



PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CHILE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE CONSTRUCCIÓN CIVIL

PROPUESTA DE REGLAMENTACIÓN HIGROTÉRMICA APLICADA A LA
EDIFICACIÓN CON DESTINO HABITACIONAL DEL ECUADOR

POR

ERNESTO ANDRÉS PILLAJO DE LA CRUZ

Tesis presentada a la Escuela de
Construcción Civil de la Pontificia
Universidad Católica de Chile
para optar al grado académico de Magíster en Construcción

Profesor guía: Leonardo Gabriel Meza Marín

Junio, 2014

Santiago, Chile

©2014, Ernesto Andrés Pillajo De la Cruz

©2014, Ernesto Andrés Pillajo De la Cruz

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica que acredita al trabajo y a su autor.

DEDICATORIA

A mi padre Ernesto, mi madre Carmen y mis hermanas Alejandra y Catalina,
quienes son la sabiduría, el amor, la constancia y fortaleza en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por sus bendiciones y por permitirme vivir esta experiencia.

A mi familia, por su eterno amor y total apoyo, sin ustedes nada sería posible.

Al profesor Leonardo G. Meza Marín, por la dirección y respaldo en el desarrollo del presente estudio.

A la Ing. Jacqueline De la Cruz e Ing. Diego Lara Sosa, por su cuantiosa colaboración y apoyo incondicional.

Y a todas las personas que estuvieron presentes a lo largo de este proyecto.

A todos ustedes muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

	Página
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	iv
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvi
RESUMEN	xix
CAPÍTULO 1 GENERALIDADES.....	1
1.1 Introducción	1
1.2 Objetivo general	2
1.3 Objetivos específicos.....	3
CAPÍTULO 2 REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE EN EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL DEL ECUADOR.....	4
2.1 Situación actual del Ecuador	4
2.1.1 Consumo energético.....	5
2.1.2 Costo de la energía.....	11
2.2 Sector de la construcción en el país	15
2.2.1 Análisis de antecedentes de la construcción con destino habitacional del Ecuador	15
2.2.2 Problemática del desarrollo de construcciones tradicionales	21
2.2.2.1 Materialidad y contaminación.....	21
2.2.2.2 Ineficiencia energética	23

2.2.2.3	Tradición versus modernización	24
2.2.2.4	Construcción informal	26
2.2.2.5	Medidas de control	30
2.2.3	Desarrollo de viviendas energéticamente eficientes en el país	32
2.3	Reglamentación NEC-11 Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador	36
2.3.1	Antecedentes y alcance	36
CAPÍTULO 3 DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE REGLAMENTACIÓN HIGROTÉRMICA.....		40
3.1	Alcance de la reglamentación higrotérmica	40
3.2	Metodología.....	40
3.3	Caracterización climática.....	42
3.3.1	Antecedentes climáticos del Ecuador.....	42
3.3.2	Determinación de las zonas higrotérmico – habitacionales del Ecuador	46
3.3.2.1	Manejo de base de datos.....	46
3.3.2.2	Definición de zonas térmicas	50
3.3.2.3	Corrección por factores.....	51
3.3.2.3.1	Análisis habitacional	52
3.3.2.3.2	Análisis por altura	55
3.3.2.3.3	Condición de humedad	58
3.3.2.3.4	Relación grados día.....	60
3.3.3	Presentación de resultados.....	62
3.4	Caracterización constructiva.....	64

3.4.1	Determinación de soluciones constructivas predominantes	64
3.4.2	Determinación de tipologías de edificaciones con destino habitacional.....	68
3.5	Estado del arte del comportamiento térmico de edificaciones	70
3.5.1	Mecanismos de transferencia de calor	71
3.5.1.1	Conducción y acumulación	71
3.5.1.2	Convección	73
3.5.1.3	Radiación.....	74
3.5.2	Comportamiento térmico de edificaciones	75
3.5.2.1	Transmisión de calor a través de la envolvente	75
3.5.2.1.1	Flujo de calor	76
3.5.2.1.2	Resistencia térmica	76
3.5.2.1.3	Transmitancia térmica	77
3.5.2.1.4	Resistencia térmica de elementos compuestos	78
3.5.2.1.5	Régimen dinámico y régimen permanente.....	79
3.5.2.2	Balance térmico y comportamiento de la envolvente	80
3.5.2.2.1	Balance térmico	80
3.5.2.2.2	Ganancias o pérdidas por conducción	81
3.5.2.2.3	Ganancias o pérdidas por ventilación	82
3.5.2.2.4	Ganancias solares	83
3.5.2.2.5	Ganancias internas.....	85
3.5.2.2.6	Pérdidas por evaporación	85
3.5.2.2.7	Carga de calefacción o refrigeración	86
3.5.2.2.8	Humedad y condensación	86

3.5.2.2.9	Comportamiento higrotérmico de la envolvente	88
3.5.2.2.10	Puentes térmicos	90
3.5.2.3	Aislamiento térmico	91
3.6	Evaluación de tipologías predominantes por zonas climáticas habitacionales del Ecuador	92
3.6.1	Determinación del comportamiento térmico de tipologías de vivienda	93
3.6.1.1	Software de análisis	93
3.6.1.2	Base de datos climáticos	97
3.6.1.3	Proceso de modelación y simulación térmica	98
3.6.1.3.1	Desarrollo del modelo geométrico	98
3.6.1.3.2	Definición de parámetros de diseño	103
3.6.1.3.3	Análisis de sensibilidad	108
3.6.1.4	Resultados parciales: situaciones base	112
3.6.1.4.1	Zona térmica 1	113
3.6.1.4.2	Zona térmica 2	128
3.6.1.4.3	Zona térmica 3	143
3.6.1.4.4	Zona térmica 4	158
3.6.2	Análisis del desempeño energético de la vivienda a partir de la implementación de aislación térmica	173
3.6.2.1	Zona térmica 1: Demanda energética anual de refrigeración	173
3.6.2.2	Zona térmica 2: Demanda energética anual de refrigeración	177
3.6.2.3	Zona térmica 3: Demanda energética anual de calefacción	181
3.6.2.4	Zona térmica 4: Demanda energética anual de calefacción	185

3.6.3	Evaluación económica	189
3.6.3.1	Determinación de costos de implementación	189
3.6.3.2	Análisis de rentabilidad	192
3.7	Definición de valores restrictivos de transmitancia térmica	203
CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES		209
4.1	Conclusiones generales	209
4.2	Conclusiones específicas	209
4.3	Recomendaciones	211
4.4	Presentación de la propuesta de reglamentación higrotérmico habitacional	212
GLOSARIO		216
BIBLIOGRAFÍA.....		219
ANEXOS		229

ÍNDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 2-1 Evolución del volumen de crédito al sector vivienda [%]	17
Tabla 2-2 Importación de materiales de construcción [Miles de toneladas métricas y tasa de variación, 2010 - 2012]	19
Tabla 2-3 Permisos de construcción [Miles de metros cuadrados de construcción] (medias móviles 12 y 18 meses)	19
Tabla 2-4 Los contaminantes de interiores más comunes y sus fuentes.....	22
Tabla 2-5 Catastro de daños y causas frecuentes en construcciones informales	27
Tabla 3-1 Ejemplo de cuadro resumen – Estación M001: Inguincho.....	48
Tabla 3-2 Criterio de clasificación térmica	50
Tabla 3-3 Escalas de sensaciones térmicas asociadas a temperatura efectiva	50
Tabla 3-4 Zonas térmicas calculadas.....	51
Tabla 3-5 Corrección de zonas térmicas por análisis habitacional	53
Tabla 3-6 Determinación de rangos de altura para zonas térmicas	55
Tabla 3-7 Criterio de análisis por altura	56
Tabla 3-8 Criterio de clasificación higríca	58
Tabla 3-9 Corrección de zonas higrícas por análisis habitacional	60
Tabla 3-10 Especificación de grados día por zona térmica	62
Tabla 3-11 Códigos de clasificación por tipos de estructura	65
Tabla 3-12 Códigos de clasificación por tipos de muro	65
Tabla 3-13 Códigos de clasificación por tipos de cubierta.....	65
Tabla 3-14 Rangos y códigos de clasificación por superficie	66
Tabla 3-15 Rangos y códigos de clasificación por número de pisos	66
Tabla 3-16 Elementos de mayor tendencia en soluciones constructivas.....	67

Tabla 3-17	Análisis de edificaciones nuevas de tipo residencial (1991 a 2011)	67
Tabla 3-18	Soluciones constructivas predominantes (1991 – 2011)	68
Tabla 3-19	Tipologías de edificaciones con destino habitacional	69
Tabla 3-20	Sistemas revisados de simulación energética (2012)	96
Tabla 3-21	Detalle de archivos climáticos de ciudades representativas	104
Tabla 3-22	Cuadro comparativo entre temperaturas medias anuales Meteonorm 5.1 - INAMHI	104
Tabla 3-23	Homologación y selección de materiales para elementos constructivos	106
Tabla 3-24	ZT1-C1 - Propiedades de envolvente	113
Tabla 3-25	ZT1-C1 - Desempeño de la vivienda	113
Tabla 3-26	ZT1-C1 – Comportamiento higrotérmico	114
Tabla 3-27	ZT1-C1 – Demanda anual de energía	115
Tabla 3-28	ZT1-C1 – Análisis de confort en la vivienda	116
Tabla 3-29	ZT1-C2 - Propiedades de envolvente	117
Tabla 3-30	ZT1-C2 - Desempeño de la vivienda	117
Tabla 3-31	ZT1-C2 - Comportamiento higrotérmico	118
Tabla 3-32	ZT1-C2 - Demanda anual de energía	119
Tabla 3-33	ZT1-C2 - Análisis de confort en la vivienda	120
Tabla 3-34	ZT1-C3 - Propiedades de envolvente	121
Tabla 3-35	ZT1-C3 - Desempeño de la vivienda	121
Tabla 3-36	ZT1-C3 - Comportamiento higrotérmico	122
Tabla 3-37	ZT1-C3 - Demanda anual de energía	123
Tabla 3-38	ZT1-C3 - Análisis de confort en la vivienda	124
Tabla 3-39	ZT1-C4.0 - Propiedades de envolvente	125
Tabla 3-40	ZT1-C4.0 - Comportamiento higrotérmico	125
Tabla 3-41	ZT1-C4.0 - Demanda anual de energía	126
Tabla 3-42	ZT2-C1 - Propiedades de envolvente	128

