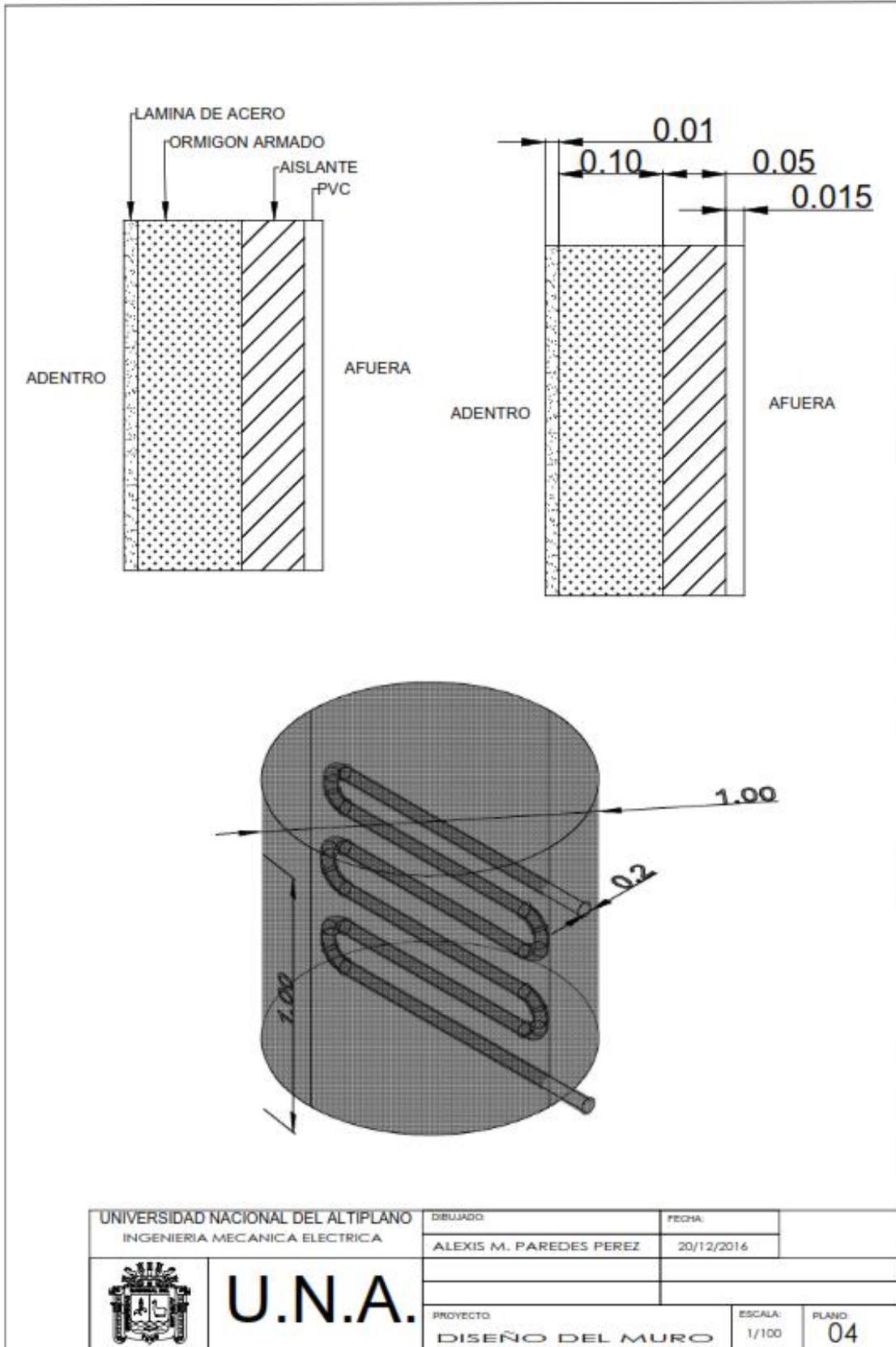


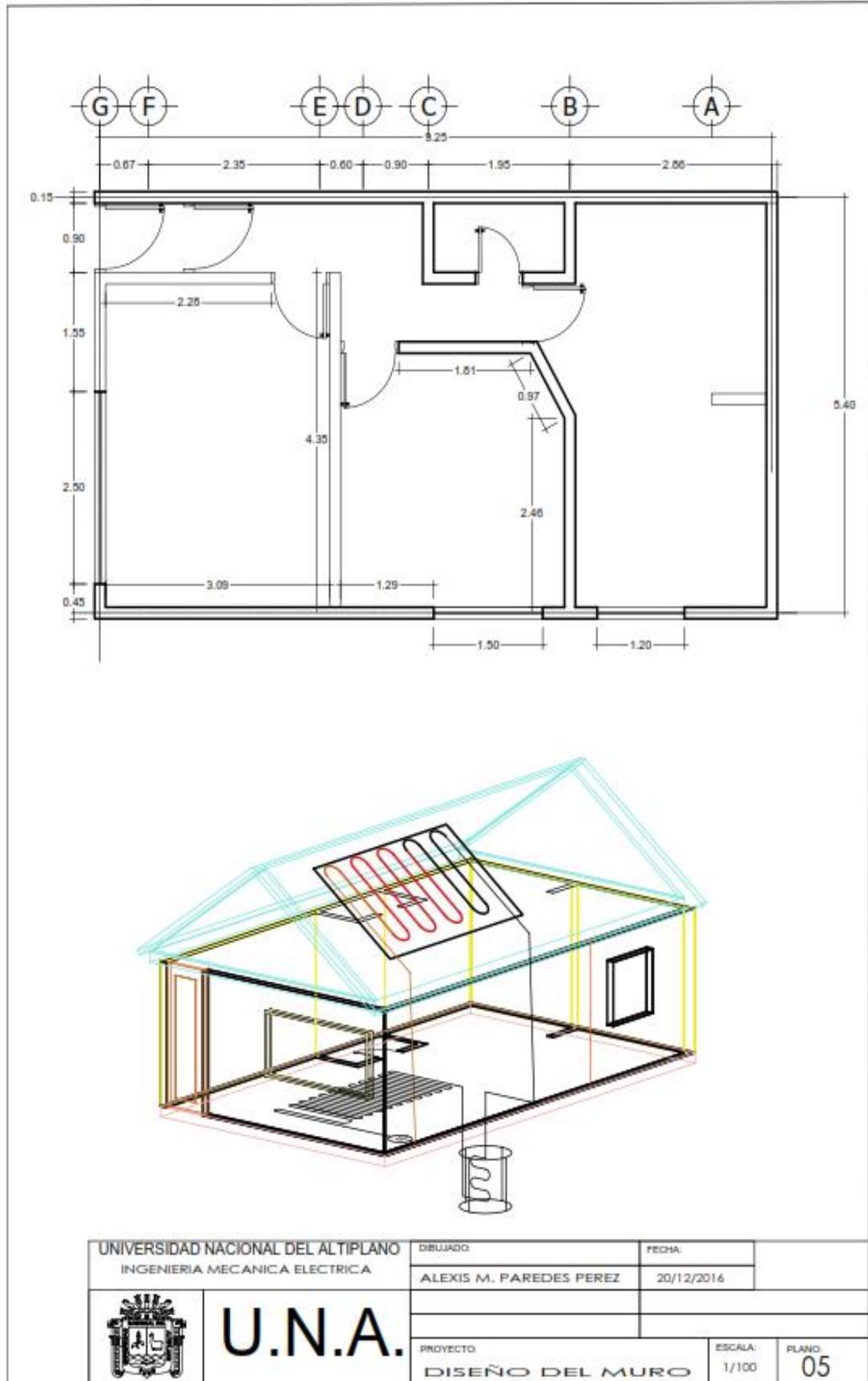
DETALLES DEL MURO	
N°	MATERIAL
1	Ladrillo Macizo
2	Aislante
3	Ladrillo Hueco
4	Enlucido de Yeso



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO INGENIERIA MECANICA ELECTRICA	DIBUJADO:	FECHA:	
	ALEXIS M. PAREDES PEREZ	20/12/2014	
	PROYECTO:	ESCALA:	PLANO:
	DISEÑO DEL MURO	1/100	02







Anexo 5.

