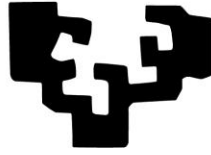


eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

Ingeniaritza Mekanikoa Saila
Bilboko Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoa

DOKTOREGO TESIA

**EUSKAL AUTONOMIA ERKIDEGOAN KOKATUTA ETA EKT-A INDARREAN
SARTU BAINO LEHEN ERAIKITAKO BIZITEGI-ERAIKINETAKO FATXADEN
BIRGAITZE JASANGARRIRAKO METODOLOGIA**

Egilea:

Ziortza Egiluz Ellakuria

Tesiaren zuzendariak:

Jesús Cuadrado Rojo dok.

Eduardo Rojí Chandro dok.

Bilbon, 2017ko maiatza

LABURPENA

Azken urteotan Europa, estatu eta Autonomia Erkidegoa mailan eraikinen efizientzia energetikoaren inguruko arauak ezarri dira, eraikinen energia-kontsumoa kontrolatzeko, aurrezte energetikoa eta efizientzia energetikoa hobetzeko eta jatorri berriztagarria duten energia iturrien erabilera bultzatzeko. Arau horiek garatu dira batez ere, energia inportazioekiko mendekotasun hazkorragatik, energia baliabideen eskasiagatik, negutegi efektuko gasak murrizteko beharrazatik eta krisi ekonomikoa gainditzeko beharrazatik. Halaber, Kyotoko 20-20-20 protokoloan eta beste konpromiso batzuetan energiaren eta emisioen kontsumoa murrizteko ezartzen den helburuarekin betetzeko, eraikuntzako sektorea sektore estrategikoa bihurtu da. Izan ere, sektore hau garraio eta industria sektorearekin alderatuta, aurrezte handiagoa lor daitekeen sektorea da. 2007 urtean Europako Erkidegoak energiaren urteko kontsumo 2020 urtean %20a murrizteko helburua ezarri zuen.

Europako Zuzendaritzak eta estatu mailako arauak eraikin berrietan eta existitzen diren eraikinetan ere aplikatu behar dira. Baina arauetan ezartzen diren energiaren eta emisioen aurreztearen exigentziak erakinak birgaituz lortu beharko dira izan ere, eraikinen eraispentasa baxua da eta eraikin berrien hazkuntza ere baxua da.

Halaber, Euskal Autonomia Erkidegoan eraikinen birgaitzea behar beharrezkoa da, bizitegi-eraikin zaharren eta energetikoki pobreak diren bizitegi-eraikinen kopurua oso altua baita. Baina fatxada energetikoki birgaitzeko konponbiderik jasangarriena aukeratzea ez da lan erraza zeren, gaur egun merkatuan eraikuntzako konponbide eta material isolatzaile mota desberdin ugaria existitzen baitira.

Hau dela eta Doktorego Tesi honetan, Euskal Autonomia Erkidegoan dauden eta Eraikuntzaren Kode Teknikoa (EKT) indarrean sartu baino lehen eraikitako bizitegi-eraikinetako fatxaden birgaitze jasangarrirako metodologia bat ezarri da. Metodologia honek lehentasunezkoak bezala birgaitze prozesuan ezartzen diren irizpideak kontuan hartuta, fatxaden birgaitze energetikoko konponbide desberdinen lehenespena egitea baimentzen du. Irizpide horiek eraikuntzako konponbideen aspektu ekonomiko eta funtzionalez gain, birgaitzearen ingurumen aspektu eta birgaitzeak ikuspuntu sozialetik, maizterretan eta eraikinaren ingurunean sortzen duen inpaktuan ere oinarritzen dira, hots, irizpideak eraikuntzako konponbideen eta eraikinaren bizitza-ziklo osoan zehar erabilitako materialen jasangarritasunean oinarrituta daude.

Proposatutako metodologia ikerketa kasu batean egindako metodologiaren aplikazio praktiko batekin balioztatu da. Aplikazioa praktikoan lortutako emaitzekin metodologiaren sentsibilitate analisi bat egin da. Sentsibilitate analisi horren bitartez, proposatu den metodologiaren baliostasuna, egonkortasuna eta sendotasuna egiaztatu da.

ESKER ONAK

Lehenik eta behin, nire tesi zuzendariei, Jesus Cuadrado eta Eduardo Roji, nire eskerrik zintzoena adieraztea gustatuko litzaidake, Doktorego Tesi hau burutzeko eskaini didaten denboragatik, pazientziagatik eta laguntzagatik.

Era berean, bai Bilboko eta Eibarko IITU Eskolako bai Bilboko Ingeniaritza Goi Eskola Teknikoko mekanikako saileko kideek eskaini didaten laguntza eta euskarria eskertzea gustatuko litzaidake.

Bigarrenik, **Eusko Jaurlaritzaren IT 781-13 ikerketa-taldeak** Doktorego Tesi hau garatu den denboran zehar eskainitako kolaborazioa eskertu nahiko nuke. Era berean, "MIVES" ikerketa-taldean parte hartu duten kideei eskainitako kolaborazioa eskertzea gustatuko litzaidake, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), Tecnalia, Universidade da Coruña (UdC) eta Euskal Herriko Unibertsitateko (UPV/EHU) ikerlariak sortutako ikerketa-proiektua izanik hau.

Hirugarrenik, adituen lan taldea osatu duten partaideei eskainitako laguntza eta gomendioak eskertzea gustatuko litzaidake.

Gainera, Sestao Berrikoek Doktorego Tesi honen kasu praktikoa burutzeko eraikinen adibideen bilaketan eskaini didaten laguntza eskertu nahi diet.

Azkenik, Doktorego Tesi hau iraun duen denboran zehar nire ondoan egon diren pertsonei nire eskerrik zintzoena adieraztea gustatuko litzaidake, eskaini didaten laguntza eta euskarriagatik.