Tabla 3-43	ZT2-C1 - Desempeño de la vivienda.....	128
Tabla 3-44	ZT2-C1 - Comportamiento higrotérmico.....	129
Tabla 3-45	ZT2-C1 - Demanda anual de energía	130
Tabla 3-46	ZT2-C1 - Análisis de confort en la vivienda.....	131
Tabla 3-47	ZT2-C2 - Propiedades de envolvente	132
Tabla 3-48	ZT2-C2 - Desempeño de la vivienda.....	132
Tabla 3-49	ZT2-C2 - Comportamiento higrotérmico.....	133
Tabla 3-50	ZT2-C2 - Demanda anual de energía	134
Tabla 3-51	ZT2-C2 - Análisis de confort en la vivienda.....	135
Tabla 3-52	ZT2-C3 - Propiedades de envolvente	136
Tabla 3-53	ZT2-C3 - Desempeño de la vivienda.....	136
Tabla 3-54	ZT2-C3 - Comportamiento higrotérmico.....	137
Tabla 3-55	ZT2-C3 - Demanda anual de energía	138
Tabla 3-56	ZT2-C3 - Análisis de confort en la vivienda.....	139
Tabla 3-57	ZT2-C4.0 - Propiedades de envolvente.....	140
Tabla 3-58	ZT2-C4.0 - Desempeño de la vivienda.....	140
Tabla 3-59	ZT2-C4.0 - Demanda anual de energía.....	141
Tabla 3-60	ZT3-C1 - Propiedades de envolvente	143
Tabla 3-61	ZT3-C1 - Desempeño de la vivienda.....	143
Tabla 3-62	ZT3-C1 - Comportamiento higrotérmico.....	144
Tabla 3-63	ZT3-C1 - Demanda anual de energía	145
Tabla 3-64	ZT3-C1 - Análisis de confort en la vivienda.....	146
Tabla 3-65	ZT3-C2 - Propiedades de envolvente	147
Tabla 3-66	ZT3-C2 - Desempeño de la vivienda.....	147
Tabla 3-67	ZT3-C2 - Comportamiento higrotérmico.....	148
Tabla 3-68	ZT3-C2 - Demanda anual de energía	149
Tabla 3-69	ZT3-C2 - Análisis de confort en la vivienda.....	150
Tabla 3-70	ZT3-C3 - Propiedades de envolvente	151
Tabla 3-71	ZT3-C3 - Desempeño de la vivienda.....	151

Tabla 3-72	ZT3-C3 - Comportamiento higrotérmico	152
Tabla 3-73	ZT3-C3 - Demanda anual de energía	153
Tabla 3-74	ZT3-C3 - Análisis de confort en la vivienda.....	154
Tabla 3-75	ZT3-C4.0 - Propiedades de envolvente.....	155
Tabla 3-76	ZT3-C4.0 - Comportamiento higrotérmico	155
Tabla 3-77	ZT3-C4.0 - Demanda anual de energía.....	156
Tabla 3-78	ZT4-C1 - Propiedades de envolvente	158
Tabla 3-79	ZT4-C1 - Desempeño de la vivienda.....	158
Tabla 3-80	ZT4-C1 - Comportamiento higrotérmico	159
Tabla 3-81	ZT4-C1 - Demanda anual de energía	160
Tabla 3-82	ZT4-C1 - Análisis de confort en la vivienda.....	161
Tabla 3-83	ZT4-C2 - Propiedades de envolvente	162
Tabla 3-84	ZT4-C2 - Desempeño de la vivienda.....	162
Tabla 3-85	ZT4-C2 - Comportamiento higrotérmico	163
Tabla 3-86	ZT4-C2 - Demanda anual de energía	164
Tabla 3-87	ZT4-C2 - Análisis de confort en la vivienda.....	165
Tabla 3-88	ZT4-C3 - Propiedades de envolvente	166
Tabla 3-89	ZT4-C3 - Desempeño de la vivienda.....	166
Tabla 3-90	ZT4-C3 - Comportamiento higrotérmico	167
Tabla 3-91	ZT4-C3 - Demanda anual de energía	168
Tabla 3-92	ZT4-C3 - Análisis de confort en la vivienda.....	169
Tabla 3-93	ZT4-C4.0 - Propiedades de envolvente.....	170
Tabla 3-94	ZT4-C4.0 - Comportamiento higrotérmico	170
Tabla 3-95	ZT4-C4.0 - Demanda anual de energía.....	171
Tabla 3-96	ZT1 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m ²] – Aislación exterior.....	173
Tabla 3-97	ZT1 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m ²] – Aislación interior	176

Tabla 3-98	ZT2 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m ²] – Aislación exterior.....	177
Tabla 3-99	ZT2 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m ²] – Aislación interior	180
Tabla 3-100	ZT3 - Demanda anual de calefacción [KWh/m ²] – Aislación exterior	181
Tabla 3-101	ZT3 - Demanda anual de calefacción [KWh/m ²] – Aislación interior	184
Tabla 3-102	ZT4 - Demanda anual de calefacción [KWh/m ²] – Aislación exterior	185
Tabla 3-103	ZT4 - Demanda anual de calefacción [KWh/m ²] – Aislación interior	188
Tabla 3-104	Resumen de presupuestos de mejoramiento térmico a través de aislante EPS	190
Tabla 3-105	Costo de soluciones de aislación exterior [USD]	191
Tabla 3-106	Costo de soluciones de aislación interior [USD]	191
Tabla 3-107	ZT1 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior	193
Tabla 3-108	ZT1 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior	194
Tabla 3-109	ZT2 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior	196
Tabla 3-110	ZT2 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior	197
Tabla 3-111	ZT3 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior	199
Tabla 3-112	ZT3 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior	200
Tabla 3-113	ZT4 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior	201
Tabla 3-114	ZT4 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior	202

Tabla 3-115	ZT1 - Cuadro comparativo para selección de transmitancia máxima en muros y cubierta	204
Tabla 3-116	ZT2 - Cuadro comparativo para selección de transmitancia máxima en muros y cubierta	205
Tabla 3-117	ZT3 - Cuadro comparativo para selección de transmitancia máxima en muros y cubierta	206
Tabla 3-118	ZT4 - Cuadro comparativo para selección de transmitancia máxima en muros y cubierta	207
Tabla 3-119	Transmitancia térmica máxima para pisos en contacto con el terreno	208
Tabla 3-120	Exigencias de transmitancia térmica para cubiertas, muros y pisos	208

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 2-1 Evolución del consumo energético [kbep]	6
Figura 2-2 Estructura del consumo de energía – 2009 [kbep]	7
Figura 2-3 Distribución del consumo por sectores – 2009 [kbep]	8
Figura 2-4 Demanda eléctrica anual por sectores de consumo a nivel nacional [GWh]	9
Figura 2-5 Demanda eléctrica por sector de consumo – 2012 [GWh]	9
Figura 2-6 Producción anual de energía eléctrica a nivel nacional por tipo de fuente energética [GWh]	10
Figura 2-7 Precios medios a clientes finales de distribuidoras [USD c/KWh] ..	12
Figura 2-8 Precios promedio de electricidad de países de América Latina y el Caribe – Sector residencial - 2011 [USD c/KWh]	13
Figura 2-9 Déficit habitacional cualitativo a nivel nacional - 2006 [% viviendas]	16
Figura 2-10 Valor Agregado Bruto (VAB) del sector construcción – Tasa de variación, 2009-2012 [%]	18
Figura 3-1 Flujograma de zonificación higrotérmico habitacional	47
Figura 3-2 Variación térmica anual promedio: contraste entre Ecuador y Chile	49
Figura 3-3 Zonificación térmica del Ecuador mediante análisis habitacional ...	54
Figura 3-4 Zonificación térmico habitacional mediante análisis por altura	57
Figura 3-5 Zonificación higríca	59
Figura 3-6 Mecanismos de transferencia de calor en un edificio	95
Figura 3-7 Vista 3D - Tipología N° 1: Casa E-HA 50-100 2P M-B C-HA	99
Figura 3-8 Vista 3D – Zonificación térmica de la vivienda por color	99
Figura 3-9 Fachadas - Tipología N° 1: Casa E-HA 50-100 2P M-B C-HA	100

Figura 3-10	Vista en planta – Primer piso	101
Figura 3-11	Vista en planta – Segundo piso	102
Figura 3-12	ZT1 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m ²] – Aislación exterior.....	174
Figura 3-13	ZT1 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m ²] – Aislación exterior – Análisis por superficie	175
Figura 3-14	ZT1 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m ²] – Aislación exterior vs interior	176
Figura 3-15	ZT2 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m ²] – Aislación exterior.....	178
Figura 3-16	ZT2 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m ²] – Aislación exterior – Análisis por superficie	179
Figura 3-17	ZT2 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m ²] – Aislación exterior vs interior	180
Figura 3-18	ZT3 - Demanda anual de calefacción [KWh/m ²] – Aislación exterior	182
Figura 3-19	ZT3 - Demanda anual de calefacción [KWh/m ²] – Aislación exterior – Análisis por superficie	183
Figura 3-20	ZT3 - Demanda anual de calefacción [KWh/m ²] – Aislación exterior vs interior	184
Figura 3-21	ZT4 - Demanda anual de calefacción [KWh/m ²] – Aislación exterior	186
Figura 3-22	ZT4 - Demanda anual de calefacción [KWh/m ²] – Aislación exterior – Análisis por superficie	187
Figura 3-23	ZT4 - Demanda anual de calefacción [KWh/m ²] – Aislación exterior vs interior	188
Figura 3-24	ZT1 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior	194
Figura 3-25	ZT1 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior.	195
Figura 3-26	ZT2 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior	197

Figura 3-27	ZT2 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior.	198
Figura 3-28	ZT3 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior	199
Figura 3-29	ZT3 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior.	200
Figura 3-30	ZT4 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior	202
Figura 3-31	ZT4 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior.	203

RESUMEN

En el Ecuador, las estrategias energéticas actuales se alinean al objetivo mundial del desarrollo sostenible. El cambio a una matriz energética basada principalmente en fuentes renovables requiere el uso eficiente de energía en los diversos sectores del país. Bajo este propósito, en el sector residencial, se ha planteado la norma NEC-11 Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador.