ClimSel C48 product specification sheet
www.climator.com

150610-1

# ClimSel™ C48

*Typically used for storing of solar or free energy, as well as for temperature protection of electronics.*

### Typical temperature stabilization span

**48°C ↔ 53°C**  
**118°F ↔ 127°F**

### Product description

*ClimSel™ C48 is a salt hydrate based Phase Change Material that works by either the charging or discharging of energy at different temperatures. ClimSel™ C48 is delivered in various sizes of aluminium foil pouches. Its main components are sodium acetate, water and additives.*

### Physical data

Phase change temperature: Solid	48°C / 118°F
Phase change temperature: Liquid	53°C / 127°F
Latent heat of fusion (see curve)	50 Wh/kg – 180 kJ/kg
Specific gravity	1.3 kg/litre
Thermal conductivity: Solid	0.76 W/m²K
Thermal conductivity: Liquid	0.53 W/m²K

### Estimated functionality time

*If the products are handled correctly, and the packaging is kept uncompromised, the product will continue to cycle as intended over time, with no known lifetime limit.*

*Note: ClimSel™ C48 will only work as declared for as long as the pouch is intact.*

### Usage guidelines

- Recommended storage temperature: 10-20°C / 50-60°F.
- Preparation before use depends on application conditions.
- Do not expose the ClimSel™ C48 for temperatures above 60°C / 140°F.
- Handle the ClimSel™ C48 pouch with care and do not bend when solid.
- Do not use damaged pouch, as the product functionality will be compromised.

### Damaged products

- If damaged pouch is suspected, it shall be thoroughly inspected before use.
- Damaged products shall be discarded and can be deposited as landfill.

© Climator Sweden AB, 2015. Climator and Climsel are registered trademarks of Climator Sweden AB.

*Climator is one of the world's leading companies within PCM and temperature stabilization solutions.*

*Through our know-how, PCM expertise and innovation power, we develop project-based solutions that solve our customers' temperature stabilization and control problems.*

*We operate within four application areas.*

Transport

Room

Body

Equipment

Climator Sweden AB  
 Mejselvägen 19  
 SE-541 34 Skövde  
 SWEDEN

+46 (0)500 48 23 50  
 www.climator.com  
 climator@climator.com

moving energy in time

ClimSel C48 product specification sheet

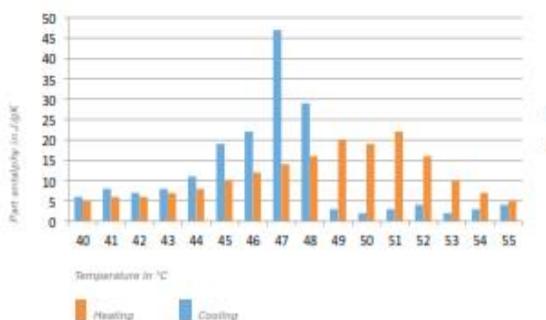
www.climator.com

150010-1

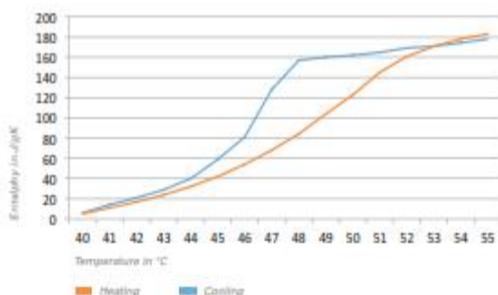
# ClimSel™ C48

## Phase change performance curves

### Part enthalpy



### Entalphy



Orange curve shows performance during melting (to be read from left to right).  
Blue curve shows performance during crystallisation (to be read from right to left).

Climator is one of the world's leading companies within PCM and temperature stabilization solutions.

Through our know-how, PCM expertise and innovation power, we develop project-based solutions that solve our customers' temperature stabilization and control problems.

We operate within four application areas.



Transport



Room



Body



Equipment

Climator Sweden AB  
Mejselvägen 18  
SE-541 34 Skövde  
SWEDEN

+46 (0)500 48 23 50  
www.climator.com  
climator@climator.com

**Climator**  
moving energy in time

© Climator Sweden AB, 2015. Climator and ClimSel are registered trademarks of Climator Sweden AB.

Anexo 6.

INDUSTRIAL AND TECHNICAL

ROCKWOOL™ PRODUCTSHEET  
200 346IN-03/15\_V1 (EN)

# ProRox WM 980<sup>IN</sup>

Old name: Rockwool 159 150



### Application

ProRox WM 980<sup>IN</sup> is a lightly bonded heavy duty stone wool mat stitched on galvanised wired mesh with galvanised wire. The wired mat is especially suitable for industrial applications such as high-pressure steam pipes, reactors, furnaces, etc. where high extreme demands are made on the temperature resistance of the insulation. Stainless steel mesh, stainless steel binding wire and/or aluminium foil facing are available upon request.

### Compliance

ProRox WM 980<sup>IN</sup> Wired Mats fully comply with the requirements as set by internationally recognized standards.

### Product properties

	Performance						Standard	
	Mean Temp(°C)	50	100	150	200	250		300
Thermal Conductivity*	λ(W/mK)	0.035	0.036	0.044	0.052	0.059	0.070	EN 12667/ ASTM C177
	λ(W/mK)	0.038	0.045	0.054	0.060	0.074	0.086	IS 8183 / IS 3346
Density		150Kg/m <sup>3</sup>						IS 8183 / IS 3144
Heat Resistance		No visible deterioration of the fibrous structure. No evidence of self heating. No fusion of fibers @ 750°C						IS 8183 / IS 3144
Incombustibility*		1.09%						IS 8183 / IS 3145
Reaction to Fire		A1 Surface burning characteristics; Flame spread = Passed, Smoke development = Passed						EN 13501-1 ASTM E 84 (UL 723)
pH*		8.00						IS 8183 / IS 3144
Water leachable chloride content*		Chloride content 7.6 mg/kg, Conforms to the stainless steel corrosion specification as per ASTM methods C 692 and C 871						EN 13468 / IS 3144 ASTM C795 ASTM C871
Sulphur content*		0.062%						IS 8183 / IS 3144
Moisture absorption*		0.070 % By Weight						IS 8183 / IS 3144
Water absorption*		Water absorption 0.075Kg/m <sup>2</sup> Water vapour absorption (vapor sorption) 0.0076% vol						EN 1609 ASTM C1104 M
		> 150 µm 6.88 % > 300 µm 1.74 % > 850 µm 0.38 % > 250 µm 4.8 % > 500 µm 1.4 %						ASTM 1335 IS 8183 / IS 3144

Note: \*Best Tested Values



[www.rockwoolasia.com](http://www.rockwoolasia.com)

#### FACTORY:

ROXUL-ROCKWOOL  
Insulation India Pvt. Ltd.  
Plot-Z/4, Dahaj SEZ, Dahaj  
District Bharuch-392 130  
Gujarat-India  
T (+91) 2661 619400  
F (+91) 2661 254292

Disclaimer: The information contained in this data sheet is believed to be correct at the date of publication. ROCKWOOL does not accept responsibility for the consequences of using ProRox in applications different from those described above.