AURKIBIDEA

1. Kapituluua: SARRERA.....	1
1.1. Aurrekariak	2
1.2. Helburuak.....	4
1.3. Doktorego Tesiaren garrantzia eta erabilgarritasuna.....	6
1.4. Doktorego tesiaren egitura.....	6
2. Kapituluua: ESTADO DEL ARTE	11
2.1. Evolución histórica de las fachadas	12
2.2. Evolución de las normativas en relación a la eficiencia energética.....	17
2.3. Sistemas de certificación de los edificios.....	24
2.3.1. Sistemas de certificación energética de los edificios	25
2.3.2. Sistemas de evaluación de la sostenibilidad de los edificios	27
2.4. Rehabilitación energética de los edificios	36
2.4.1. Sostenibilidad	41
2.5. Herramientas de evaluación multicriterio	42
2.5.1. Selección de la metodología a utilizar	44
2.5.1.1. MIVES	44
2.5.1.2. Ventajas y limitaciones de la herramienta MIVES	45
2.5.1.3. Ejemplos de aplicación de la herramienta MIVES.....	46
2.6. Antecedentes relacionados con la temática de la Tesis Doctoral planteada	47
3. Kapituluua: EKT-A INDARREAN SARTU BAINO LEHEN ERAIKITAKO ETA EAE KOKATUTA DAUDEN ERAIKINEN IKERKETA.....	53
3.1. Sarrera.....	54
3.2. Gaur egungo etxebizitza parkea	54
3.3. Eraikuntza tipologia	68
3.3.1. Bi aldeetan estaldutako orri bakarreko fatxada existenteak. 1,5 oindun adreilu huts bikoitza.....	69
3.3.2. Bi aldeetan estaldutako orri bakarreko fatxada existenteak. 1,5 oindun adreilu zulatua.	70
3.3.3. Bi aldeetan estaldutako orri bakarreko fatxada existenteak. Hormigoi-blokea.....	71
3.3.4. Kanpoko estaldura bistakoa, aire-ganbera estankoa eta barneko estaldura duten bi orritako fatxada existenteak.....	72
3.3.5. Bi aldeetan estaldura eta aire-ganbera estankoa duten bi orritako fatxada existenteak.	73

3.3.6.	Bi aldeetan estaldura eta aire-ganbera estankoa duen bi orritako fatxada existentek.	74
3.3.7.	Bistako estaldura eta aireztatutako aire-ganbera duen bi orritako fatxada existentek.	75
3.4.	Zona klimatikoa.	76
4.	Kapitulua: FATXADEN BIRGAITZE ENERGETIKORAKO METODOAK	83
4.1.	Sarrera.	84
4.2.	Kanpotik egindako isolamendu termikoen sistemak.	84
4.2.1.	Kanpoko isolamendu termikoen sistemak (SATE).	86
4.2.2.	Fatxada aireztatua.	88
4.3.	Barnetik egindako isolamendu termikoen sistemak	90
4.4.	Aire-ganberaren barnetik egindako isolamendu termikoen sistemak	92
4.5.	Isolatzaile termikoak	95
4.5.1.	Zuntz minerala (MW)	99
4.5.2.	Poliestireno hedatua (EPS)	101
4.5.3.	Poliestireno estrumentua (XPS)	103
4.5.4.	Poliuretano proiektatuta (PUR)	104
4.5.5.	Kortxoak (ICB)	105
4.5.6.	Egurrezko zuntza (WF)	107
4.5.7.	Beste material batzuk.	108
4.6.	Eraikuntzako konponbide nobedosoak	111
4.6.1.	Landare-fatxadak.	111
4.6.2.	Aldamiorik gabe eta metalezko lamina bidezko fatxada aireztatua	112
4.6.3.	Hutseko isolamendu panela (VIP, Vacuum Insulation Panel)	113
4.6.4.	Fase-aldaketa duten materialak (PCM, Phase Change Materials)	114
4.6.5.	Monozelula-aparrak	115
5.	Kapitulua: METODOLOGIAREN EZARPENA	117
5.1.	Sarrera.	118
5.2.	Erabiliko den metodologiaren deskribapena	118
5.2.1.	MIVES metodologia	118
5.2.2.	MIVES metodologiaren faseak	119
5.3.	Erabaki-hartze zuhaitzaren definizioa	127
5.4.	Errekerimenduen eta haien irizpideen definizioa	129
5.4.1.	Errekerimendu ekonomikoa	129
5.4.2.	Ingurumen errekerimendua	130

5.4.3.	Errekerimendu funtzionala	131
5.4.4.	Errekerimendu soziala.....	131
5.5.	Adierazleen definizioa.....	132
5.5.1.	Errekerimendu ekonomikoaren adierazleak.....	132
5.5.1.1.	Materialaren kostua	132
5.5.1.2.	Instalazioaren kostua	133
5.5.1.3.	Mantenuko urteroko kostua	134
5.5.1.4.	Errentagarritasuna	138
5.5.2.	Ingurumen errekerimenduaren adierazleak	142
5.5.2.1.	Birziklagarritasuna.....	142
5.5.2.2.	Sortutako hondakinak	147
5.5.2.3.	Ingurumen-inpaktua.....	148
5.5.2.4.	CO ₂ -aren aurreztea.....	153
5.5.3.	Errekerimendu funtzionalaren adierazleak.....	154
5.5.3.1.	Egikaritzearen konplexutasuna	154
5.5.3.2.	Suaren aurkako erreakzioa.....	156
5.5.3.3.	Jatorrizko fatxadako euskarriaren egokitzea	163
5.5.3.4.	Kondentsazioen aurkako isolatzailearen portaera.....	164
5.5.4.	Errekerimendu sozialeko adierazleak	166
5.5.4.1.	Etxebizitza uzteko beharra	166
5.5.4.2.	Instalazioaren ondoren espazio galera	168
5.5.4.3.	Aldamioen beharra.....	170
5.5.4.4.	Jabeen arteko adostasunaren beharra	171
5.5.4.5.	Barruko konfort termikoa	173
5.5.4.6.	Barruko airearen kalitatea	179
5.5.4.7.	Barruko konfort akustikoa.....	183
5.5.4.8.	Ondare arkitektonikoa	184
5.5.4.9.	Ingurunera egokitzeko gradua	186
5.5.4.10.	Jatorrizko fatxadaren hobekuntza estetikoa.....	188
5.6.	Alternatiben balorazioa	189
5.6.1.	Erabaki-zuhaitzaren haztapena	189
6.	Kapituluua: METODOLOGIAREN APLIKAZIO PRAKTIKOA	193
6.1.	Sarrera.....	194
6.2.	Eraikinaren deskribapena	194
6.2.1.	Zona klimatikoa	197
6.2.2.	Termografia	198