El presente estudio tiene por objeto aportar a la actual normativa de eficiencia energética a través del desarrollo de la metodología necesaria para la definición de los valores restrictivos de transmitancia térmica de elementos principales de envolvente en edificaciones residenciales. Para esto se revisaron registros meteorológicos y analizó el sector habitacional con el objeto de determinar las características climáticas y constructivas que permitieron pronosticar el comportamiento térmico y desempeño energético de la vivienda predominante en el país. Posteriormente, mediante un análisis energético y económico se eligieron las mejores alternativas de mejoramiento térmico y sus transmitancias.

Los resultados obtenidos corresponden a una propuesta de reglamentación higrotérmica destinada a la edificación residencial del Ecuador, que incluye tanto las zonas de aplicación del reglamento como las especificaciones de transmitancia térmica a ser consideradas dentro del diseño de viviendas energéticamente eficientes.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 Introducción

El sector energético ecuatoriano ha sido inestable en las últimas décadas. El incremento del consumo energético, la alta dependencia de interconexiones internacionales para satisfacer la demanda eléctrica, la baja producción de energía renovable, la vulnerabilidad en los sistemas de generación, entre otras razones, acusaron la necesidad de implementar reformas al sector que procuren la seguridad energética en el país. Las nuevas políticas adoptadas buscan satisfacer esta necesidad considerando al desarrollo sostenible dentro de sus lineamientos.

Entre las principales acciones formuladas se encuentran: reformas institucionales, incremento de la capacidad de generación eléctrica, mejoramiento en los sistemas de distribución, cambio de matriz energética inclinada a la inversión en fuentes renovables y ejecución de estrategias de eficiencia energética en los sectores de mayor consumo. El sector residencial es el mayor consumidor eléctrico del país, por lo cual se intervino con medidas tendientes al ahorro energético, entre ellas, el desarrollo de la norma NEC-11 Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador.

Esta normativa establece las especificaciones de diseño, construcción, uso y mantenimiento de edificaciones energéticamente eficientes, lo cual corresponde a un primer intento de instaurar ampliamente la eficiencia energética en el sector construcción. Bajo este objetivo se vio la oportunidad realizar un aporte sustancial mejorando diversos parámetros establecidos en la norma a través de la reformulación de las zonas térmicas y la incorporación del factor hídrico, la

clasificación práctica de elementos de envolvente y la optimización de restricciones de transmitancia térmica en muros, cubierta y pisos en contacto con el terreno, procurando así mejorar el desempeño térmico de la edificación residencial. Si consideramos que parte del confort de los ocupantes de una vivienda varía en función del comportamiento térmico de esta, asegurar su adecuado desempeño conduce a reducir la cantidad de energía necesaria para acondicionarla térmicamente, por lo cual, mediante esta propuesta se espera no solo reducir la demanda energética en climatización sino también mantener o mejorar el bienestar de sus ocupantes.

El presente estudio se organiza en tres fases: primero una revisión del estado del arte en eficiencia energética en la edificación residencial del país para determinar el grado de pertinencia de la propuesta. Posteriormente, se desarrolla el reglamento, determinando características climáticas y constructivas que generen soluciones coherentes con la realidad ecuatoriana. Finalmente, luego de evaluar energética y económicamente las alternativas formuladas, se presentan las conclusiones y la propuesta de reglamentación higrotérmica.

Cabe señalar que el alcance de este estudio es limitado en comparación al de la norma NEC-11 Capítulo 13, sin embargo su influencia es trascendental ya que la definición adecuada de las restricciones térmicas de la envolvente constituye uno de los pilares fundamentales donde estriba el modelo integral de eficiencia energética en edificaciones.

1.2 Objetivo general

Desarrollar una propuesta de reglamentación higrotérmica para la edificación con destino habitacional del Ecuador como herramienta para el sector construcción y aporte al uso eficiente de la energía en el país.

1.3 Objetivos específicos

- Identificar las principales problemáticas que implica el desarrollo de construcciones energéticamente ineficientes.
- Realizar un análisis detallado sobre la influencia de la reglamentación en los sectores energético y de la construcción en el Ecuador.
- Definir los alcances de una reglamentación higrotérmica.
- Definir los valores restrictivos de transmitancia térmica de muros, cubierta y pisos de la tipología predominante ecuatoriana.

CAPÍTULO 2

REVISIÓN DEL ESTADO DEL ARTE EN EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN RESIDENCIAL DEL ECUADOR

En la actualidad, el mundo es consciente de la necesidad de preservar, conservar y proteger el planeta, de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las propias (ONU, 1987), lo que se denomina como desarrollo sostenible. Varios países alrededor del globo han tomado medidas al respecto, desarrollando programas sobre el uso responsable de recursos naturales, ingeniería pro ambientalista, ahorro energético y un gran número de estrategias que mitiguen los impactos de nuestra presencia en el medio. Una de las herramientas para lograr este objetivo es el uso eficiente de la energía.

2.1 Situación actual del Ecuador

En el Ecuador, el uso eficiente de energía es un tema que gana adeptos con el pasar del tiempo, no solo por alinearse al objetivo mundial del desarrollo sostenible sino por la necesidad de modernizar el sector energético del país.

A inicios del presente siglo, el sector se encontraba con diversas complicaciones¹ entre las que destacan: deudas impagas², sector fraccionado y sin inversiones, subsidios que no se cumplían, alta dependencia de interconexiones internacionales (12%), baja producción de energía renovable, producción de energía: hidráulica (46%), térmica (36%) (Albornoz, 2012).

¹ Para mayor profundidad remitirse a Coral, 2004: "Informe final – Revisión del sector eléctrico Ecuatoriano".

² Entre empresas del sector: estatales, privadas; de distribución, transmisión y generación.

Ante esa realidad se implementaron cambios y nuevas políticas que modifiquen el esquema: reformas institucionales y legales, cambio de matriz energética inclinada a la inversión en proyectos de energías renovables, ejecución de estrategias de eficiencia energética en los sectores de mayor consumo energético (transporte, residencial, industrial), entre otros. En el ámbito de estudio, sector residencial: la sustitución de cocinas de GLP por cocinas eléctricas, sustitución de refrigeradoras ineficientes, introducción de focos ahorradores, señal tarifaria, son algunas de las estrategias adoptadas (Albornoz, 2012). Si bien estas acciones apuntan a un mejoramiento energético del sector residencial, un impacto más significativo se conseguiría con la adopción de viviendas energéticamente eficientes, el cual es uno de los propósitos del presente estudio.

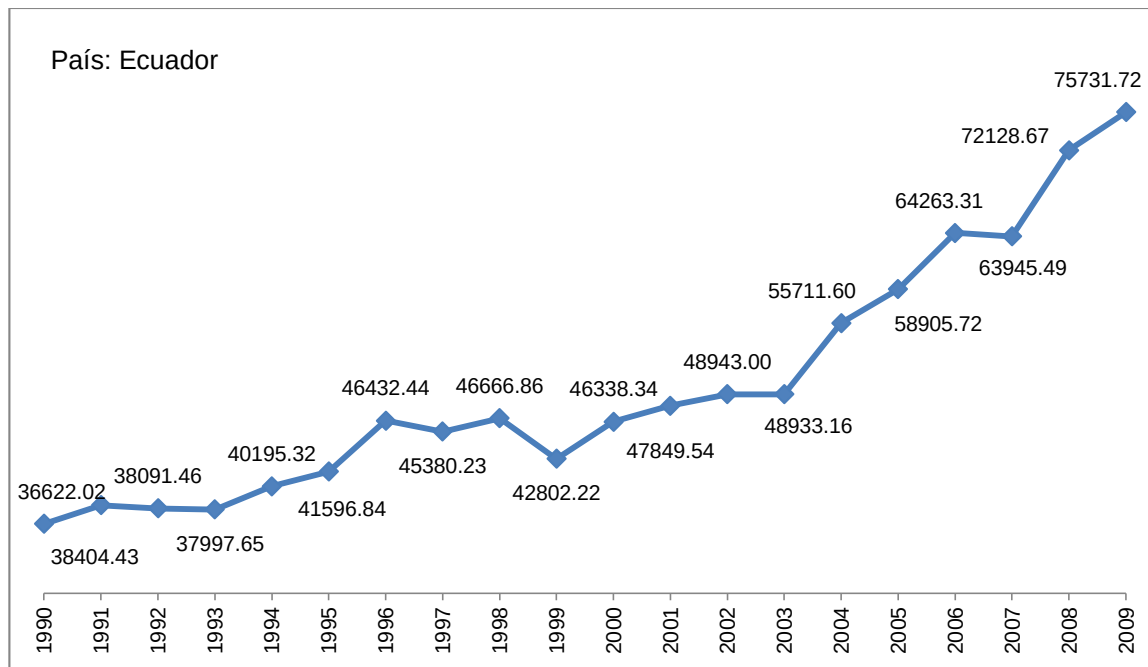
Para esto es necesario conocer dos variables: 1) el consumo energético, enfocado a analizar la demanda del sector residencial y su tendencia; y 2) el costo de la energía, con motivo de conocer el valor y situación actual y poder avizorar el impacto económico que traería la práctica de la reglamentación en estudio. Bajo estos parámetros se plantearán las bases para el análisis de pertinencia de la propuesta sobre el sector energético.