**ROCKWOOL**  
FIBREGLASS INSULATION



CREATE AND PROTECT\*

Anexo 7.

Los primeros junto a ti

tijera Q&E cortatubos 25 mm Ref. 1001369

Adaptador giratorio expansor Q&E Ref. 1004116

iPhone 5

Q&E Expansor manual Ref. 1004000

Uponor Desbobinador Ref. 1035807

**NOVEDAD SÓLO PARA INSTALADORES**

## Uponor & more Ahora las soluciones Uponor tienen premio

**Entra en [www.uponor-more.es](http://www.uponor-more.es) y regístrate.**

A partir de ese momento podrás sumar puntos en tu cuenta para intercambiar por regalos.

### ¿Cómo conseguir puntos?

Ahora algunos productos Uponor tienen premio, mira en el interior de las cajas y encontrarás unos vales con los puntos para ir sumando en tu cuenta.

**Fijate en los productos de la tarifa que hemos indicado que tienen vales con puntos.**

[www.uponor-more.es](http://www.uponor-more.es)

encuétranos también en:



[www.eficienciaenergeticauponor.com](http://www.eficienciaenergeticauponor.com)

**uponor**  
simply more

[www.uponor.es](http://www.uponor.es) - [www.climatizacioninvisible.com](http://www.climatizacioninvisible.com) - 902 100 240

## Uponor Tarifa 2014

### Editorial

Estimado cliente,

Estamos llevando a cabo mejoras con el fin de hacer su trabajo más sencillo.

Por ello, como habrá podido ver en los anuncios incluidos en las primeras páginas de esta tarifa, **hemos simplificado la denominación de nuestros productos y vamos a mejorar el embalaje** con un nuevo sistema de etiquetado más moderno e intuitivo. A lo largo de todo el 2014 usted irá observando dichos cambios.

Además, de esta gran iniciativa nos gustaría mencionarle las novedades que podrá conocer este año, entre las que destacamos:

- **Uponor Fontanería:**

- **Uponor Uni Pipe PLUS en barra**, la única tubería multicapa del mercado sin soldadura en la capa de aluminio.
- **Uponor Metallic Pipe PLUS**, tubería multicapa con acabado exterior metálico.
- **Nueva gama de válvulas para radiadores**, las únicas que garantizan su funcionamiento con tubería Uponor Uni Pipe PLUS.
- **Herramienta Q&E grandes dimensiones eléctrica**: ligera y manejable para diámetro desde 40 mm hasta 63 mm.

- **Uponor Climatización Invisible**: Se mejoran las características del Sistema Innova Autofijación y se incrementa la rapidez de instalación.

- **Uponor Ecoflex**: Nuevos sets de aislamiento tanto longitudinales, en T y en codo. Nueva gama Aqua Single para el transporte de Agua Caliente Sanitaria y próximamente: la tubería de 125 mm.

- **Uponor Geotermia**: Nuevas sondas PEX Uponor Geo Vertis PLUS aún más resistentes con UV protección y arquetas de distribución con colectores integrados.

Recuerde que cada vez que elija productos Uponor, ganará con su elección, ya que una gran parte de nuestros productos cuentan con vales con puntos para el programa de regalos Uponor & more [www.uponor-more.es](http://www.uponor-more.es). Busque los que están marcados con el símbolo de debajo



Confiamos en que la oferta de productos y novedades que iremos presentando a lo largo del año hagan más cómodo y rentable su negocio.



CLIMATIZACIÓN INVISIBLE		Tubería Uponor Comfort Pipe y evalPEX	
		Solución de Climatización Invisible por Suelo	
		Elementos Comunes	
		Regulación y Control	
		Solución de Climatización Invisible por Suelo para Reformas	
		Solución de Climatización Invisible por Techo	
		Solución de Climatización Industrial	
ECOFLEX TUBERÍAS PREAISLADAS		Soluciones ECOFLEX para Instalaciones Preaisladas	
GEOTERMIA		Soluciones de Geotermia	
FONTANERÍA Y CALEFACCIÓN POR RADIADORES		Soluciones Uponor PEX - Q&E	
		Soluciones Uponor Multicapa - Serie M	
		Soluciones Uponor PEX y Multicapa - RTM	
SISTEMA CONTRA INCENDIOS		Sistema de suministro de agua en viviendas con prestaciones complementarias de protección contra incendios	
			Tarifa Ordenada por Código

# Uponor

## Aplicaciones de Climatización Invisible





## Tubería Uponor Comfort Pipe para instalaciones de Climatización Invisible

- Su capa antidifusión de oxígeno evita la oxidación de los componentes metálicos de la caldera y de la instalación y la acumulación de lodos con las consiguientes obstrucciones.
- La protección de la capa antidifusión de oxígeno, evita que ésta se deteriore durante su instalación.
- Su fabricación exclusiva según el método Engel, la convierte en la tubería más resistente y flexible.



Tuberías con certificado de marca de AENOR y producto certificado CERTIF

Para más información contacta con nosotros:  
T. 902 100 240  
[www.uponor.es](http://www.uponor.es)  
[www.climatizacioninvisible.com](http://www.climatizacioninvisible.com)

encuétranos también en:



[www.eficienciaenergeticauponor.com](http://www.eficienciaenergeticauponor.com)

**uponor**  
simply more

## Tubería Uponor Comfort Pipe y evalPEX

### TUBERÍA UPONOR COMFORT PIPE

#### Descripción

Tubería de Polietileno con triple capa de protección\*.

#### Aplicación

Instalaciones de Climatización Invisible en nueva edificación, reforma y sector terciario.

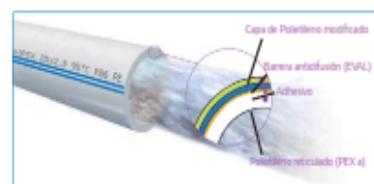
#### Características

- Tubería con certificado marca  de AENOR y producto certificado CERTIF.
- Triple capa protectora (exclusivo Uponor):
  - Polietileno reticulado (PEX a) Método Engel.
  - Con barrera antidifusión de oxígeno (EVAL).
  - Polietileno modificado.

#### Ventajas de Instalación

- **Máxima flexibilidad (PEX a):** Evita estrangulamientos que reduzcan el caudal y permite optimizar los recorridos de la instalación. Facilita la instalación reduciendo los tiempos de montaje.
- **Seguridad total (EVAL):** La capa protectora evita la penetración del oxígeno y la oxidación de los componentes metálicos de la instalación, como es el caso de la caldera.
- **El Polietileno modificado:** Permite que el tubo soporte las agresiones en obra. Gran resistencia a altas temperaturas.

(\* ) La suma de todas las capas exteriores que envuelven al PEX no supera los 0,4 mm de espesor.