6.2.3.	Azterketa teknikoa	199
6.2.4.	Ziurtagiri energetikoa	200
6.2.5.	Estetika auzo mailan.....	200
6.2.6.	Eskala soziala	201
6.3.	Alternatiben definizioa	202
6.4.	Kasu praktikoan lortutako emaitzak.....	206
6.4.1.	1etik 10erako alternatiben emaitzak	211
6.4.2.	11, 12 eta 13 alternatiben emaitzak	221
6.4.3.	14 eta 15 alternatiben emaitzak.....	224
6.5.	Emaitzen sentsibilitate analisia.....	227
6.5.1.	Irizpide mailan egindako sentsibilitate analisia.....	227
6.5.2.	Errekerimendu mailan egindako sentsibilitate analisia	235
7.	Kapitulua: ONDORIOAK ETA ETORKIZUNERAKO IKERKETA LERROAK.....	241
7.1.	Ondorioak	242
7.1.1.	Arrazoiari buruzko ondorioak	242
7.1.2.	Metodologiari buruzko ondorioak	244
7.1.3.	Metodologiaren aplikazioari buruzko ondorioak.....	245
7.1.4.	Aplikazio praktikoaren emaitzei buruzko ondorioak	245
7.2.	Etorkizunerako ikerketa lerroak	246
8.	Kapitulua: BIBLIOGRAFIA.....	249
	Bibliografia	250
	ERANSKINAK.....	259
	Eranskinak	260

TAULEN AURKIBIDEA

2. Kapituluua

Tabla 2. 1: Propiedades térmicas y físicas de la piedra. (UNE-EN ISO 10456)	13
Tabla 2. 2: Propiedades térmicas y físicas del ladrillo. (UNE-EN ISO 10456)	14
Tabla 2. 3: Propiedades térmicas y físicas del hormigón. (UNE-EN ISO 10456).....	14
Tabla 2. 4: Propiedades térmicas y físicas del vidrio. (UNE-EN ISO 10456)	14
Tabla 2. 5: Propiedades térmicas y físicas del plástico. (UNE-EN ISO 10456).....	15
Tabla 2. 6: Consumo energético de las viviendas de Euskadi según su antigüedad.....	16
Tabla 2. 7: Calificación energética de los edificios existentes en Euskadi, según emisiones y consumo de energía en 2016.....	27
Tabla 2. 8: Principales sistemas de evaluación sostenible de edificios a nivel mundial (26).....	29
Tabla 2. 9: Principales sistemas de evaluación sostenible de edificios a nivel europeo (26)	30
Tabla 2. 10: Diferencias entre los sistemas LEED y BREEAM según aspectos sociales (26)	31
Tabla 2. 11: Diferencias entre los sistemas LEED y BREEAM según aspectos económicos (26)	32
Tabla 2. 12: Diferencias entre los sistemas LEED y BREEAM según aspectos medioambientales (26)	33
Tabla 2. 13: Ahorro de energía final, primaria y emisiones evitadas en el sector residencial a 2010 en base 2004 y 2007. (IDAE)	38
Tabla 2. 14: Estimación de los ahorros según las medidas propuestas en PAEE 2011-2020. (IDAE).....	39
Tabla 2. 15: Métodos para el análisis multicriterio.....	42
Tabla 2. 16: Resumen de las herramientas y metodologías para seleccionar o evaluar las intervenciones de rehabilitación en edificios	50

3. Kapituluua

3.1. Taula: NBE-CT-79 eta EKT-OD-HE1-ren arteko desberdintasunak baldintza termikoak kontuan hartuta	56
3.2. Taula: EKT-OD-HE 2006 eta EKT-OD-HE 2013-ren arteko desberdintasunak baldintza termikoak kontuan hartuta	57
3.3. Taula: EKT-OD-HE 2006 eta EKT-OD-HE 2013-ren arteko desberdintasunak zona klimatikoak kontuan hartuta	58
3.4. Taula: Lodiera optimoak EKT 2006 eta EKT 2013-ko exigentzia termikoak betetzeko	58
3.5. Taula: Fatxada-hormen transmitantzia minimoa EAE-ko probintzia hiriburuetan 2013 urteko OD-HE1-aren arabera	78
3.6. Taula: Fatxada-hormen transmitantzia balio orientagarriak EAE-ko probintzia hiriburuetan 2013 urteko OD-HE1-aren arabera	78

4. Kapituluua

4.1. Taula: Hormetarako eta sabaietarako Euroklasea UNE-EN13501-1 araua eta isolatzaile moten arabera.....	98
4.2. Taula: Hormetarako eta sabaietarako Euroklaseko osagarriak UNE-EN13501-1 auraren arabera	98
4.3. Taula: Isolatzaileen UNE arauak eta sailkapena beraien jatorria kontua izanda	98
4.4. Taula: Harri-zuntzaren eta beira-zuntzaren ezaugarri nagusienak (108).....	100
4.5. Taula: Zuntz mineralaren aplikazioak eta formatuak.....	100
4.6. Taula: EPS-aren ezaugarri nagusienak (108)	102

4.7. Taula: EPS-aren aplikazioak eta formatuak.....	102
4.8. Taula: XPS-aren ezaugarri nagusienak (108).....	104
4.9. Taula: EPS-aren aplikazioak eta formatuak.....	104
4.10. Taula: Poliuretanoaren apar zurrunaren ezaugarri nagusienak (108)	105
4.11. Taula: PUR-aren aplikazioak eta formatuak.....	105
4.12. Taula: Kortxoaren (ICB) ezaugarriak (108)	106
4.13. Taula: Kortxoaren aplikazioak eta formatuak	107
4.14. Taula: Egurrezko zuntzaren (WF) ezaugarriak (108)	108
4.15. Taula: Egurrezko zuntzaren aplikazioak eta formatuak	108
4.16. Taula: Beste material isolatzaile batzuk.....	111