2.1.1 Consumo energético

En el último decenio, el consumo energético ha evolucionado ampliamente en el Ecuador (Figura 2-1); una de las razones predominantes la describe Castro (2011): “el desarrollo económico a nivel mundial y el incremento en el ingreso per cápita ha sido otra de las fuerzas motoras para originar un repentino aumento de la demanda de energía; en especial en la segunda mitad del siglo XX cuando el paradigma de consumo en masa se impuso. De esta manera, el consumo de energía está estrechamente relacionado a la adquisición de bienes

consumidores de energía (e.g. electrodomésticos, computadoras, teléfonos celulares, vehículos, entre otros). Por lo tanto, mientras mayor desarrollo económico e ingreso, mayor es el consumo de estos bienes por parte de las personas y mayor será su consumo energético (Lescaroux, 2011). A su vez, esta demanda es influenciada por las innovaciones tecnológicas, tanto para un uso creciente de energía como para eficiencia en su aprovechamiento.” (p.20).

Figura 2-1 Evolución del consumo energético [kbep]

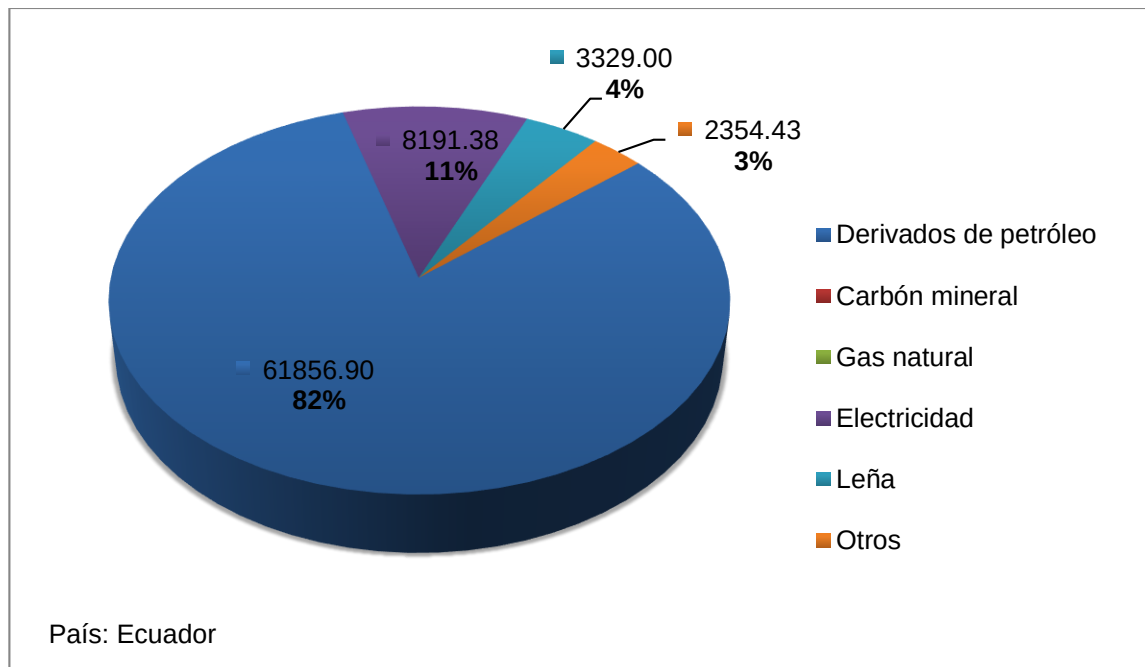


Fuente: OLADE, 2009.

Lo descrito, acompañado por el desarrollo productivo, el incremento poblacional y el crecimiento y modernización de las urbes, se ajusta a la realidad del Ecuador. El progreso de los diversos sectores del país implica un mayor consumo energético y la tendencia aumenta.

De acuerdo a datos de la Organización Latinoamericana de Energía - OLADE (2009), entre las principales fuentes de la matriz energética ecuatoriana tenemos: derivados del petróleo, carbón mineral, gas natural, electricidad y leña. La fuente de mayor consumo son los derivados del petróleo (82%), determinado en gran parte por la demanda del sector transporte. En segundo lugar se encuentra la electricidad con un 11%.

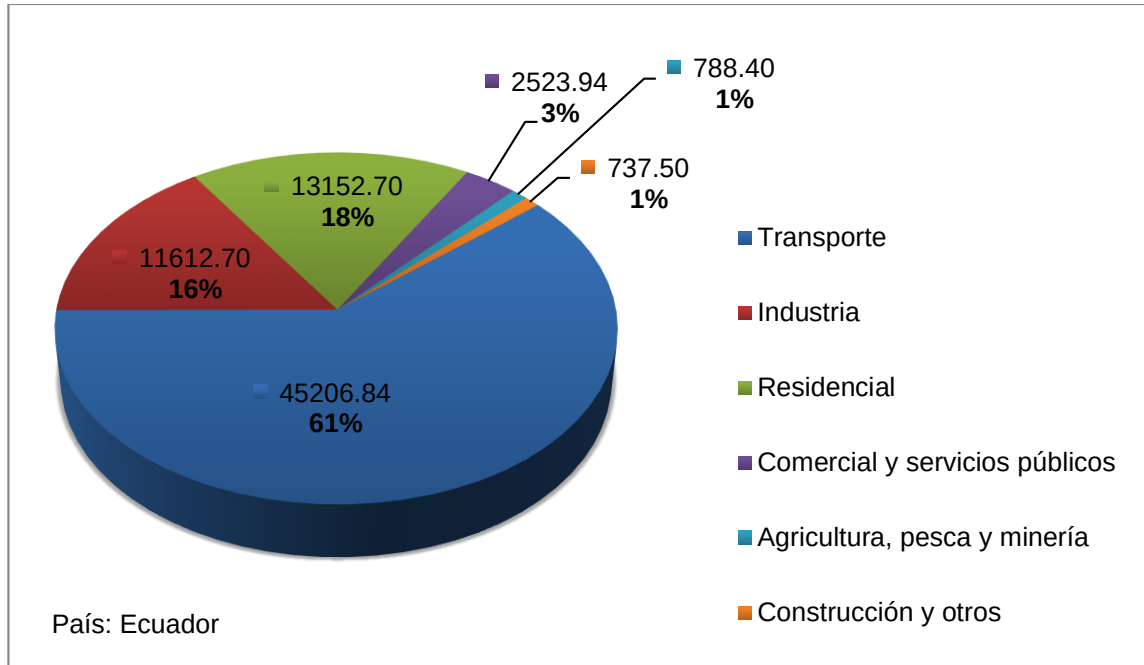
Figura 2-2 Estructura del consumo de energía – 2009 [kbep]



Fuente: OLADE, 2009.

En referencia al consumo por sector, el residencial es el segundo mayor consumidor de la matriz energética ecuatoriana (18%) (Figura 2-3); esto influenciado por el crecimiento del país, tanto a nivel económico como poblacional y su incidencia en el desarrollo urbano.

Figura 2-3 Distribución del consumo por sectores – 2009 [kbep] ³



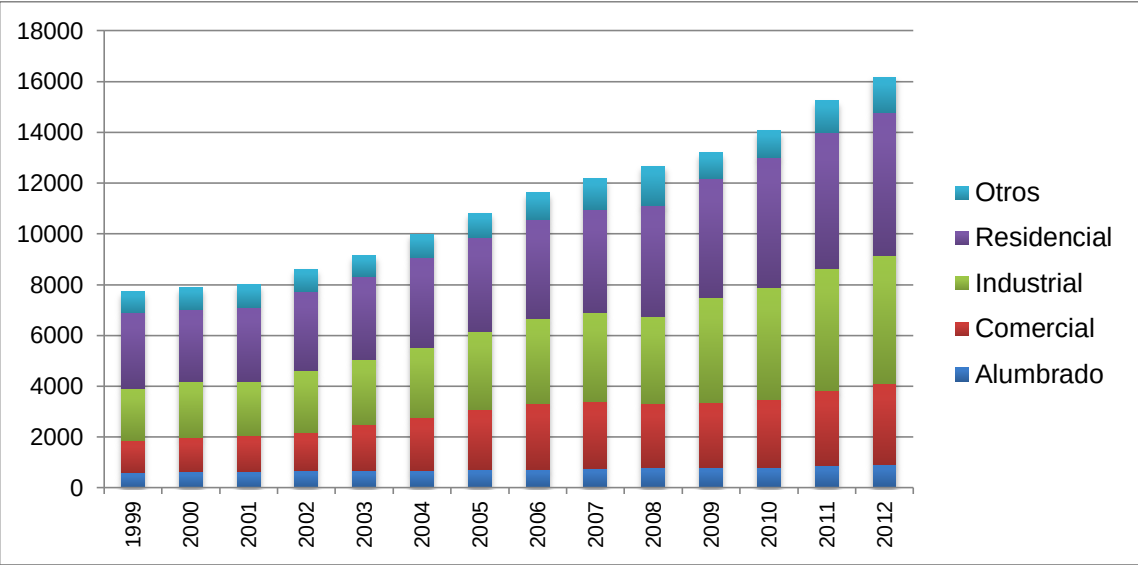
Fuente: OLADE, 2009.

La demanda de electricidad en el período entre 1990 a 2008 tuvo un crecimiento promedio del 6%, el cual resulta mayor que el crecimiento promedio total de energía demandada por el país en este período: 3.1% (Castro, 2011). De este crecimiento participan principalmente el sector residencial e industrial los cuales crecen proporcionalmente con demanda eléctrica total (Figura 2-4).

Si tomamos como referencia el año 2012, el sector residencial demanda el 35% de energía eléctrica total (Figura 2-5), siendo el principal consumidor eléctrico. Esta posición se ha mantenido constante a través de los años por lo que su evaluación como objetivo al cual aportar con el presente proyecto adquiere mayor relevancia.