Uponor Comfort Pipe Autofijación



Uponor Comfort Pipe



Uponor evalPEX tubo



Uponor evalPEX tubo en barra



## Tubería Uponor Comfort Pipe y evalPEX

### TUBERÍAS UPONOR evalPEX



#### Uponor Comfort Pipe



Tubería de polietileno reticulado. Fabricada según el método Engel con barrera antidifusión de oxígeno de Etilvinil-alcohol (EVAL) y recubierta de una capa adicional de PE modificado para proteger contra agresiones a la tubería y evitar el deterioro de la capa de EVAL.

**! TUBERÍA CON PROTECCIÓN DE LA CAPA DE EVAL (4 CAPAS)**

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
<b>1063288</b>	9,9x1,1	120 m	1.680	Uponor Comfort Pipe	1,58 €
<b>1063289</b>	9,9x1,1	240 m	2.640	Uponor Comfort Pipe	1,58 €
<b>1063285</b>	12x1,7	120 m	1.680	Uponor Comfort Pipe	1,67 €
<b>1063286</b>	12x1,7	240 m	2.640	Uponor Comfort Pipe	1,67 €
<b>1047622</b>	16x1,8	240 m	1.200	Uponor Comfort Pipe	2,12 €
<b>1057613</b>	17x2,0	240 m	1.200	Uponor Comfort Pipe	2,33 €
<b>1046707</b>	20x1,9	200 m	1.000	Uponor Comfort Pipe	2,68 €
<b>1047684</b>	20x1,9	640 m	1.280	Uponor Comfort Pipe	2,62 €
<b>1046708</b>	25x2,3	50 m	250	Uponor Comfort Pipe	4,29 €



#### Uponor evalPEX tubo



Tubería de polietileno reticulado, fabricada según el método Engel con barrera antidifusión de oxígeno. Etilvinil-Alcohol (EVAL)

**! TUBERÍA CON GRADO DE RETICULACIÓN SUPERIOR AL 80%**

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
<b>1038488</b>	16x1,8	200 m	1.200	Uponor evalPEX tubo	2,09 €
<b>1038495</b>	20x1,9	200 m	1.000	Uponor evalPEX tubo	2,65 €
<b>1038498</b>	25x2,3	25 m	250	Uponor evalPEX tubo	4,26 €
<b>1042614</b>	32x2,9	50 m	250	Uponor evalPEX tubo	7,74 €
<b>1042615</b>	40x3,7	50 m	-	Uponor evalPEX tubo	10,62 €
<b>1042616</b>	50x4,6	50 m	-	Uponor evalPEX tubo	15,49 €
<b>1042617</b>	63x5,8	50 m	-	Uponor evalPEX tubo	25,17 €



#### Uponor evalPEX tubo en barra

Tubería de polietileno reticulado, según el método Engel con barrera antidifusión de oxígeno de Etilvinil-alcohol (EVAL).

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
<b>1038501</b>	16x1,8 (60)	125 m	7.125	Uponor evalPEX tubo en barra	2,32 €
<b>1038502</b>	20x1,9 (40)	80 m	4.560	Uponor evalPEX tubo en barra	2,97 €
<b>1038503</b>	25x2,3 (40)	50 m	-	Uponor evalPEX tubo en barra	4,63 €
<b>1042620</b>	32x2,9	35 m	-	Uponor evalPEX tubo en barra	8,14 €
<b>1042621</b>	40x3,7	15 m	-	Uponor evalPEX tubo en barra	11,05 €
<b>1042622</b>	50x4,6	10 m	-	Uponor evalPEX tubo en barra	16,14 €
<b>1042623</b>	63x5,8	5 m	-	Uponor evalPEX tubo en barra	26,42 €
<b>1042624</b>	75x6,8	5 m	-	Uponor evalPEX tubo en barra	37,88 €
<b>1042625</b>	90x8,2	5 m	-	Uponor evalPEX tubo en barra	52,64 €

Tuberías con certificado de marca de AENOR y producto certificado CERTIF

## Tubería Uponor Comfort Pipe y evalPEX

### TUBERÍAS UPONOR evalPEX



#### Uponor evalPEX tubo en rollo

Enfundado en tubo coarrugado azul (A) o rojo (R).

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038684	16x1,8 A	50 m	550	Uponor evalPEX tubo en rollo	2,87 €
1038685	20x1,9 A	50 m	400	Uponor evalPEX tubo en rollo	3,52 €
1038686	25x2,3 A	50 m	300	Uponor evalPEX tubo en rollo	4,69 €
1038687	16x1,8 R	50 m	550	Uponor evalPEX tubo en rollo	2,87 €
1038688	20x1,9 R	50 m	400	Uponor evalPEX tubo en rollo	3,52 €
1038689	25x2,3 R	50 m	300	Uponor evalPEX tubo en rollo	4,69 €

Tuberías con certificado de marca de AENOR y producto certificado CERTIF

Los primeros junto a ti



## Nuevo Sistema Innova-Autofijación para instalaciones de Climatización Invisible

- El sistema **más rápido de instalar**
- Total **libertad de diseño** en los circuitos
- Mayor **ahorro de material**
- Sin herramientas, ni accesorios



Para más información contacta con nosotros:  
T. 902 100 240  
[www.climatizacioninvisible.com](http://www.climatizacioninvisible.com)  
[www.uponor.es](http://www.uponor.es)

encuétranos también en:



[www.eficienciaenergeticauponor.com](http://www.eficienciaenergeticauponor.com)

**uponor**  
simply more

## Solución de Climatización Invisible por suelo

### SISTEMA UPONOR INNOVA-AUTOFIJACIÓN

#### Descripción

La solución de Climatización Invisible por suelo radiante Uponor, está constituida por un entramado de tuberías que discurren bajo el suelo de cada estancia y por la que circula agua caliente o fría (modo calefacción/refrigeración).

Cada uno de estos circuitos, se colocan sobre un panel aislante que evita la pérdida de energía hacia las estancias inferiores.

El sistema puede funcionar en modo calefacción y/o refrigeración.

- **En modo calefacción**, el mortero que cubre los circuitos almacena la energía calorífica aportada por el agua caliente que circula por la tubería Uponor Autofijación. Esta energía posteriormente se transmite por radiación al pavimento final y a su vez al ambiente.
- **En modo refrigeración**, el agua fría que transcurre por los circuitos de tuberías Uponor, absorbe el calor del ambiente.

#### Aplicación

Climatización de edificios de nueva construcción y reforma.

#### Características

- **Tuberías Uponor Autofijación:** Con capa antidifusión de oxígeno (EVAL) que impide la difusión de oxígeno y evita la oxidación de los componentes metálicos de la caldera. Además cuenta con una cinta autofijación a lo largo de toda la tubería que permite su unión por contacto con el panel de forma rápida y segura.
- **Panel Uponor Autofijación:** Es el más rápido de instalar, gracias a su formato en rollo. Cuenta con aislamiento térmico y acústico, frente a ruido por impacto. Está certificado y cumple la normativa de instalaciones de climatización por suelo radiante. UNE-EN-ISO 1264
- **Colectores Uponor modulares:** están fabricados en plástico de alta resistencia evitándose posibles riesgos de condensación. Al ser modulares se facilita su montaje.
- **Regulación Uponor Radio Control System:** Sin cables. Único sistema de control que aporta un ahorro adicional del 8% sobre el ahorro de la propia instalación con otro tipo de control. La rapidez de respuesta se incrementa en hasta un 25% en comparación con otros sistemas. El sistema autoequilibra los circuitos para optimar el consumo energético de la instalación.