5. Kapitulu

5.1. Taula: Pare erkaketa bidez erabakitze-matrizearen kalkulatzeko	124
5.2. Taula: Trinkotasun indizea aleatorioa (R.I.)	125
5.3. Taula: Erabaki-hartze zuhaitza	128
5.4. Taula: Bandalismoa sufritzeko posibilitatea	136
5.5. Taula: Bandalismoaren aurkako mantenu estetikoa	137
5.6. Taula: Isolatzaile birziklagarria	143
5.7. Taula: Birziklatutako edukia duen isolatzailea	144
5.8. Taula: Isolatzailea ez den material birziklagarria	145
5.9. Taula: Birziklatutako edukia duen isolatzailea ez den material	146
5.10. Taula: Egikaritzearen konplexutasuna	155
5.11. Taula: Isolatzaileak bete beharreko exijentziak, erabilitako birgaitze sistema eta OD-SS arauaren arabera.....	157
5.12. Taula: Material isolatzaileen Euroklasea.....	158
5.13. Taula: Suaren aurkako erreakzioa erabilitako materialaren arabera	159
5.14. Taula: Suaren aurkako erreakzioa estaldurarako erabilitako materialaren arabera	160
5.15. Taula: Suaren aurkako erreakzioa isolatzailea aire-ganberaren barruan dagoenean	161
5.16. Taula: Suaren aurkako erreakzioa SATE eta barnetik egindako isolamendu sistemetan.....	161
5.17. Taula: Suaren aurkako erreakzioa fatxada aireztatuaren kasuan	162
5.18. Taula: Suaren aurkako erreakzioa	162
5.19. Taula: Jatorrizko fatxadako euskarriaren egokitzea.....	164
5.20. Taula: Etxebizitza uzteko beharra	168
5.21. Taula: Espazio galera etxebizitzaren barruan	169
5.22. Taula: Aldamioen beharra	171
5.23. Taula: Jabeen arteko adostasunaren beharra.....	172
5.24. Taula: Fatxadaren transmitantzia termikoa EKT-aren eta Euskadin existitzen diren zona klimatikoen arabera.....	175
5.25. Taula: Euskadin kokatutako eraikinen transmitantzia termikoa isolatzailearen lodieraren arabera	175
5.26. Taula: Transmitantzia termikoa eta berogailuan lortutako aurrezte energetikoa isolatzailearen posizioaren arabera	176
5.27. Taula: Aurrezte energetikoa isolatzailearen posizioaren arabera	178
5.28. Taula: Iturri kutsagarria isolatzailearen posizioaren arabera.....	182
5.29. Taula: Jatorrizko inguratzailearen kontserbazioa	185
5.30. Taula: Ingurunera egokitzeko gradua	187
5.31. Taula: Jatorrizko fatxadaren hobekuntza estetikoa.....	189
5.32. Taula: Erabaki-zuhaitzaren haztapena	191

6. Kapituluia

6.1. Taula: Birgaituko den fatxadaren transmitantzia termikoaren balioak, EKT-aren arabera	197
6.2. Taula: Isolatzailearen lodiera, eraikinaren zona klimatikorako EKT-an ezartzen diren transmitantzia termiko balioen arabera. (Cener)	204
6.3. Taula: Aukeratutako alternatibak	206
6.4. Taula: Funtzio lineala duten adierazleak eta hauek kalkulatzeko behar diren datuak.....	207
6.5. Taula: Funtzio parabolikoa duten adierazleak eta hauek kalkulatzeko behar diren datuak.....	208
6.6. Taula: Funtzio tabulatua duten adierazleak eta hauek kalkulatzeko behar diren datuak.....	209
6.7. Taula: Eskaloi funtzioa duten adierazleak eta hauek kalkulatzeko behar diren datuak	210
6.8. Taula: 1etik 10erako alternatibaren adierazleen emaitzak.....	211
6.9. Taula: 1etik 10erako alternatibaren errekerimenduen eta jasangarritasun indizearen emaitzak	212
6.10. Taula: 1etik 4rako alternatibetan lortutako errekerimenduen emaitzen irudikapen grafikoa.....	213
6.11. Taula: 1, 5 eta 8 alternatibetan lortutako errekerimenduen balioak grafikoki adierazita.....	216
6.12. Taula: 2, 6 eta 9 alternatibetan lortutako errekerimenduen balioak grafikoki adierazita.....	218
6.13. Taula: 3, 7 eta 10 alternatibetan lortutako errekerimenduen balioak grafikoki adierazita.....	220
6.14. Taula: 11, 12 eta 13 alternatibetan lortutako adierazleen emaitzak.....	222
6.15. Taula: 11, 12 eta 13 alternatibetan lortutako errekerimenduen eta jasangarritasun indizearen emaitzak	222
6.16. Taula: 11, 12 eta 13 alternatibetan lortutako errekerimenduen balioak grafikoki adierazita.....	223
6.17. Taula: 14 eta 15 alternatibetan lortutako adierazleen emaitzak.....	225
6.18. Taula: 14 eta 15 alternatibetan lortutako errekerimenduen eta jasangarritasun indizearen emaitzak	225
6.19: 14 eta 15 alternatibetan lortutako errekerimenduen balioak grafikoki adierazita	226
6.20. Taula: Irizpideen pisuetan aldaketa positiboak sortu dituen 12 eszenatokien definizioa	229
6.21. Taula: Irizpideen pisuetan aldaketa negatiboak sortu dituen 12 eszenatokien definizioa	230
6.22. Taula: Jasangarritasun indizearen balioen aldaketak irizpideen pisuetan aldaketa positiboak egin ondoren	231
6.23. Taula: Jasangarritasun indizearen balioen aldaketak irizpideen pisuetan aldaketa negatiboak egin ondoren	232
6.24. Taula: Errekerimenduen pisuak aldatzean sortzen diren 8 eszenatoki berriak.....	236
6.25. Taula: Jasangarritasun indizearen balioen aldaketak errekerimenduen pisuetan aldaketak egin ondoren	237