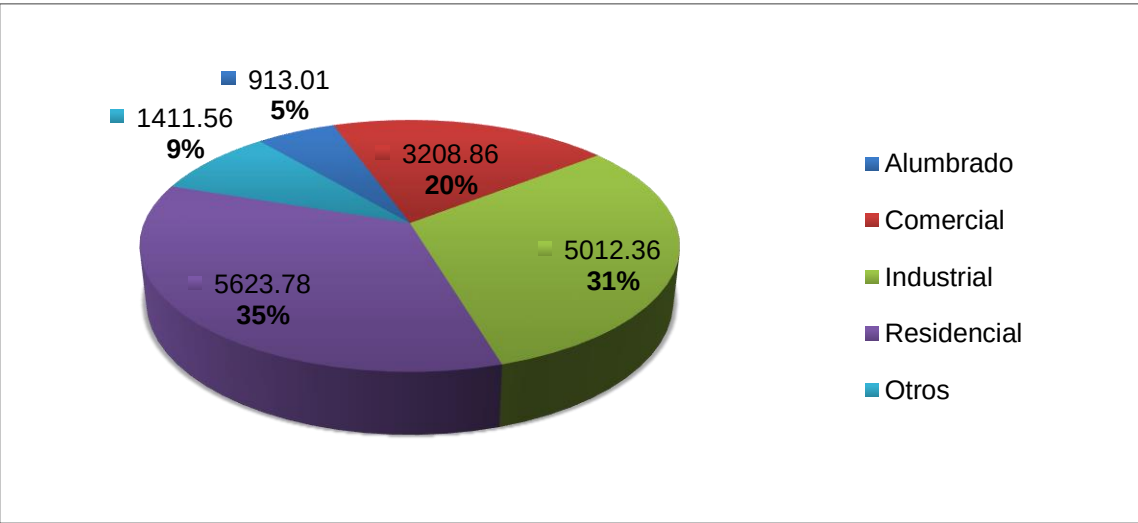
³ kbep (kilo barriles equivalentes de petróleo). kbep = 1.61394 GWh.

Figura 2-4 Demanda eléctrica anual por sectores de consumo a nivel nacional [GWh]



Fuente: CONELEC, 2013.

Figura 2-5 Demanda eléctrica por sector de consumo – 2012 [GWh]

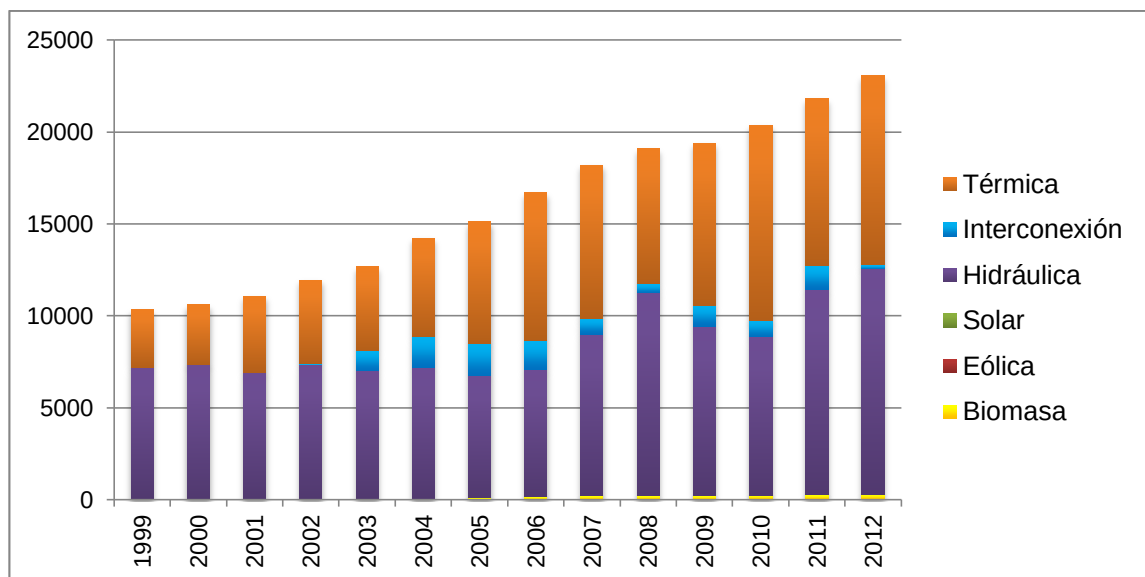


Fuente: CONELEC, 2013. Elaboración: autor.

De acuerdo a lo expuesto por Albornoz (2012), para satisfacer la demanda eléctrica se ha contemplado la ejecución de diversas políticas entre las cuales destacan: 1) el incremento de la capacidad de generación eléctrica a través de la construcción de proyectos hidroeléctricos, centrales térmicas y varios proyectos de diversas fuentes renovables⁴; 2) cambio de la matriz energética enfocada a una mayor producción de energía eléctrica a través de fuentes renovables; y 3) el mejoramiento en los sistemas de distribución a nivel nacional para reducir las pérdidas de electricidad.

La apuesta por energías limpias se ve reflejada en la Figura 2-6 donde en el 2011 las energías renovables retoman predominio y para el 2012 representan el 54% de la producción anual total de energía eléctrica.

Figura 2-6 Producción anual de energía eléctrica a nivel nacional por tipo de fuente energética [GWh]



Fuente: CONELEC, 2013.

⁴ Solar, biomasa, eólica y actualmente se desarrollan estudios de generación geotérmica.

Las políticas adoptadas en el Ecuador denotan una inclinación hacia una producción energética más eficiente, la cual adquiere mayor relevancia con el tiempo, en especial para reducir la dependencia de producción eléctrica a través de derivados fósiles y llevar la matriz energética hacia fuentes renovables.

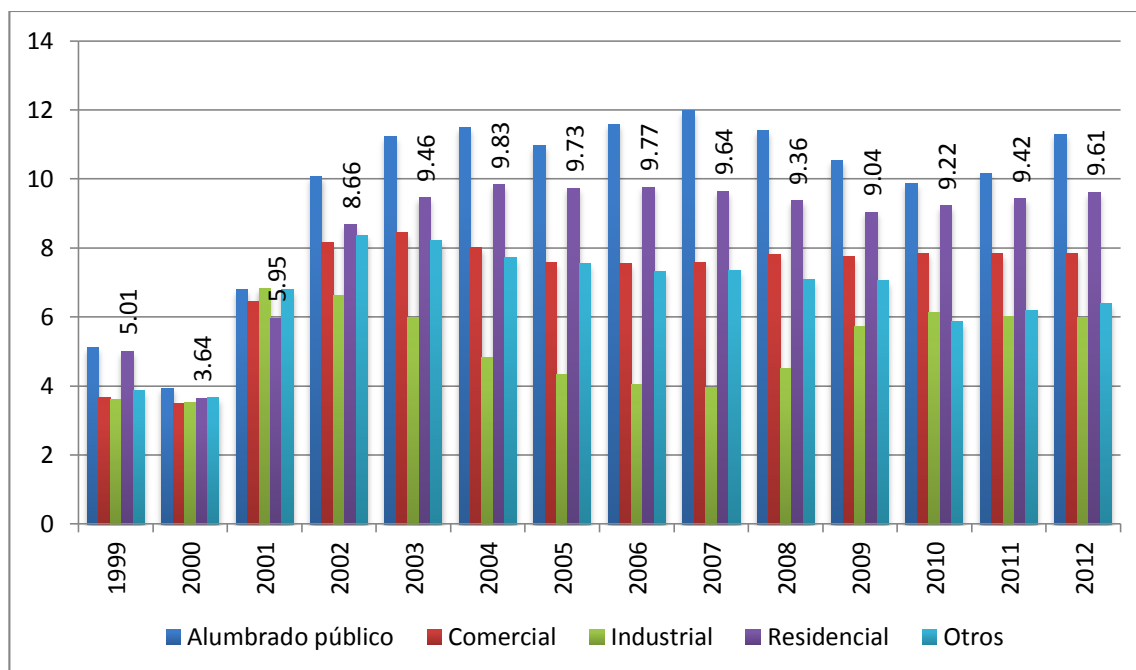
Sin embargo, es relevante considerar lo expuesto por Castro (2011) sobre el cambio climático y la vulnerabilidad del sector energético: “Al centrar la expansión de la matriz eléctrica del país predominantemente hacia un único tipo de energía, la hidroeléctrica, se producen algunas limitantes. En primer lugar, el cambio climático ocasionará impactos y variaciones a los sistemas de generación. Entre los más vulnerables, por su naturaleza sistémica, se encuentra el sector hidroeléctrico”. Ante este escenario se torna prudente enfatizar la disminución de la demanda eléctrica mediante un consumo eficiente de energía como medida preventiva ante posibles disminuciones de generación y en especial bajo el hecho que el sector residencial es el mayor consumidor de energía hidroeléctrica.

A la luz de los hechos, el sector residencial es el segundo mayor consumidor energético y el primer consumidor eléctrico del país y su tendencia aumenta a la par con el desarrollo económico y el incremento de la población; por lo considerar disminuir el consumo a través de edificaciones energéticamente eficientes es una acción coherente con los actuales lineamientos del Ecuador.

2.1.2 Costo de la energía

La tarifa eléctrica no ha variado sustancialmente durante la última década como se observa en la Figura 2-7.