#### Ventajas

- Sistema certificado de AENOR
- Aislamiento térmico y acústico
- Válido para instalaciones de calefacción y/o refrigeración
- El sistema más seguro y rápido de instalar



Con aislamiento térmico y acústico.  
El sistema más seguro y rápido de instalar.



Panel rollo Autofijación



Tubo Comfort pipe Autofijación



Zócalo perimetral



Colector plástico modular



Sistema de control via Radio

## Solución de Climatización Invisible por suelo

### SISTEMA INNOVA-AUTOFIJACIÓN



**NOVEDAD** **Uponor Autofijación panel rollo**



Panel certificado. Fabricado en poliestireno expandido (EPS). Cumple con la normativa UNE-EN 1264 y con los requisitos de aislamientos térmicos y acústicos frente a ruido por impacto del CTE. Su formato es en rollo y cuenta con un recubrimiento de autofijación de fibras impermeables, que incluye solape adhesivo, con cuadrícula impresa y marcaje de paso de tubería de 5 cm.

**EL SISTEMA MÁS RÁPIDO DE INSTALAR**

Código Uponor	Scottape x	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
<b>1063402</b>	1007226	10x1 m 25-2 mm	10 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>	Uponor Autofijación panel rollo	15,69 €/m <sup>2</sup>
<b>1063322</b>	1007227	10x1 m 30-2 mm	10 m <sup>2</sup>	60 m <sup>2</sup>	Uponor Autofijación panel rollo	16,59 €/m <sup>2</sup>



**Uponor Comfort Pipe Autofijación**



Tubería de polietileno reticulado. Fabricada según el método Engel con barrera antidifusión etilvinil-alcohol (EVAL) y recubierta de una capa adicional de PE modificado, para proteger contra agresiones a la tubería. Una cinta de autofijación envuelve la tubería y permite su unión al panel. Esta cinta protege a la tubería en caso de ser arrastrada.

**LA TUBERÍA MÁS SEGURA FABRICADA SEGÚN EL MÉTODO ENGEL (4 CAPAS)**

**Tubería con certificado de marca de AENOR. Producto certificado CERTIF.**

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
<b>1047624</b>	16x1,8 mm	240 m	1.200	Uponor Comfort Pipe Autofijación	2,27 €
<b>1047625</b>	16x1,8 mm	640 m	1.280	Uponor Comfort Pipe Autofijación	2,24 €



**Uponor Multi Autofijación cinta unión**

Cinta adhesiva de unión entre paneles. Evita filtraciones de mortero durante su vertido.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
<b>1000012</b>	66 m x 50 mm	1	--	Uponor Multi Autofijación cinta unión	6,73 €



**Uponor Multi Autofijación zócalo perimetral**

Banda de espuma de polietileno con doble cinta adhesiva para su unión a la pared y al panel. Absorbe las dilataciones del mortero de cemento y evita los puentes térmicos.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
<b>1010081</b>	150 mm x 10 mm	50 m	--	Uponor Multi Autofijación zócalo perimetral	2,00 €

## Solución de Climatización Invisible por suelo

### SISTEMA INNOVA-AUTOFIJACIÓN



#### Uponor Multi junta de dilatación

Junta de dilatación adhesiva fabricada en polietileno y recubierta por una lamina de polipropileno. Las perforaciones en la junta de dilatación para el paso de los tubos se realizan fácilmente con un cutter

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1064355	1800x100x10 mm	10	---	Uponor Multi junta de dilatación	6,50 €



#### Uponor Multi Protector tubería

Fabricada en Polietileno-LD. Para la protección de tuberías de hasta 20 mm en áreas de juntas de dilatación.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1000082	300x80x5 mm	30	---	Uponor Multi protector de tubería	0,40 €



#### Uponor Multi aditivo para mortero

Evita la inclusión de aire en el mortero facilitando la adhesión a las tuberías Uponor evalPEX y PRO evalPEX.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038297		30 kg	720 kg	Uponor Multi aditivo para mortero	8,90 €/kg



#### Uponor Multi film antihumedad

Se recomienda su utilización sobre forjados que se encuentre en contacto con el terreno. Evita el ascenso de la humedad por capilaridad y por lo tanto la posibilidad de crear puentes térmicos.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038296	1x200 m	200 m	-	Uponor Multi film antihumedad	1,10 €



#### Uponor desbobinador tubo\*

Desbobinador válido para diámetros de tubería Uponor, desde 9.9 mm hasta 20 mm y una longitud máxima de 640 m.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1035807	9,9 mm-20 mm	1	-	Uponor desbobinador tubo	169,00 €

\*Precio Neto

## Solución de Climatización Invisible por suelo

### SISTEMA INNOVA-AUTOFIJACIÓN



#### Uponor Autofijación barra sujeción\*

Facilita la colocación del tubo evalPEX Q&E Autofijación

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
<b>1007179</b>	Extensible de 57 a 100 cm	1	-	Uponor Autofijación barra sujeción	93,50 €



#### Uponor tijera cortatubos PEX\*

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
<b>1001369</b>	25 mm	1	-	Uponor tijera cortatubos PEX	43,91 €

\*Precio Neto

15

## Solución de Climatización Invisible por suelo

### SISTEMA PANEL PORTATUBOS



#### Uponor panel portatubos

Panel portatubos de tetones de poliestireno expandido (EPS). Válido para tubo 16 y 17mm. Permite paso múltiplo entre los tubos de 5cm. Superficie útil 1,12 m<sup>2</sup>.

Cumplimiento del CTE en aislamiento térmico y acústico frente a ruido por impacto. La unión entre paneles se realiza mediante solape, evitándose así los puentes térmicos y filtraciones al verter el mortero. Gran resistencia a compresión según UNE EN 826.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1046775	1450x850x13 mm (1,23 m <sup>2</sup> )	22,14 m <sup>2</sup>	110,7 m <sup>2</sup>	Uponor panel portatubos	17,80 €/m <sup>2</sup>
1046776	1450x850x33 mm (1,23 m <sup>2</sup> )	12,3 m <sup>2</sup>	61,5 m <sup>2</sup>	Uponor panel portatubos	21,70 €/m <sup>2</sup>



#### Uponor Comfort Pipe



Tubería de polietileno reticulado. Fabricada según el método Engel con barrera antidifusión de oxígeno de Etilvinil-alcohol (EVAL) y recubierta de una capa adicional de PE modificado para proteger contra agresiones a la tubería y evitar el deterioro de la capa de EVAL.

**!** Tubería con protección de capa de Eval (4 capas)

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1047622	16x1,8 mm	240 m	1.200	Uponor Comfort Pipe (Sustituye a 1042582)	2,12 €



#### Uponor evalPEX tubo



Tubería de polietileno reticulado, fabricado según el método Engel con barrera antidifusión de oxígeno. Etilvinil-Alcohol (EVAL).

**!** Tubería con grado de reticulación superior al 80%

Código Uponor	Sustituye a	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038488		16x1,8	200 m	1.200	Uponor evalPEX tubo	2,09 €
1057613	1038492	17x2,0	240 m	1.200	Uponor evalPEX tubo	2,33 €



#### Uponor Multi Autofijación zócalo perimetral

Banda de espuma de polietileno con doble cinta adhesiva para su unión a la pared y al panel.