GRAFIKOEN AURKIBIDEA

2. Kapituluua

Gráfico 2. 1: Tendencia del consumo de energía total (ktep) según sector en España. (MINETUR/ IDAE).....	18
Gráfico 2. 2: Tendencia del consumo de energía total, energía eléctrica y energías renovables (ktep) del sector residencial en España. (MINETUR/ IDAE).....	18
Gráfico 2. 3: Consumo energético anual del hogar en España. (MINETUR/ IDAE/ INE, 2014) ...	19
Gráfico 2. 4: Tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero en España según sector. (MINETUR).....	19
Gráfico 2. 5: Distribución de certificaciones energéticas de los edificios existentes en Euskadi, según emisiones y consumo de energía en 2016.	27
Gráfico 2. 6: Edificios según año de construcción en España. (INE)	36
Gráfico 2. 7: Licencias municipales para edificios según tipo de obra. (Ministerio de fomento de España)	37

3. Kapituluua

3.1. Grafikoa: EAE dauden etxebizitzaren banaketa, eraikin ziren urtea kontuan hartuta.....	59
3.2. Grafikoa: Etxebizitzetarako erabiltzen diren eraikien banaketa EAE probintzien arabera	60
3.3. Grafikoa: Bilbon etxebizitzetarako erabiltzen diren eraikien banaketa eraikin ziren urtearen arabera	61
3.4. Grafikoa: Obra handien lizentzia EAE-an urte bakoitzeko	62
3.5. Grafikoa: Bilbon etxebizitzetarako zuzendutako eraikinen banaketa hauen egoera kontuan hartuta	63
3.6. Grafikoa: Bilbon eta EAE-an etxebizitzetarako zuzendutako eraikinen banaketa hauen konfort-indizea kontuan hartuta.....	64
3.7. Grafikoa: Euskadiko etxebizitzetan dauden hozte-sistemak	64
3.8. Grafikoa: Euskadin erabiltzen den berogailu-sistema mota erregaiaren arabera	65
3.9. Grafikoa: Euskadin erabiltzen den berogailu mota.....	65
3.10. Grafikoa: Bilboko eta EAE-ko etxebizitzaren edukitze-erregimena.....	66
3.11. Grafikoa: Bilbon etxebizitzetara zuzendutako eraikinen banaketa sestraren gaineko solairu kopuruaren arabera	67
3.12. Grafikoa: Etxebizitzaren azalera erabilgarria m ² tan lurralde eremuaren arabera	67
3.13. Grafikoa: Euskal AEn salgai dauden etxebizitzaren m ² erabilgarriaren batez besteko prezioa, 2016 urteko hirugarren hiruhilekoan eta lurralde historikoari jarraiki (eurotan).....	68
3.14. Grafikoa: Temperatura (°C) eta hezetasun erlatiboaren (%) banaketa Bilbon.....	81
3.15. Grafikoa: Batezbesteko prezipitazioaren banaketa Bilbon	81

4. Kapituluua

4.1. Grafikoa: Eraikuntzako zenbait materialen eroankortasun termikoa.....	95
4.2. Grafikoa: Zenbait isolatzaileen eroankortasun termikoa.....	96
4.3. Grafikoa: λ -ren balioak dentsitatearen funtziopean (isolatzaile apar organikoak)	96
4.4. Grafikoa: Zenbait isolatzaile termikoen lurrun hedapenarekiko erresistentzia	97

5. Kapituluia

5.1. Grafikoa: Materialaren kostua	133
5.2. Grafikoa: Instalazioaren kostuak.....	134
5.3. Grafikoa: Mantenuko urteroko kostua	135
5.4. Grafikoa: Bandalismoa sufritzeko posibilitatea	136
5.5. Grafikoa: Bandalismoaren aurkako mantenu estetikoak	137
5.6. Grafikoa: Inbertsioaren kostua	139
5.7. Grafikoa: Iortutako aurrezte energetikoa	140
5.8. Grafikoa: Payback.....	141
5.9. Grafikoa: Isolatzaile birziklagarria	143
5.10. Grafikoa: Birziklatutako edukia duen isolatzailea	144
5.11. Grafikoa: Isolatzailea ez den material birziklagarria	145
5.12. Grafikoa: Birziklatutako edukia duen isolatzailea ez den materiala	146
5.13. Grafikoa: sortutako hondakinak.....	148
5.14. Grafikoa: Gehitutako energia	151
5.15. Grafikoa: Material isolatzailearen CO ₂ emisioak.....	152
5.16. Grafikoa: CO ₂ -aren aurrezte	154
5.17. Grafikoa: Egikaritzearen konplexutasuna	156
5.18. Grafikoa: Suaren aurkako erreakzioa erabilitako isolatzailearen arabera	159
5.19. Grafikoa: Suaren aurkako erreakzioa estaldurarako erabilitako materialaren arabera ..	160
5.20. Grafikoa: Jatorrizko fatxadako euskarriaren egokitzea.....	164
5.21. Grafikoa: Kondentsazioen aurkako isolatzailearen portaera.....	166
5.22. Grafikoa: Etxebizitza uzteko beharra	168
5.23. Grafikoa: Instalazioaren ondoren espazio galera.....	170
5.24. Grafikoa: Aldamioen beharra	171
5.25. Grafikoa: Jabeen arteko adostasunaren beharra.....	173
5.26. Grafikoa: Transmittantzia termikoaren balio-funtzioa.....	177
5.27. Grafikoa: Aurrezte energetikoa isolatzailearen posizioaren arabera	178
5.28. Grafikoa: Barruko aire kalitatea	181
5.29. Grafikoa: Iturri kutsakorren eragina isolatzailearen posizioaren arabera	182
5.30. Grafikoa: Barruko konfort akustikoa.....	184
5.31. Grafikoa: Ondare arkitektonikoa.....	186
5.32. Grafikoa: Ingurunera egokitzeko gradua.....	188
5.33. Grafikoa: Jatorrizko fatxadaren hobekuntza estetikoak	189

