

## ÍNDICE

ÍNDICE	2
AGRADECIMIENTOS	4
0. GLOSARIO Y UNIDADES	5
1. INTRODUCCIÓN	11
2. OBJETO DEL PROYECTO	12
3. ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO	13
3.1 MÉTODOS EXISTENTES DE PROTECCIÓN CONTRA HELADAS EN LOS CAPTADORES SOLARES	
PLANOS	13
3.1.1 Recirculación del agua en el circuito primario	13
3.1.2 Mezcla anticongelantes	14
3.1.3 Resistencia Eléctrica en captadores	15
3.1.4 Drenaje automático de la instalación	18
3.1.5 Sistema integrado de colección de energía y almacenamiento	19
3.1.6 Métodos experimentales de protección anti heladas	22
3.1.7 Comparación de los sistemas	28
3.2 MÉTODOS DE PROTECCIÓN CONTRA LOS DEPÓSITOS DE CAL EN LOS COLECTORES	
SOLARES	30
3.2.1 Uso de sistema indirecto	30
3.2.2 Descalcificador magnético	31
3.2.3 Descalcificador iónico	32
3.2.4 Descalcificadores eléctricos	33
3.2.5 Adicción de polifosfatos	36
3.2.6 Sistemas de osmosis inversa	36
3.2.7 Comparación de los métodos descritos	37
4. ESTUDIO TEÓRICO	38
4.1 INTRODUCCIÓN	38
4.2 MATERIALES A UTILIZAR	38
4.2.1 Características deseadas	38
4.2.2 Descripción de los posibles materiales a usar	40

---

4.2.3 Comportamiento de los materiales elegidos	44
4.3 ESTUDIO TEÓRICO DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA	55
4.3.1 Estudio geométrico del problema	55
4.3.2 Modelado	69
4.3.3 Resultados del modelo para situación de helada	78
4.3.4 Resultado del modelo para rango de temperatura bajas. Producción de la congelación del agua (heladas).	79
4.4 RESULTADOS DEL MODELO PARA TEMPERATURAS ALTAS	93
4.4.1 Razones para este estudio	94
4.4.2 Tubo macizo	94
4.4.3 Tubo hueco de silicona	100
4.5 CONCLUSIONES DEL USO DEL MODELO	104
4.6 PÉRDIDA DE CARGA ASOCIADA A LA PROPUESTA	105
4.6.1 Cálculo pérdida de carga	105
4.6.2 Pérdidas de carga en el sistema propuesto	107
4.6.3 Notas finales	116
4.6.4 Consecuencias del cálculo de la nueva pérdida de carga	121
5. ENSAYOS REALIZADOS	123
5.1 OBJETIVO DE LOS ENSAYOS	123
5.2 MATERIALES Y EQUIPAMIENTO	123
5.3 DESCRIPCIÓN DE LOS ENSAYOS	126
5.3.1 Montaje experimental.	126
5.3.2 Ensayos realizados	131
5.4 RESULTADOS OBTENIDOS	134
5.4.1 Resultados en el bloque I	134
5.4.2 Resultados de los ensayos del bloque II	146
5.5 CONCLUSIONES DE LOS ENSAYOS	153
6. CONCLUSIONES	155
7. DESARROLLOS FUTUROS	157
8. BIBLIOGRAFÍA	158
ANEXO I	162