Absorbe las dilataciones del mortero de cemento y evita los puentes térmicos.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1010081	150 mm x10 mm	50 m	--	Uponor Multi Autofijación zócalo perimetral	2,00 €

Sistema con certificado de marca de AENOR y producto certificado CERTIF

## Solución de Climatización Invisible por suelo

### SISTEMA PANEL PORTATUBOS



#### Uponor Multi junta de dilatación

Junta de dilatación adhesiva fabricada en polietileno y recubierta por una lamina de polipropileno. Las perforaciones en la junta de dilatación para el paso de los tubos se realizan fácilmente con un cutter

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1064355	1800x100x10 mm	10	---	Uponor Multi junta de dilatación	6,50 €



#### Uponor Multi Protector tubería

Fabricada en PE-LD. Para la protección de tuberías de hasta 20 mm en áreas de juntas de dilatación.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1000082	300x80x5 mm	30	---	Uponor Multi Protector tubería	0,40 €



#### Uponor Multi aditivo para mortero

Evita la inclusión de aire en el mortero facilitando la adhesión a las tuberías Uponor evalPEX y PRO evalPEX.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038297		30 kg	720 kg	Uponor Multi aditivo para mortero	8,90 €/kg



#### Uponor Multi film antihumedad

Se recomienda su utilización sobre forjados que se encuentre en contacto con el terreno. Evita el ascenso de la humedad por capilaridad y por lo tanto la posibilidad de crear puentes térmicos.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038296	1x200 m	200 m	-	Uponor Multi film de polietileno	1,10 €

## Solución de Climatización Invisible por suelo

### OTROS SISTEMAS

**NOVEDAD**

#### Uponor panel de tetones 21/50mm



Panel fabricado en poliestireno expandido (EPS) preformado de alta densidad, recubierto de film impermeable (PS). Unión entre paneles mediante encastre.

Válido para tubería desde 16 mm hasta 20 mm  
Permite pasos entre los tubos múltiplos de 7,5 cm.  
Superficie útil 1 m<sup>2</sup>.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1062184	1350x750x21 (1m <sup>2</sup> )	12	60,7 m <sup>2</sup>	Uponor panel de tetones 21/50mm	12,70 €/m <sup>2</sup>



#### Uponor Fix canaleta adhesiva

Canaleta para la fijación del tubo 14, 16, 17 y 20. Permite distancia tubo de 5cm.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1000018	1m	100	1.800	Uponor Fix canaleta adhesiva	4,85 €/m



#### Uponor evalPEX tubo



Tubería de polietileno reticulado, fabricado según el método Engel con barrera antidifusión de oxígeno.  
Etilvinil-Alcohol (EVAL)

**!** Sistema con certificado de marca de AENOR.  
Producto certificado CERTIF.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038495	20x1,9 mm	200 m	1.000	Uponor evalPEX tubo	2,65 €



#### Uponor Multi film antihumedad

Se recomienda su utilización sobre forjados que se encuentre en contacto con el terreno. Evita el ascenso de la humedad por capilaridad y por lo tanto la posibilidad de crear puentes térmicos.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038296	1x200 m	200 m	-	Uponor Multi film antihumedad	1,10 €



#### Uponor Multi Autofijación zócalo perimetral

Banda de espuma de polietileno con doble cinta adhesiva para su unión a la pared y al panel.  
Absorbe las dilataciones del mortero de cemento y evita los puentes térmicos.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1010081	150 mmx10 mm	50 m	--	Uponor Multi Autofijación zócalo perimetral	2,00 €

## Solución de Climatización Invisible por suelo

### OTROS SISTEMAS



#### Uponor Multi Aditivo para mortero

Evita la inclusión de aire en el mortero facilitando la adhesión a las tuberías Uponor evalPEX y PRO evalPEX.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038297		30 kg	720 kg	Uponor Multi Aditivo para mortero	8,90 €/kg



#### Uponor Multi junta de dilatación

Junta de dilatación adhesiva fabricada en polietileno y recubierta por una lamina de polipropileno. Las perforaciones en la junta de dilatación para el paso de los tubos se realizan fácilmente con un cutter

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1064355	1800x100x10 mm	10	---	Uponor Multi junta de dilatación	6,50 €



#### Uponor Multi Protector tubería

Fabricada en PE-LD. Para la protección de tuberías de hasta 20 mm en áreas de juntas de dilatación.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1000082	300x80x5 mm	30	---	Uponor Multi Protector tubería	0,40 €



## Solución de Climatización Invisible por suelo

### SISTEMA PARA TARIMA CON RASTRELES



#### Uponor Multi difusor de aluminio

Difusor de aluminio para tubo 17x2mm.  
Distancia entre tubos de 18,5cm.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1009129	1150x185 mm	60	480	Uponor Multi difusor de aluminio	7,50 €



#### Uponor Comfort Pipe



Tubería de polietileno reticulado según el método Engel con barrera Etilvinil-Alcohol (EVAL).  
\*Tubo Uponor PRO evalPEX 17x2,0: consultar precio y plazo de entrega.

**!** Sistema con certificado de marca de AENOR.  
Producto certificado CERTIF.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1057613	17x2,0	240 m	1.200	Uponor Comfort Pipe (sustituye a 1038492)	2,33 €



#### Uponor Multi Autofijación zócalo perimetral

Banda de espuma de polietileno con doble cinta adhesiva para su unión a la pared y al panel.  
Absorbe las dilataciones del mortero de cemento y evita los puentes térmicos.

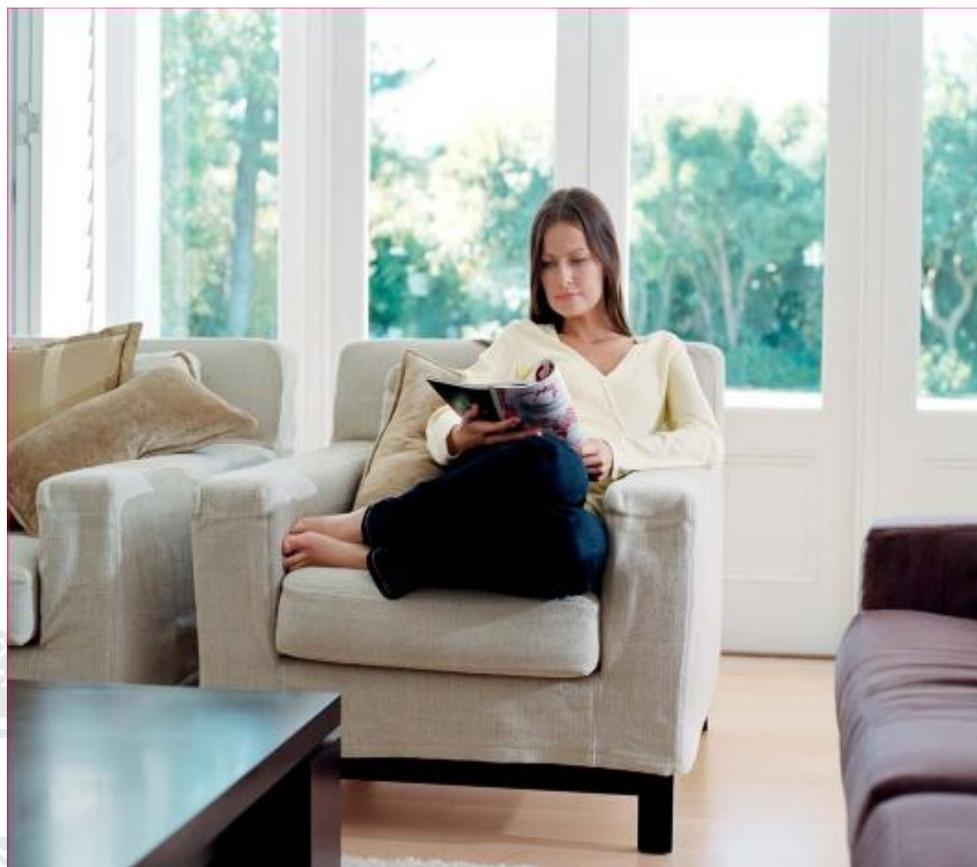
Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1010081	150 mmx10 mm	50 m	--	Uponor Multi Autofijación zócalo perimetral	2,00 €