6. Kapituluia

6.1. Grafikoa: Adin multzoa (%). Eustat 2015	201
6.2. Grafikoa: Funtzio lineala duten adierazleen kalkuluaren adibide bat	207
6.3. Grafikoa: Funtzio parabolikoa duten adierazleen kalkuluaren adibide bat	208
6.4. Grafikoa: Funtzio tabulatua duten adierazleen kalkuluaren adibide bat	209
6.5. Grafikoa: Eskaloi funtzioa duten adierazleen kalkuluaren adibide bat.....	210
6.6. Grafikoa: 1. Alternatibaren jasangarritasun indizearen balio berriak, irizpideen pisuak aldatu ondoren.....	233
6.7. Grafikoa: 2. Alternatibaren jasangarritasun indizearen balio berriak, irizpideen pisuak aldatu ondoren.....	233
6.8. Grafikoa: 3. Alternatibaren jasangarritasun indizearen balio berriak, irizpideen pisuak aldatu ondoren.....	234
6.9. Grafikoa: 4. Alternatibaren jasangarritasun indizearen balio berriak, irizpideen pisuak aldatu ondoren.....	234

6.10. Grafikoa: 1. Alternatibaren jasangarritasun indizearen balio berriak, errekerimenduen pisuak aldatu ondoren	238
6.11. Grafikoa: 2. Alternatibaren jasangarritasun indizearen balio berriak, errekerimenduen pisuak aldatu ondoren	238
6.12. Grafikoa: 3. Alternatibaren jasangarritasun indizearen balio berriak, errekerimenduen pisuak aldatu ondoren	239
6.13. Grafikoa: 4. Alternatibaren jasangarritasun indizearen balio berriak, errekerimenduen pisuak aldatu ondoren	239

IRUDIEN AURKIBIDEA

2. Kapituluua

Figura 2. 1: Diferentes tipos de fachadas.....	12
Figura 2. 2: Fachada de piedra	13
Figura 2. 3: Fachada de adobe	13
Figura 2. 4: Envoltente térmica de un edificio. (CTE)	15
Figura 2. 5: Esquema de pérdidas térmicas a través de la envoltente. (EVE)	17
Figura 2. 6: Certificación energética de los edificios. (Fenercom)	25
Figura 2. 7: Calificación de la eficiencia energética de un bloque de viviendas existente y ubicado en zona climática C1, según el consumo de energía primaria y emisiones	25
Figura 2. 8: Etiqueta energética	26
Figura 2. 9: Sistemas de evaluación de la sostenibilidad a nivel mundial. (IHOBE)	28
Figura 2. 10: Sistemas de evaluación de la sostenibilidad a nivel Europeo. (IHOBE).....	29
Figura 2. 11: Sistema de certificación VERDE. (GBC España)	34
Figura 2. 12: "Hoja de impactos" .(28).....	34
Figura 2. 13: Clasificación según las Guías de edificación sostenible en el País Vasco (26)	35
Figura 2. 14: Distribución porcentual de las viviendas según tipo. Año 2013. (Ministerio de fomento de España)	37
Figura 2. 15: Estimación de la creación de empleo durante el periodo 2010-2040 debido a la rehabilitación (32)	39
Figura 2. 16: Generación de empleo mediante las actuaciones de Plan Renove de la Rehabilitación de la vivienda 2013-2016 (33)	40
Figura 2. 17: Los tres pilares básicos de la sostenibilidad	41

3. Kapituluua

3.1. Irudia: Euskadiko mapa	54
3.2. Irudia: Europako etxebizitzaren antzinatea. (95, 96)	60
3.3. Irudia: Bi aldeetan estaldutako orri bakarreko fatxadaren eraikuntza-sekzioa (1,5 oindun adreilu huts bikoitza). Eusko Jaurlaritzako birgaitze energetikoko katalogoa.....	70
3.4. Irudia: Otxarkoaga auzoan kokatuta eta eraikuntza tipologia horri dagokion eraikina	70
3.5. Irudia: Bi aldeetan estaldutako orri bakarreko fatxadaren eraikuntza-sekzioa (1,5 oindun adreilu zulatua). Eusko Jaurlaritzako birgaitze energetikoko katalogoa	71
3.6. Irudia: Solokoetxe auzoan kokatuta eta eraikuntza tipologia horri dagokion eraikina	71
3.7. Irudia: Bi aldeetan estaldutako orri bakarreko fatxadaren eraikuntza-sekzioa (Hormigoi-blokea). Eusko Jaurlaritzako birgaitze energetikoko katalogoa	72
3.8. Irudia: Rekalde (Bilbo) auzoan kokatuta eta eraikuntza tipologia horri dagokion eraikina.....	72
3.9. Irudia: Kanpoko estaldura bistakoa, aire-ganbera estankoa eta barneko estaldura duten bi orritako fatxadaren eraikuntza-sekzioa. Eusko Jaurlaritzako birgaitze energetikoko katalogoa.....	73
3.10. Irudia: J. Gayarren kokatuta eta eraikuntza tipologia horri dagokion eraikina	73
3.11. Irudia: Bi aldeetan estaldura eta aire-ganbera estankoa duten bi orritako fatxadaren eraikuntza-sekzioa. Eusko Jaurlaritzako birgaitze energetikoko katalogoa.....	74
3.12. Irudia: Otxarkoaga auzoan kokatuta eta eraikuntza tipologia horri dagokion eraikina	74
3.13. Irudia: Bi aldeetan estaldura eta aire-ganbera estankoa duen bi orritako fatxadaren eraikuntza-sekzioa. Eusko Jaurlaritzako birgaitze energetikoko katalogoa.....	75
3.14. Irudia: Belostikale kalean kokatuta eta eraikuntza tipologia horri dagokion eraikina	75

3.15. Irudia: Bistako estaldura eta aireztatutako aire-ganbera duen bi orritako fatxadaren eraikuntza-sekzioa. Eusko Jaurlaritzako birgaitze energetikoko katalogoa.....	76
3.16. Irudia: Bilbon kokatuta eta eraikuntza tipologia horri dagokion eraikina	76
3.17. Irudia: Penintsula Iberiarreko zona klimatikoak	77
3.18. Irudia: Zona klimatikoaren banaketa.....	77
3.19. Irudia: Urteko eguzki erradiazio globalaren eguneko batezbeste balioak.....	78
3.20: Zona klimatikoaren banaketa mapa.....	79
3.21. Irudia: Batezbesteko irradiazio globala kWh/m ² egun. . (1983-2005).....	79
3.22. Irudia: Eguneko batezbesteko irradiazio globala. (1983-2005)	80
3.23. Irudia: Urteko batezbesteko eguzki erradiazio globala Bilbon. (1983-2005).....	80