Figura 2-7 Precios medios a clientes finales de distribuidoras⁵ [USD c/KWh]



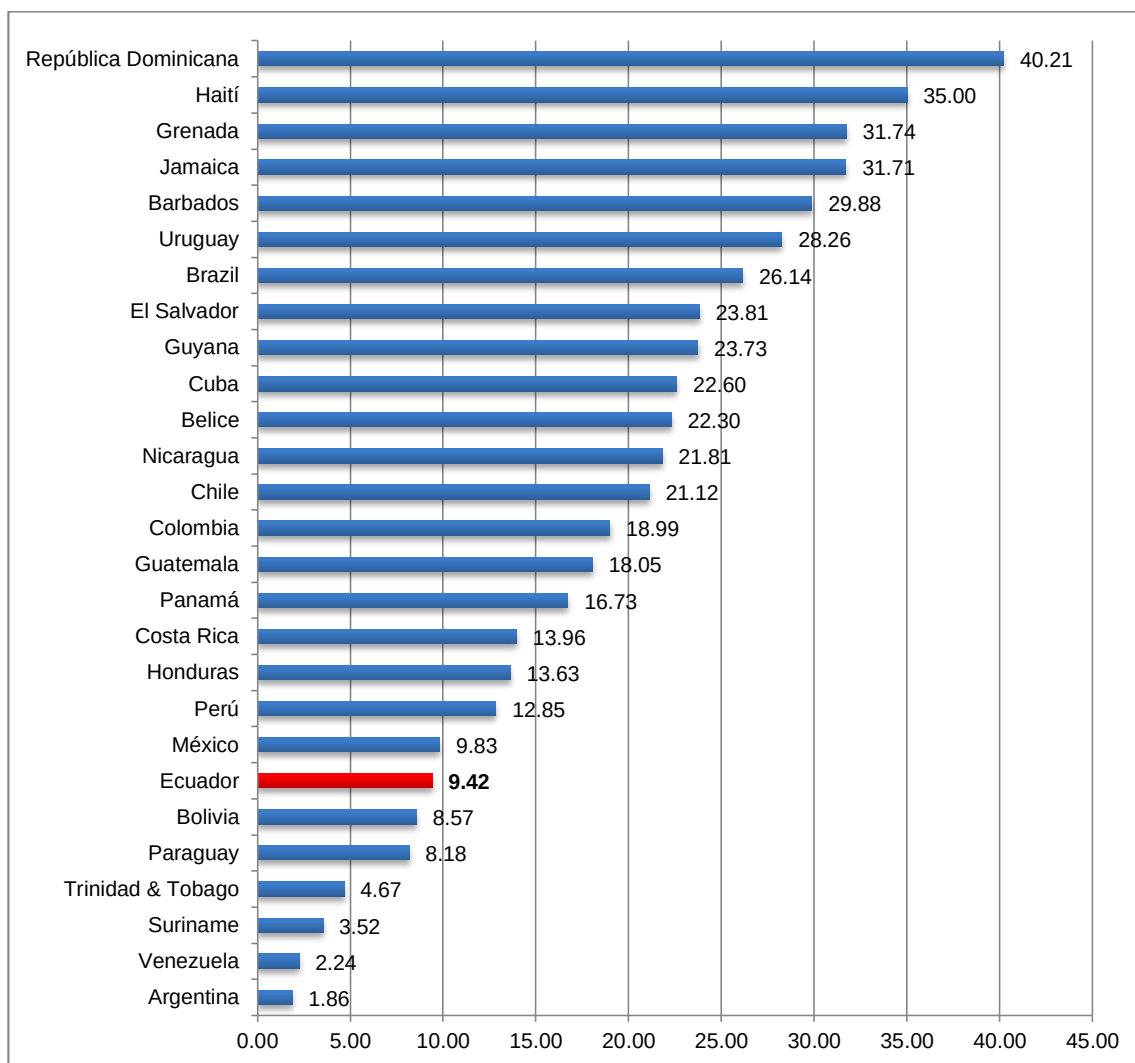
Fuente: CONELEC, 2013.

En el año 2012, el precio medio de la electricidad para el sector residencial fue 9.61 USD c/KWh y en el 2011 de 9.42 USD c/KWh, que al compararlo con el resto de países de América Latina y el Caribe es el quinto más bajo del grupo (Figura 2-8).

Sin embargo, estos precios pueden variar en función de diversos factores; en el contexto de la eficiencia energética, el factor que influye negativamente sobre el costo de la electricidad son las pérdidas en los sistemas de distribución.

⁵ Un fuerte incremento del costo energético se produjo a partir del 2001, resultado de un esquema de ajustes mensuales orientado a alcanzar la tarifa objetivo que representa el costo real de la energía eléctrica, el cual difería ampliamente del asignado al consumidor final.

Figura 2-8 Precios promedio de electricidad de países de América Latina y el Caribe – Sector residencial - 2011 [USD c/KWh]



Fuente: OLADE, 2012. Elaboración propia.

La pérdida de energía en los sistemas de distribución la constituye aquella energía que se pierde en las etapas funcionales del sistema más las pérdidas no técnicas o comerciales producidas por la falta de medición y/o facturación a

consumidores que se proveen de energía en forma ilegal o cuyos sistemas de medición sufren algún daño (CONELEC, 2009).

Es uno de los grandes problemas del sector eléctrico el cual ha sido tratado por el MEER a través de estrategias para su control y reducción. Sin embargo, la constante subutilización de energía hidroeléctrica incita a la utilización de la generación termoeléctrica, en especial cuando la demanda supera a la oferta, lo que conlleva además importaciones de electricidad; estos factores se ven reflejados sobre el precio final al cliente.

En el Ecuador las tarifas eléctricas varían en función de la región, del tipo y capacidad de consumidor y de la época del año en la que se consume, siendo la costa ecuatoriana en donde mayor variación existe ya que esta utiliza ventiladores y equipos de aire acondicionado durante todo el año. Es ante este escenario donde se avizora la importancia de disminuir el consumo eléctrico, no solo para alcanzar los subsidios determinados por consumo, sino para desarrollar la eficiencia energética a través de parámetros que mejoren el confort al interior de la vivienda y que a su vez disminuyan los costos por acondicionamiento térmico.

Conclusiones

Las políticas energéticas actuales denotan responsabilidad ética con el medio ambiente; una de ellas es el cambio a una matriz energética basada mayormente en energías renovables en la cual predomina la generación hidroeléctrica.

La energía eléctrica corresponde a la segunda mayor fuente energética del país, dentro de la cual, el sector residencial es su mayor consumidor y su tendencia aumenta.

Los costos de esta energía son bajos en relación al grupo de países de Latino América y el Caribe, sin embargo, variables como pérdidas energéticas en los sistemas de distribución inciden en el alza de este valor. Aparte de las medidas correctivas que se apliquen, el uso inteligente de energía aporta en la mitigación de este efecto.

Para mantener la seguridad energética es necesario consumir eficientemente, tanto para disminuir su demanda como para prescindir gradualmente de la generación termoeléctrica y las interconexiones internacionales.

2.2 Sector de la construcción en el país

Entre la sociedad ecuatoriana actual es común escuchar sobre desarrollo sostenible y eficiencia energética, sin embargo su aplicación aún no lo es. Como se identificó en la sección 2.1, la eficiencia energética es un tema que se está considerando hoy en día. Su campo de aplicación es amplio (sectores transporte, residencial, industria, entre otros); en el ámbito de estudio, sector residencial, su acción se resume principalmente a la utilización de tecnología de bajo consumo energético, por lo que aún no se aprovecha en real magnitud el desarrollo de viviendas energéticamente eficientes. Los motivos son diversos: falta de cultura energética y sustentable, problemáticas inherentes al sector construcción, entre otras circunstancias que se tratan a continuación.

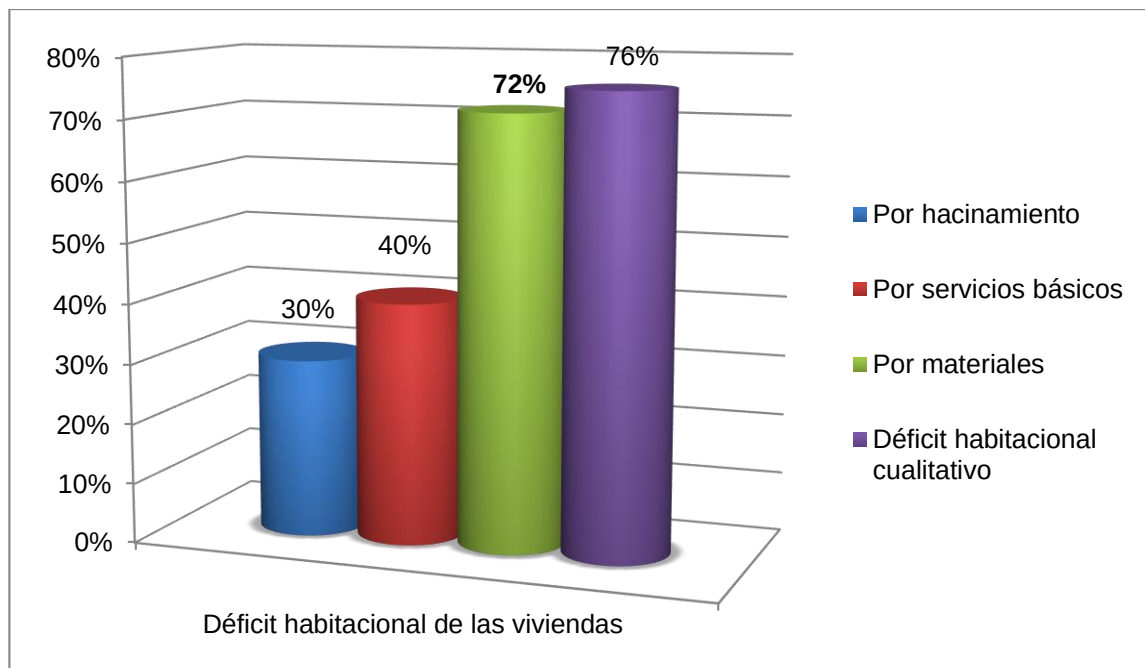
2.2.1 Análisis de antecedentes de la construcción con destino habitacional del Ecuador

De acuerdo a un estudio del Banco Interamericano de Desarrollo – BID (2012), el 50% de las familias ecuatorianas no cuentan con un techo para vivir o habitan en viviendas de mala calidad, que comprende desde la falta de títulos de

propiedad a viviendas con paredes de desecho, pisos de tierra y ausencia de servicios básicos: agua potable y saneamiento.

