



ÍNDICE DE CONTENIDOS

1 INTRODUCCIÓN	3
1.1 PRÓLOGO	3
1.2 OBJETIVOS	5
1.3 ESTRUCTURA	6
CUBIERTAS AJARDINADAS. CONTEXTO	7
2 ARQUITECTURA, CIUDAD Y SOSTENIBILIDAD	9
2.1 LA SOSTENIBILIDAD Y LA SOCIEDAD ACTUAL	9
2.2 LA ARQUITECTURA SOSTENIBLE	14
2.2.1 Conceptos sobre sostenibilidad en la arquitectura	14
2.2.2 ¿Qué es la arquitectura sostenible?	15
2.2.3 Antecedentes: la arquitectura vernácula	18
2.2.4 El diseño sostenible	19
2.3 LA CIUDAD NATURALIZADA	29
2.3.1 La Infraestructura Verde	33
2.4 LA CUBIERTA AJARDINADA	38
2.4.1 Tipos de cubiertas ajardinadas	40
2.4.2 Historia y evolución de la cubierta plana ajardinada	47
2.5 LA CUBIERTA AJARDINADA Y LA SOSTENIBILIDAD	60
2.5.1 Situación actual de las cubiertas planas ajardinadas en el panorama mundial	60
2.5.2 Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)	66
2.5.3 Evaluación de edificios sostenibles	70
2.5.4 Las cubiertas planas ajardinadas en España: marco normativo actual	74
3 CARACTERÍSTICAS DE LAS CUBIERTAS AJARDINADAS	79
3.1 CARACTERÍSTICAS AMBIENTALES	79
3.1.1 Beneficios ambientales y microclimáticos	80
3.1.2 Beneficios térmicos y energéticos	95
3.1.3 Particularidades de comportamiento en el clima mediterráneo	111
3.2 CARACTERÍSTICAS SOCIALES	115
3.3 CARACTERÍSTICAS ECONÓMICAS	117
4 DISEÑO Y EJECUCIÓN DE LAS CUBIERTAS AJARDINADAS	120
4.1 DISEÑO Y PARTICULARIDADES CONSTRUCTIVAS	120
4.1.1 Soporte resistente	121
4.1.2 Formación de pendientes	122
4.1.3 Barrera de vapor	123
4.1.4 Aislamiento térmico	125
4.1.5 Lámina impermeable	132
4.1.6 Lámina antiraíces	133
4.1.7 Capa drenante	134
4.1.8 Lámina filtrante	143
4.1.9 Substrato	144



4.1.10 Capa separadora	152
4.1.11 Vegetación	161
4.1.12 Sistema de riego	168
4.1.13 Sistema de evacuación de agua	169
4.2 CONSIDERACIONES DE EJECUCIÓN	170
4.2.1 Soporte resistente y pendiente	170
4.2.2 Lámina impermeable	172
4.2.3 Capa drenante	174
4.2.4 Substrato	174
4.2.5 Vegetación: sistema de plantación	175
4.2.6 Particularidades de substrato y vegetación en el clima mediterráneo	177
4.2.7 Sistemas de riego y de evacuación de agua	182
4.2.8 Puntos singulares en cubiertas planas ajardinadas	183
4.2.9 Zonas transitables y pavimentadas	191
4.2.10 Zonas no transitables y sin vegetación	194
4.3 MANTENIMIENTO	197
4.4 OTROS EJEMPLOS DE ARQUITECTURA SOSTENIBLE	199
4.4.1 Earthship	199
4.4.2 Materiales PCM	201
4.4.3 Fachadas vegetales	202
4.5 OTROS EJEMPLOS DE CUBIERTAS SOSTENIBLES	206
4.5.1 Cubierta ajardinada con paneles fotovoltaicos	206
4.5.2 Cubierta aljibe	208
4.5.6 <i>Polder roof</i> (cubierta aljibe ajardinada)	210
5 COMPARATIVA DE CUBIERTAS AJARDINADAS	213
5.1 TABLA COMPARATIVA DE CUBIERTAS AJARDINADAS	213
5.2 CATÁLOGO DE CUBIERTAS AJARDINADAS	218
5.2.1 Cubierta ajardinada extensiva	218
5.2.2 Cubierta ajardinada semiintensiva	220
5.2.3 Cubierta ajardinada intensiva	222
5.2.4 Cubierta ajardinada intensiva: huerto	225
5.2.5 Cubierta ajardinada con paneles fotovoltaicos	227
5.2.6 Cubierta aljibe	229
5.2.7 <i>Polder roof</i>	230
CUBIERTAS AJARDINADAS. ESTUDIO TÉRMICO Y ENERGÉTICO	231
6 MONITORIZACIÓN CON SENSORES EN MODELOS A ESCALA	233
6.1 ESTUDIO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA, EL PESO PROPIO Y EL COSTE	233
6.1.1 Elección de modelos	234
6.2 ELECCIÓN DE MATERIALES	239
6.2.1 Lámina impermeable	239
6.2.2 Aislamiento térmico	241
6.2.3 Substrato	244
6.2.4 Vegetación	245
6.2.5 Otras capas	253
6.2.6 Sistema de riego	254
6.3 MONTAJE DE LOS MODELOS	256