3. Kapituluua

4.1. Irudia: SATE. (Rockwool)	84
4.2. Irudia: Fatxada aireztatu. (Rockwool)	84
4.3. Irudia: SATE sistemaren eskema bat. (ANFAPA)	86
4.4. Irudia: Isolatzailea euskarrira finkatuta. (Weber)	87
4.5. Irudia: Isolatzailea euskarrira itsatsita.(IDAE)	87
4.6. Irudia: SATE sistemetan erabilitako isolatzaile motak	87
4.7. Irudia: Mortero estalduraren bidez lortutako gamak eta testura mota desberdinak. (IDAE).....	87
4.8. Irudia: Bistako adreilua imitatzen duen plakazko estaldura. (IDAE)	88
4.9. Irudia: Fatxada aireztatu baten eskema. (IPUR).....	88
4.10. Irudia: Fatxada aireztatu baten osagaiak. (IPUR).....	89
4.11. Irudia: Fatxada aireztatu baten sekzio horizontalaren eskema. (AIPEX).	89
4.12. Irudia: Presio altuko plaka ijestu trinkoen bidez sortutako estaldura (HPL). (Trespa).	90
4.13. Irudia: Estruitutako plaka zeramikoaren bidez sortutako estaldura. (Tempio).	90
4.14. Irudia: Harri naturalaren bidez sortutako estaldura. (Levantina).	90
4.15. Irudia: Trasdosatu bidezko barne sistemak. (Pladur).....	90
4.16. Irudia: Trasdosatu zuzeneko sistemen instalazioa. (Isover).....	91
4.17. Irudia: Kableatuaren ezkutatzea trasdosatu autosostengarri sistemen bidez. (Pladur).....	91
4.18. Irudia: Etxebizitzako barnealdetik Poliuretanoaren injekzioa fatxadaren aire-ganberan. (IPUR)	93
4.19. Irudia: Fatxadaren aire-ganberan insufrazioa. (Ecogreenhome).....	93
4.20. Irudia: Aire-ganbera isolatzeko erabiltzen diren isolatzaile motak.....	94
4.21. Irudia: Zuntz mineraleko isolatzaileak. (Kovertec).....	99
4.22. Irudia: Harri-zuntza. (Rockwool)	99
4.23. Irudia: Beira-zuntza. (Isover)	99
4.24. Irudia: Harri-zuntzaren fabrikazio prozesua. (AFELMA).....	100
4.25. Irudia: Beira-zuntzaren fabrikazio prozesua. (AFELMA).....	100
4.26. Irudia: Poliuretano zabaldua (EPS)	101
4.27. Irudia: EPS-aren transformazioaren eskema. (ANAPE)	101
4.28. Irudia: EPS-aren birziklatze prozesuaren eskema. (AIMSA).....	102
4.29. Irudia: XPS xafla eta egitura zelularra. (Aipex).....	103
4.30. Irudia: XPS-aren fabrikazio prozesua. (URSA).	103
4.31. Irudia: Poliuretanoaren prozesua. (ATEPA).....	104
4.32. Irudia: Poliuretano proiektatuta. (ATEPA)	105
4.33. Irudia: Poliuretano injektatuta. (ATEPA)	105
4.34. Irudia: Poliuretano zurrunekeko panela. (IPUR)	105
4.35. Irudia: Artelatzen azala. (Aísla en verde)	106
4.36. Irudia: Kortxo panela eta kortxo aleak. (BCK)	106

4.37. Irudia: Egurrezko zuntz taulen fabrikazio lehorra. (Gutex)	107
4.38. Irudia: Egurrezko zuntz taula eta egurrezko zuntza insuflatzeko. (Gutex)	107
4.39. Irudia: Gasteizko Europa Biltzar Jauregiko landare-fatxada. (Gasteizko udala)	112
4.40. Irudia: Lorategi bertikaleko sistemaren eraikuntza-sekzioa. (Urbanarbolismo).....	112
4.41. Irudia: Eraikuntzako konponbidearen eskema eta adibide bat. (ASAKEN).....	113
4.42. Irudia: Hutseko isolamendu panela (VIP) (108)	113
4.43. Irudia: Ohiko eta VIP isolatzaileek duten lodieraren arteko konparaketa	114
4.44. Irudia: Igeltsu ijeltzuko panela PCM mikrokapsulatuarekin. (BASF)	115
4.45. Irudia: Existitzen diren PCM desberdinen fusio-tenperatura eta entalpia (115).....	115
4.46. Irudia: Poliestireno-apar (ezkerra) eta Poliestireno-apar nanozelularra (eskuma) (117)	116

5. Kapitulu

5.1. Irudia: MIVES metodologiaren algoritmoa	119
5.2. Irudia: Erabaki-hartzearen egitura orokorra	120
5.3. Irudia: Erabakitze-zuhaitz orokorra.....	121
5.4. Irudia: Balio-funtzioen forma desberdinak	122
5.5. Irudia: "A" erabakitze-matrizea	124
5.6. Irudia: Alternatiben balio-indizea	126
5.7. Irudia: Konponbidearen jasagarritasuna neurtzeko errekerimenduak.	129
5.8. Irudia: Eraikin baten bizitza-zikloan zehar energi kontsumoaren eta CO ₂ emisioen metatze-fluxua (120).....	149
5.9. Irudia: Eko-adierazleen kalkulurako prozedura orokorra	180