#### Uponor Multi film antihumedad

Se recomienda su utilización sobre forjados que se encuentre en contacto con el terreno. Evita el ascenso de la humedad por capilaridad y por lo tanto la posibilidad de crear puentes térmicos.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038296	1x200 m	200 m	-	Uponor Multi film antihumedad	1,10 €



## Colectores plásticos y otros componentes de la instalación

- Colectores 100% plásticos, sin riesgos de oxidación.
- Permiten el equilibrado automático de cada circuito en combinación con los sistemas de control Uponor.
- Al ser modulares su montaje es rápido, sencillo, sin herramientas y de fácil redimensionamiento.
- En instalaciones de refrigeración, no es necesario aislarlos.



Para más información contacta con nosotros:  
T. 902 100 240  
[www.uponor.es](http://www.uponor.es)  
[www.climatizacioninvisible.com](http://www.climatizacioninvisible.com)

encuétranos también en:



[www.eficienciaenergeticauponor.com](http://www.eficienciaenergeticauponor.com)

**uponor**  
simply more

## Climatización Invisible. Elementos comunes

### UPONOR SISTEMA DE REGULACIÓN

#### Descripción

Elementos comunes para la regulación de los circuitos de Climatización Invisible.

#### Aplicación

Para sistemas de calefacción/refrigeración mediante suelo radiante.

#### Características

- **Kit colector:** Son plásticos reduciéndose el riesgo de oxidación y por tanto el de obturación de la tubería por depósitos. Además son modulares, esto permite dimensionar el número de salidas de cada colector fácilmente y modificarlo si fuese necesario, en la misma obra. Los colectores cuentan con termómetro tanto en el circuito de entrada como en el de salida, con el fin de poder comprobar fácilmente que el funcionamiento de la instalación es correcto durante su uso y que no se está realizando un consumo inadecuado o excesivo de energía.
- **Cabezales electrotérmicos:** Estos cabezales son modulables de modo que se puede controlar con precisión el caudal que circula por cada uno de los circuitos, evitándose así un exceso o defecto de caudal en comparación con los cabezales abierto/cerrado. Esto evita oscilaciones en la temperatura de confort y por tanto consumos innecesarios de energía.
- **Caja de colectores:** Destinados al alojamiento de los sistemas de regulación, pudiendo elegir entre dos medidas de profundidad de caja.

#### Ventajas

**Colectores modulares de fácil montaje a mano y redimensionamiento futuro de la instalación. con caudalímetros de fácil equilibrado de los circuitos. También sin caudalímetro.**

**Todos los módulos básicos cuentan con purgador y termómetro.**



**Colectores plásticos libres de oxidaciones.**



Kit colector 2 salidas



Módulo básico colector con caudalímetro 1 salida



Cabezal electrotérmico



Tapa colectores



By-pass para colector

## Climatización Invisible. Elementos comunes

### COLECTORES PLÁSTICOS Y OTROS COMPONENTES



#### Uponor Vario Plus colector kit 2 salidas

Fabricado en material plástico de alta resistencia libre de oxidaciones que soporta hasta 95° C y una presión de 6 bar en condiciones puntuales. Fácil montaje a mano y redimensionamiento futuro de la instalación.

Incluye:

- 2 Purgadores
- 2 Termómetros
- 2 Llaves de paso
- 1 Kit soporte

**! LIBRE DE OXIDACIONES**

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038508	1"x3/4"	1	108	Uponor Vario Plus colector kit 2 salidas	214,00 €



#### Uponor Vario Plus módulo básico colector 1 salida

Fabricado en material plástico de alta resistencia, que soporta hasta 95°C y una presión de 6 bar en condiciones puntuales. Material libre de oxidaciones.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
1038510	1"x3/4"	10	700	Uponor Vario Plus módulo básico colector 1 salida	40,50 €



## Climatización Invisible. Elementos comunes

### COLECTORES PLÁSTICOS Y OTROS COMPONENTES



#### Uponor Vario Plus colector kit caudalimetro

Fabricados en material plástico de alta resistencia, libre de oxidaciones que soporta hasta 95 °C y una presión de 6 bar en condiciones puntuales.

Fácil montaje a mano y redimensionamiento futuro de la instalación.

Incluye:

- 2 Purgadores
- 2 Termómetros
- 2 Caudalímetros
- 2 Llaves de paso
- 1 Kit soporte

**! LIBRE DE OXIDACIONES**

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet
1038509	1"x3/4"	1	108

Descripción	PVP/m. ud
Uponor Vario Plus colector kit caudalimetro	225,00 €



#### Uponor Vario Plus módulo básico colector caudalimetro 1 salida

Fabricados en material plástico de alta resistencia, libre de oxidaciones, que soporta hasta 95 °C y una presión de 6 bar en condiciones puntuales.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet
1038511	1"x3/4"	10	700

Descripción	PVP/m. ud
Uponor Vario Plus módulo básico colector caudalimetro 1 salida	49,50 €



#### Uponor Vario Plus by-pass colector

By-pass para conectar directamente sobre el colector Uponor, provisto de una válvula de presión diferencial. Permite recircular el caudal de la bomba en caso de que cierren los circuitos de la instalación. Válido para los grupos que no tienen by pass incorporado.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet
1046884	by-pass	1	-

Descripción	PVP/m. ud
Uponor Vario Plus by-pass colector	95,00 €

## Climatización Invisible. Elementos comunes

### COLECTORES PLÁSTICOS Y OTROS COMPONENTES



#### Uponor Vario Plus adaptador

Adaptador para conectar las tuberías al colector plástico.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
<b>1044518</b>	9,9x1,1 mm	12	-	Uponor Vario Plus adaptador	14,34 €/Set
<b>1010799</b>	16x1,8 mm	2	-	Uponor Vario Plus adaptador	4,82 €
<b>1010803</b>	17x2,0 mm	2	-	Uponor Vario Plus adaptador	5,09 €
<b>1010805</b>	20x1,9 mm	2	-	Uponor Vario Plus adaptador	5,25 €