Bajo este contexto, para el 2010, el déficit habitacional cuantitativo⁶ del país fue de un 18.88% mientras que el cualitativo correspondió al 33.12% (SNI, 2013). En el 2006, el déficit cualitativo era mayor, principalmente por materiales de construcción que alcanzó el 71.6% de viviendas a nivel nacional, siendo el mayor causal de déficit entre hacinamiento y carencia de servicios básicos (INEC, s.f.).

Figura 2-9 Déficit habitacional cualitativo a nivel nacional - 2006 [% viviendas]



Fuente: INEC, s.f.

⁶ El déficit de vivienda cuantitativo mide los hogares que habitan en viviendas inadecuadas sin posibilidades de reparación, junto con aquellos que comparten el mismo techo. Déficit de vivienda cualitativo mide los hogares que habitan en viviendas cuya tenencia es insegura, cuyas paredes están construidas a base de materiales de desecho, suelos de tierra, carecen de agua potable y saneamiento adecuado o tienen hacinamiento (BID, 2012).

De acuerdo a las estadísticas la carencia de techo propio, hacinamiento, ausencia de servicios básicos y la precariedad de las viviendas son algunos de los principales problemas que afectan al sector residencial del Ecuador, siendo el déficit cualitativo el de mayor incidencia, lo que revela que si bien es imperioso satisfacer la necesidad de vivienda, se debe considerar especialmente el mejorar la materialidad de las mismas.

Ante este escenario, a partir del 2010, el Gobierno ecuatoriano optó por reactivar el sector de la construcción mediante una mayor entrega de préstamos hipotecarios⁷ y bonos de vivienda por parte de instituciones gubernamentales como el Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social - IESS a través de su banco BIESS, el MIDUVI, entre otros; estrategia que se complementó con la participación de entidades financieras privadas. El resultado se muestra en la Tabla 2-1, donde el volumen de crédito del sector financiero destinado a vivienda tuvo un incremento del 46.5% en el 2010 llegando al 81.1% en el año 2011, lo que ha logrado incentivar la inversión y desarrollo de la construcción habitacional del país.

Tabla 2-1 Evolución del volumen de crédito al sector vivienda [%]

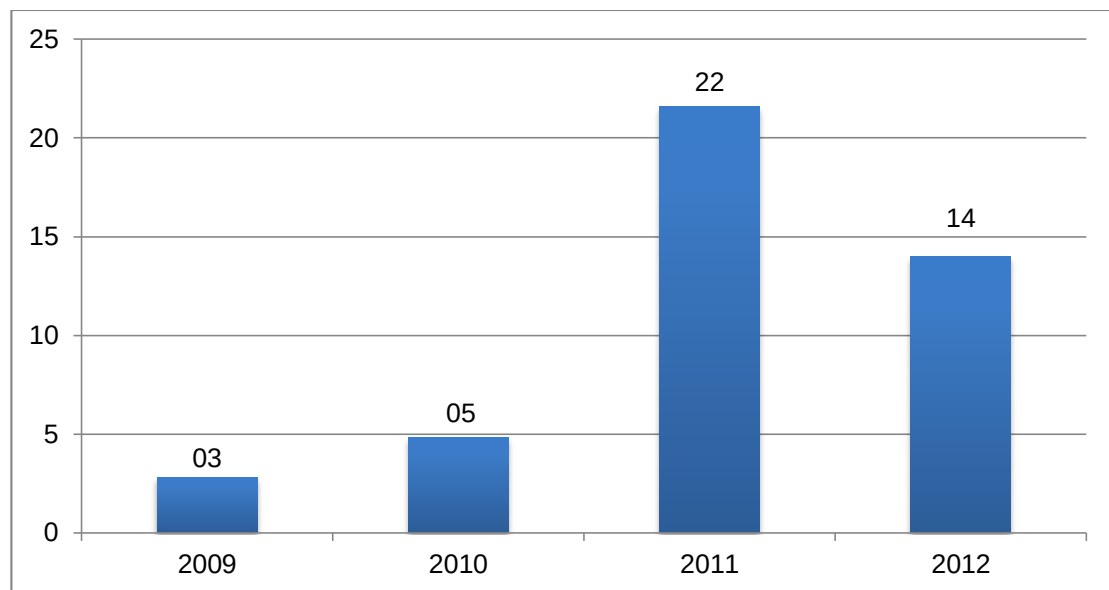
Tasa de variación anual			
Sector	2010	2011	2012
Vivienda	46.5	81.1	4.7

Fuente: BCE, 2013.

⁷ La mayor entrega de préstamos hipotecarios por parte del BIESS se debe a su competitividad: esta institución ofrece créditos de hasta 25 años y con una tasa de interés menor al 9%, mientras que los bancos ofrecen créditos hasta 15 años plazo y a una tasa del 9.5% (Flores, citado en Revista Líderes, 2012).

El Banco Central del Ecuador – BCE (2013), determinó que en 2012 el sector de la construcción tuvo un crecimiento económico del 14.0% (Figura 2-10), constituyendo la actividad que más contribuyó (1.33%) al crecimiento del 5.0% del PIB en dicho año, superando ampliamente la participación del petróleo (0.15%).

Figura 2-10 Valor Agregado Bruto (VAB) del sector construcción – Tasa de variación, 2009-2012 [%]



Fuente: BCE, 2013.

Con el incremento de préstamos hipotecarios y el consecuente aumento del VAB, el sector creció considerablemente en este último período. En 2012, la importación de materiales y los permisos de construcción [en miles de m² de construcción] totales y del sector residencial aumentaron en un 16.9%, 5.1% y 2.3% respectivamente en relación al 2011 (Tabla 2-2 y Tabla 2-3).

Tabla 2-2 Importación de materiales de construcción [Miles de toneladas métricas y tasa de variación, 2010 - 2012]

	2010	2011	2012	Tasa de variación 2012/2011
Piedras, arenas y arcillas	175.8	250.9	256.8	2.4%
Madera y obras de carpintería	3.9	2.9	3.9	30.8%
Vidrio y productos refractarios	178.3	177.0	221.5	25.2%
Cemento sin pulverizar (clínker), mármol y otros	183.1	705.2	793.0	12.4%
Productos de hierro y acero, metálicos estructurales	196.3	213.5	302.8	41.9%
Total importación materiales	737.4	1349.5	1578.0	16.9%

Fuente: BCE, 2013.

Tabla 2-3 Permisos de construcción [Miles de metros cuadrados de construcción] (medias móviles 12 y 18 meses)

	2009	2010	2011	2012
Residencial	2250	2087	2607	2667
Tasa de variación residencial	-6.3%	-7.2%	24.9%	2.3%
No residencial	1591	1894	2251	2438
Tasa de variación No residencial	23.9%	19.0%	18.8%	8.3%
Total permisos	3841	3980	4858	5105
Tasa de variación Permisos	4.3%	3.6%	22.1%	5.1%

Fuente: BCE, 2013.

El flujo de créditos hipotecarios y bonos de vivienda, el consecuente crecimiento de la construcción y su incidencia en la disminución del déficit de vivienda se materializan en proyectos que emprenden entidades públicas y privadas.

A modo de ejemplo, el Municipio de Quito a través de su Política Metropolitana de Hábitat y Vivienda (PMHV) pretende impulsar la vivienda social, no construyendo sino apoyando su desarrollo a través de incentivos como la reducción o eliminación de tasas e impuestos (Diario Hoy, 2012).

De acuerdo a uno de sus principios básicos, la PMHV busca promover la participación de los actores involucrados en la aportación estratégica de recursos financieros de gestión, técnicos y humanos. En organización de la demanda, fortalecimiento de la organización comunitaria y desarrollo comunitario integral (MDMQ, 2010). Dentro de esto se encuentra la participación ciudadana a través de la autogestión.

Su objetivo es válido: incentivar a la ciudadanía a asumir integralmente la corresponsabilidad en la satisfacción de sus necesidades, en la resolución de sus problemas y la consecución de sus aspiraciones, generando el desarrollo de las capacidades productivas y la creatividad para potenciar habilidades, destrezas y talentos comunitarios (MDMQ, 2010). Sin embargo, la autogestión, en muchos casos, conlleva a que la comunidad participe en gran parte del proceso de construcción de la vivienda (diseño, ejecución, toma de decisiones y los manejos de recursos) (Diario El Comercio, 2011), y aunque exista relación con el Estado⁸, siempre existirán los riesgos de realizar actividades ajenas, inherentes a una profesión como es la Ingeniería Civil y Construcción. Tanto los diseños como la construcción en sí de las viviendas estarán condicionados al capital económico y humano disponible de la comunidad, lo que pone en riesgo la calidad y seguridad de las viviendas si no existe una inspección rigurosa por parte de los organismos de control encargados.

⁸ Citado de Diario El Comercio, 2011. Entiéndase como coordinación con el Estado.

Inconvenientes como estos frecuentemente se suscitan en la construcción habitacional y requieren pronta consideración. Un notable crecimiento exige mayores controles que afronten de manera directa y eficiente los diversos problemas del sector.

2.2.2 Problemática del desarrollo de construcciones tradicionales

Para abordar este tema se analizó la problemática bajo los siguientes contextos: materialidad y contaminación, ineficiencia energética, tradición versus modernización, construcción informal y medidas de control.

2.2.2.1 Materialidad y contaminación

En este estudio se consideran construcciones tradicionales aquellas comúnmente estructuradas por columnas, vigas y losas, de hormigón armado, acero o madera, y en cuyos elementos de envolvente predominan el hormigón y zinc en techumbres, ladrillos de arcilla y bloques de mortero de cemento en muros y hormigón o ladrillo en pisos, de acuerdo a cifras del Censo de población y vivienda 2010 del INEC (2013). De estos materiales, el hormigón y la madera, constituyen fuentes comunes de emisión de contaminantes como indica la Tabla 2-4.