6. Kapitulu

6.1. Irudia: Bizkaiko mapa	194
6.2. Irudia: Aztertuko den eraikina.....	195
6.3. Irudia: Eguzkiaren solstizio eta ekinokzio ibilbideak perspektiban 12.00 am-tan	195
6.4. Irudia: Eguzkiaren solstizio eta ekinokzio ibilbideak oinplanoan 12.00 am-tan	196
6.5. Irudia: Eraikina kokatzen den Etxe-uhartea.....	196
6.6. Irudia: Zona klimatikoaren banaketa, EKT-aren arabera.....	197
6.7. Irudia: Eraikinaren fatxadaren termografia eta argazkia	198
6.8. Irudia: Beheko solairua eta erdisotoaren arteko topaketaren termografia eta argazkia ..	199
6.9. Irudia: Eraikinaren kalifikazio energetikoa.....	200
6.10. Irudia: Eraikinaren zona	201
6.11. Irudia: SATE sistemaren eskema. (Isover)	202
6.12. Irudia: plaka zeramikazko fatxada aireztatu sistema. (CYPE).....	203
6.13. Irudia: Trasdosatu zuzeneko barnetik egindako isolamendu sistema. (ISOVER)	203
6.14. Irudia: Aire-ganberaren insuflazioa Kanpotik eginda. (CYPE)	204
6.15. Irudia: Alternatibak definitzeko hartu diren isolatzaile motak. (Grupo Puma)	205
6.16. Irudia: Zeramikazko lauza txikiak. (IDAE)	205
6.17. Irudia: SATE sistemaren estalduran zeramikazko lauza txikien erabilera. (Condenor)....	205
6.18. Irudia: Erabakitze-zuhaitza errekerimenduekin eta irizpideekin. 5 eta 17 eszenatokien 1 kasuaren (%±30) balioak nola lortzen diren adibidea	228
6.19. Irudia: Erabakitze-zuhaitza errekerimenduekin. 1 eta 5 eszenatokien 1 kasuaren (%±30) balioak nola lortzen diren adibidea	235

1. Kapituluua: SARRERA

1.1. Aurrekariak

Eraikinetako fatxaden tipologiak eboluzionatuz joan dira, orri bakarreko fatxadetatik multiorriko fatxadetara pasatuz. Honela, termikoki eraginkorragoak diren sistema berriak lortu dira. Baina eboluzio hau ez da bakarrik eman arauk ezartzen dituzten betebeharrak betetzeko, baizik eta gaur egungo gizarteak exijitzen duen barneko konforta ere asetzeko. Errendimendu handiagoko materialen agerpenak ere zerikusi handia izan du, fatxadetan gertatutako eboluzioan. Gainera, fatxaden prestazioak hobetzen joan dira eraginkortasun energetikoaren inguruko Europako Zuzendaritzak betetzeko.

Europako Zuzendaritzak eta beraz, hauen transposizioak estatuko mailako eta Euskal Autonomia Erkidegoko arauetara, ere eboluzionatuz joan dira, eraikinek efizientzia energetikoaren inguruan bete behar dituzten exigentzia termikoak handitu direlako. Eboluzio hau eman da gehien bat, eraikinen kontsumo energetiko altuagatik. Eraikinek Europar Erkidegoko energia totalaren %40a kontsumitzen dute (1) eta CO₂ emisio totalen %36a isurtzen dute (2). Halaber, Europan dagoen energia inportazioekiko mendekotasun hazkorrak, energia baliabideen eskasiak, negutegi efektuko gasak murrizteko beharrak eta krisi ekonomikoa gainditzeko beharrak, Europar Zuzendaritzak eta arau nazionalak ezartzea beharrezkoa egiten dute. Honela, kontsumo energetikoa kontrolatuko da eta aurrezte energetikoa, eraginkortasun energetikoa eta jatorri berriztagarriak dituzten energiaren erabilera bultzatuko da. Baina eraikinetan lortu nahi den eta exijitzen den energiaren eta emisioen aurreztea erakinak birgaituz lortu beharko da izan ere, eraikinen eraispen tasa baxua da eta eraikin berrien hazkuntza ere baxua da (2).

Espanian, Eraikingintzako Oinarrizko Araua (NBE-CT-79) eraikinetan isolamendu termikoa kontuan hartu zuen lehenengo eraikuntza araua izan zen eta lehenengo krisi energetikoaren ondorioz garatu zen. Baina eraginkortasun energetikoaren inguruko 2002/91/CE Europako Zuzendaritzaren transposizioak arau hau indargabetu zuen eta 2006 urtean Eraikuntzaren Kode Teknikoaren (EKT) onespina ekarri zuen. Azken arau honek eraikinaren energia eskaria mugatzen du HE1 sekzioan bere energia aurrezteari buruzko Oinarrizko Dokumentuan (OD HE). Espainiako arautegira eraikinen eraginkortasun energetikoaren inguruko 2010/31/UE Europako Zuzendaritzaren transposizioa burutzeko EKT araua eguneratu zen 2013 urtean.

Bestetik, Aurrezte energetikoaren (EKT-OD-HE) inguruan indarrean dagoen arauaren HE1 sekzioan (HE1: energia-eskaera mugatzea), existitzen diren eraikinen eskaera energetikoaren muga ezartzen da. Arau honen arabera, birgaitu den eraikinaren energia-eskaera, eraikina kokatzen den zona klimatikoaren arabera arauak definitzen duen erreferentzia erakinaren energia-eskaria baino txikiagoa izan behar da. Sekzio horren D eranskinean, eraikinaren zona klimatikoaren arabera, erreferentzi bezala erabiliko den eraikineko itxituraren parametroen ezaugarriak definitzen dira, honela birgaitu den eraikinaren energia-eskariarekin konparatu daiteke. Halaber, sekzio berdineko E eranskinean itxituraren parametroen balio orientagarri batzuk ezartzen dira, hau da, eraikina kokatzen den zona klimatikoaren arabera erreferentzia erakinaren itxiturak izan beharko duen transmitantzia termikoko balio optimoa. Balio hauen erabilerak energia-eskaeraren mugatze exigentzia betetzea ez du bermatzen baino, eraikuntzako konponbideen hasierako diseinu fasean lagun dezakete. Balio hauekin kostu optimodun konponbidea lortu nahi da, kontuan hartuta kostu globala eta energia kontsumoa, hau da, konponbiderik ekonomikoa, kontuan hartuta eraikinaren bizitzan zehar sortzen den kostua. Energia-eskaeraren mugatzearen oinarrizko exigentziak ezartzeko eraikina kokatzen den herriaren zona klimatikoa definitzea beharrezkoa da. Arau horren sekzio berdinean Espainian dauden zona klimatiko desberdinak ezartzen dira, herrien neguko eta udako gogortasun klimatikoa kontuan hartuz. Neguko gogortasun klimatikoa letra baten bidez