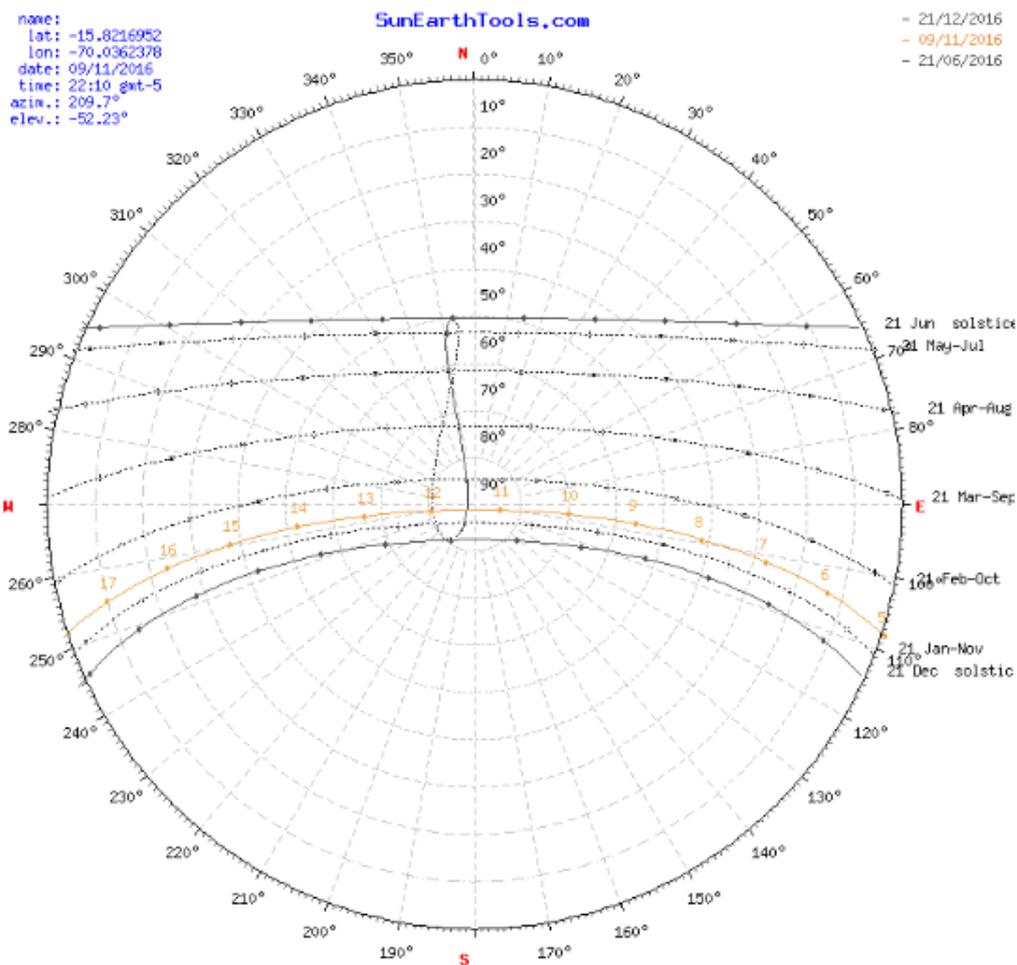
#### Uponor Vario Plus cabezal electrotérmico

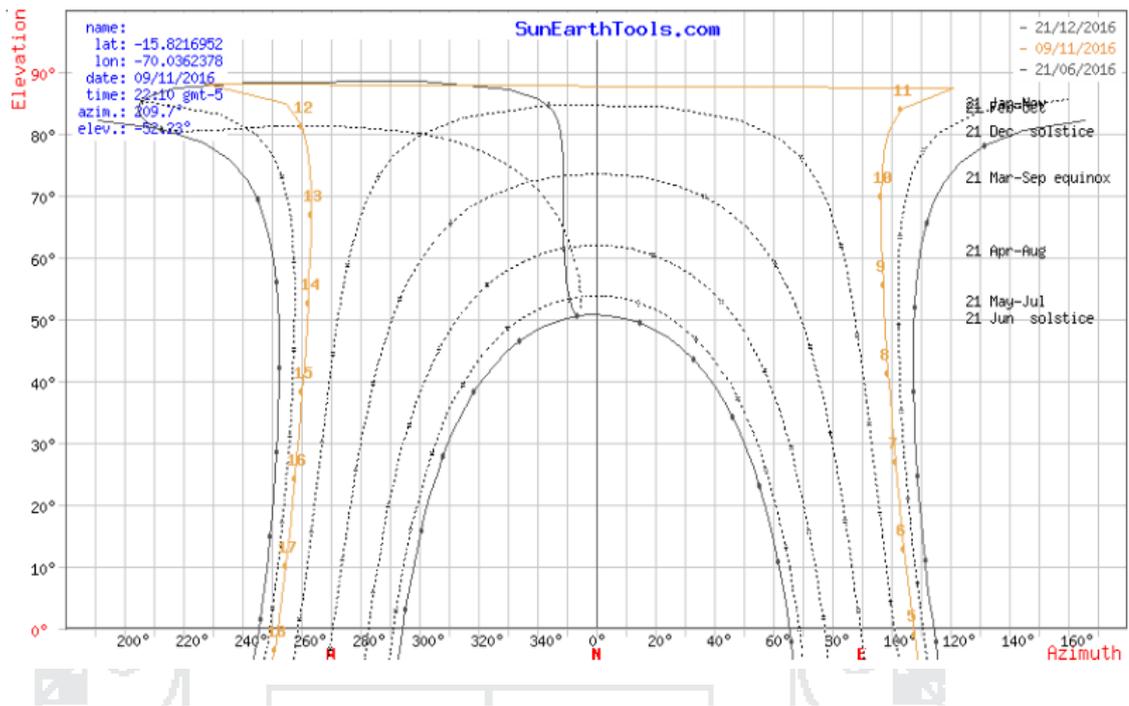
Cabezal electrotérmico con rosca macho para Uponor colector plástico. Válvula de regulación del sistema termostático que actúa sobre el retorno de cada circuito, controlando el caudal de recirculación en función de la señal de un termostato ambiente.

Código Uponor	Dimensión	Uds. Caja	Uds. Palet	Descripción	PVP/m. ud
<b>1038504</b>	24 V	1	-	Uponor Vario Plus cabezal electrotérmico	46,00 €
<b>1038505</b>	220 V	1	-	Uponor Vario Plus cabezal electrotérmico	49,00 €



Anexo 8.





<b>Fecha:</b>	<b>09/11/2016   GMT-5</b>	
<b>coordinar:</b>	<b>-15.8216952, -70.0362378</b>	
<b>ubicación:</b>	<b>Alto Puno 243, Puno, Perú</b>	
<b>hora</b>	<b>Elevación</b>	<b>Azimut</b>
05:00:27	-0.833°	107.98°
6:00:00	12.93°	104.34°
7:00:00	27°	101.41°
8:00:00	41.2°	99.06°
9:00:00	55.49°	97.28°
10:00:00	69.82°	96.59°
11:00:00	84.09°	103.41°
12:00:00	81.29°	260.18°
13:00:00	66.98°	263.34°
14:00:00	52.66°	262.32°
15:00:00	38.39°	260.41°
16:00:00	24.21°	257.94°
17:00:00	10.19°	254.87°
17:47:50	-0.833°	251.86°

sol <sup>o</sup> posición	Elevación	Azimut	latitudes	longitudes
09/11/2016 22:10   GMT-5	-52.23°	209.7°	15.8216952° S	70.0362378° W
crepúsculo	Sunrise	Puesta de sol	Azimut Sunrise	Azimut Puesta de sol
crepúsculo -0.833°	05:00:27	17:47:50	107.98°	251.86°
crepúsculo civil -6°	04:37:45	18:10:31	109.63°	250.21°
Náutica <sup>o</sup> crepúsculo -12°	04:11:05	18:37:14	111.8°	248.02°
El crepúsculo astronómico -18°	03:43:59	19:04:23	114.33°	245.47°
la luz del día	hh:mm:ss	diff. dd+1	diff. dd-1	Mediodía
09/11/2016	12:47:23	00:00:43	-00:00:43	11:24:08