6.4 DATA-LOGGERS	261
6.4.1 Elección del sistema	261
6.4.2 Ubicación e instalación	263
6.5 CONTROL DE LA VEGETACIÓN	266
6.5.1 Control fotográfico	266
6.5.2 Consideraciones sobre el estado de la vegetación	268
6.6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	270
6.6.1 Datos meteorológicos	270
6.6.2 Datos de temperatura y humedad relativa por maquetas	272
6.6.3 Consideraciones finales	310
7 SIMULACIONES ENERGÉTICAS CON ENERGYPLUS Y OPENSTUDIO	311
7.1 SISTEMAS DE MODELIZACIÓN	311
7.1.1 EnergyPlus	312
7.1.2 Validación del programa	314
7.2 EDIFICIO DE REFERENCIA Y PROPUESTAS DE REHABILITACIÓN	317
7.2.1 Modelo de referencia	319
7.2.2 Propuestas de rehabilitación	320
7.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	323
7.3.1 Influencia de la cubierta	323
7.3.2 Comportamiento energético de las propuestas de rehabilitación	331
7.3.3 Comportamiento energético de las cubiertas autosuficientes	376
7.3.4 Propuestas de riego para la mejora del comportamiento energético de las cubiertas ajardinadas	384
CUBIERTAS AJARDINADAS. ESTUDIO CONSTRUCTIVO	391
8 DETALLES CONSTRUCTIVOS	393
8.1 DETALLES CONSTRUCTIVOS DE CUBIERTA PLANA	395
8.1.1 Detalle A. Cubierta no transitable: encuentro con paramento y desagüe lineal	395
8.1.2 Detalle B. Cubierta transitable: acceso a cubierta en zona pavimentada	397
8.1.3 Detalle C. Cubierta transitable: encuentro con paramento, desagüe puntual y transición entre zona ajardinada y pavimentada	399
8.2 DETALLES CONSTRUCTIVOS DE CUBIERTA INCLINADA	402
8.2.1 Detalle D. Cumbre	402
8.2.2 Detalle E. Alero	402
9 CONCLUSIONES	407
9.1 APORTACIONES	407
9.2 RECOMENDACIONES DE DISEÑO	411
9.3 FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN	412
REFERENCIAS	415
R.1 FIGURAS	415
R.2 TABLAS	433
R.3 BIBLIOGRAFÍA	444
ANEXO I. ESTUDIO DE LA TRANSMITANCIA TÉRMICA, EL PESO PROPIO Y EL COSTE	469
I.1 DETALLES CONSTRUCTIVOS DE LOS MODELOS	469
I.2 TRANSMITANCIA TÉRMICA	485



I.3 PESO PROPIO	494
I.4 COSTE DE CONSTRUCCIÓN	503
ANEXO II. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE DATOS METEOROLÓGICOS	511
II.1 TEMPERATURA	511
II.2 HUMEDAD RELATIVA	511
II.3 PRECIPITACIONES	511
ANEXO III. PARÁMETROS DE MODELIZACIÓN EN ENERGYPLUS Y OPENSTUDIO	516
III.1 MODELO DE REFERENCIA	516
III.2 PROPUESTA DE REHABILITACIÓN	541
ANEXO IV. GRÁFICAS ORIGINALES DE ENERGYPLUS Y OPENSTUDIO	548
IV.1 GRÁFICAS DEL APARTADO 7.3.2	548
ANEXO V. GLOSARIO DE TÉRMINOS TRADUCIDOS	549