De acuerdo a Hernández Calleja (1998), la problemática de contaminación por materiales se considera dentro del síndrome del edificio enfermo, el cual atribuye problemas de salud, entre otros factores, a la mala calidad del aire circulante de un recinto, producto de la emisión de contaminantes químicos o biológicos combinado con una deficiente ventilación. La adecuada elección de los materiales, tomando en cuenta los índices de emisión de contaminantes, junto con un correcto diseño arquitectónico y un apropiado sistema de

ventilación y aire acondicionado son algunas de las medidas que propone Calleja para mitigar o eliminar este problema.

Tabla 2-4 Los contaminantes de interiores más comunes y sus fuentes

Situación	Fuentes de emisión	Contaminante
Exterior	Fuentes fijas	
	Establecimientos industriales, producción de energía	Dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono, material en partículas, monóxido de carbono, compuestos orgánicos
	Automóviles	Monóxido de carbono, plomo, óxidos de nitrógeno
	Suelo	Radón, microorganismos
Interior	Materiales de construcción	
	Piedra, hormigón	Radón
	Compuesto de madera, chapeado	Formaldehído, compuestos orgánicos
	Aislamiento	Formaldehído, fibra de vidrio
	Ignífugos	Asbesto
	Pintura	Compuestos orgánicos, plomo
	Equipos e instalaciones	
	Sistemas de calefacción, cocinas	Monóxido y dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, compuestos orgánicos, material en partículas
	Fotocopiadoras	Ozono
	Sistemas de ventilación	Fibras, microorganismos
	Ocupantes	
	Actividad metabólica	Dióxido de carbono, vapor de agua, olores
	Actividad biológica	Microorganismos
	Actividad humana	
	Hábito de fumar	Monóxido de carbono, otros compuestos, material en partículas
	Ambientadores	Fluorocarburos, olores
	Limpieza	Compuestos orgánicos, olores
	Ocio, actividades artísticas	Compuestos orgánicos, olores

Fuente: Hernández Calleja, 1998.

Sin embargo, la problemática que atañe a materiales y contaminación implica más que emisiones nocivas, su impacto radica en la utilización. Por ejemplo, la construcción con materiales que no aportan adecuadamente al confort térmico de un recinto conlleva al uso complementario de artefactos de climatización, los cuales generan contaminantes durante su empleo así como consumo energético adicional, caso que en Ecuador se percibe principalmente en la región costa. En adición a este problema, con el desarrollo de la construcción aumenta la importación de materiales (Tabla 2-2) y por ende su huella de carbono, debido a una mayor emisión de gases de efecto invernadero (GEI) durante el transporte.

Cabe mencionar que a escala mundial, el sector de la construcción consume el 32% del total de recursos naturales, el 12% del agua dulce y 40% de la electricidad y energía, produce además el 40% de la basura que se encuentra en rellenos sanitarios, el 38% de las emisiones de carbono y el 36% de los gases de efecto invernadero (Vela, s.f.).

Ante estas circunstancias, la construcción sostenible toma mayor relevancia. Es necesario un cambio en la edificación tradicional orientado a la selección adecuada de materiales y a su eficiente utilización, priorizando su adquisición en la zona, minimizando desperdicios, empleando aquellos que sean inocuos y amigables con el ambiente, afines al confort higrotérmico, que procuren eficiencia energética.

2.2.2.2 Ineficiencia energética

En el Ecuador el concepto de eficiencia energética en la edificación no ha arraigado dentro del sector construcción. Si bien han existido esfuerzos por adoptar y socializar esta herramienta, estos son dispersos y no alcanzan el efecto deseado. Existen algunos proyectos residenciales que se consideran

sustentables, eficientes energéticamente como se tratará más adelante, sin embargo son pocos en relación a la magnitud de construcciones que se ejecutan y no contemplan una perspectiva holística de edificación sostenible.

Las razones son varias, Lloret (2013) señala que el alto consumo energético del sector se puede atribuir a la incorporación indiscriminada de criterios de diseño y tecnología que responden a tendencias foráneas, que ha dado como resultado una arquitectura que desatiende los requerimientos climáticos, culturales y tecnológicos. Comenta además que frecuentemente, la tarifa fija pagada a arquitectos o ingenieros encargados de todo el desarrollo de un proyecto, desde diseño hasta construcción, los desmotiva a invertir tiempo extra en innovación y eficiencia energética, lo que ha resultado en que los nuevos proyectos no consideren el ciclo de vida de la edificación y los beneficios de la implementación de prácticas sustentables en el corto, medio o largo plazo.

La falta de cultura ambientalmente responsable dentro de la sociedad ecuatoriana así como los leves conocimientos sobre eficiencia energética y desarrollo sostenible entre los profesionales del rubro conlleva a que las construcciones actuales desestimen estas características, lo que se agrava con el desarrollo de la sociedad y el consecuente aumento de la demanda energética, más ahora que afrontamos los efectos del cambio climático y su incidencia en el confort de las personas.

2.2.2.3 Tradición versus modernización

En el ámbito de la construcción, uno de los más grandes obstáculos que impide al Ecuador alcanzar el desarrollo sostenible es la tradición. Es importante aclarar que no se pretende menospreciar el invaluable patrimonio cultural del Ecuador expresado en sus edificaciones tradicionales propiamente dichas, sino acusar la forma rutinaria de construir que aún existe, de acuerdo a patrones

establecidos por décadas, ignorando o rechazando la investigación e innovación tecnológica.

Sathaye (*et al.*, 2011 citado en Castro, 2011) señala que la adopción de nuevas tecnologías puede encontrar inconvenientes por barreras de comportamiento que implican el modificar valores culturales, sociales, normas y percepciones. Bajo este contexto, es imperioso un cambio de mentalidad en la gente que permita abordar nuevas oportunidades de modernizar el sector de la construcción. Para lograrlo es necesario crear un enfoque comprensivo que comunique los beneficios ambientales, económicos y de seguridad energética de la inversión en energías limpias y renovables (Castro, 2011) y en tecnología y prácticas energéticamente eficientes.

Con los nuevos lineamientos ambientales en el Ecuador, durante este último tiempo, se han llevado a cabo socializaciones, talleres, ferias, entrega de incentivos, entre otros, que buscan enraizar el concepto sostenible tanto en profesionales como en la población en general. Sin embargo, el proceso de adopción es largo, más aún si prevalece el interés económico y la estética por sobre eficiencia energética y desarrollo sostenible. La innovación exige inversión, lo cual es muy discutido por empresarios y constructores debido a los costos iniciales que implica la implementación de estas prácticas. Además, como señala Lloret (2013), la construcción ecuatoriana generalmente se concentra en detalles altamente visibles en la envolvente de la edificación y en acabados interiores, a sabiendas de que el dueño valorará el resultado final más que las características de rendimiento del edificio.

Es así que mientras no cambie este paradigma, la construcción tradicional continuará retrasando el avance hacia una modernización sostenible en el Ecuador.

2.2.2.4 Construcción informal

Todos aquellos que dispongan de capital suficiente tienen la posibilidad de erigir una edificación, mas no todos deben: aquellos que subestiman el rol protagónico de ingenieros, constructores y arquitectos, normas y regulaciones atentan contra la seguridad y bienestar de las personas. Estos son partícipes de la construcción informal que es práctica común en el Ecuador.

Dentro de la población, la calidad y seguridad de las edificaciones es directamente proporcional a la cantidad de dinero disponible, lo que obliga a muchos a reducir costos a través de la contratación de jornales o jefes de obra para la dirección y ejecución de proyectos, o simplemente construyendo por sí mismos, empleando materiales de baja calidad, prescindiendo de supervisión profesional, estudios previos, planos y permisos, lo que conlleva a mermar la funcionalidad y resistencia del inmueble. Esto crece profusamente en sectores marginales del país, donde invasiones generan nuevas urbanizaciones ilegales, las cuales por su carácter anti técnico, son especialmente vulnerables ante embates de la naturaleza.

Para exponer las consecuencias de esta práctica se revisó en diarios ecuatorianos información de los últimos tres años sobre viviendas afectadas por factores naturales y antrópicos. Como resultado se presenta la Tabla 2-5 que constituye el catastro de daños y causas que comúnmente ocurren en construcciones informales.

Tabla 2-5 Catastro de daños y causas frecuentes en construcciones informales

Caso	Provincia	Tipo	Materialidad	Estado	Observaciones
Las casas de ciudadela Briones se caen y están cuarteadas	Manabí	Viviendas de 1 a 2 pisos	Hormigón, ladrillo, caña guadúa, cubiertas de láminas de acero	69 casas cuarteadas y con riesgo de colapso	Asentamiento y levantamiento diferencial de viviendas por inestabilidad del terreno. Suelo presenta arcillas expansivas que se activaron en presencia de lluvias. Se puede concluir que no se realizó estudio de suelos previo.
Más inmuebles de Loja están afectados por el invierno	Loja	Viviendas de 2 a 3 pisos.	Hormigón, bloques de mortero de cemento, ladrillos.	21 viviendas afectadas. Muros cuarteados y alta presencia de humedad	Asentamiento de viviendas por inestabilidad del suelo ante presencia de agua debido a lluvias y tubería subterránea que presenta filtraciones. Se puede concluir que no se realizó estudio de suelos previo.
Familias de Las Abras, en peligro por las lluvias	Chimborazo	S/I	S/I	5 viviendas inundadas. 60 viviendas ubicadas sobre los márgenes de la quebrada	Emplazamiento indebido en zonas vulnerables. Viviendas ubicadas sobre relleno de quebrada sin sistema de alcantarillado, impidiendo desfogue natural de aguas lluvias.
Sismo de 4 grados en Quito	Pichincha	S/I	S/I	Algunas viviendas fisuradas. Deslizamientos.	Sismo de 4 grados de magnitud a 3 Km de profundidad fisuró viviendas. Estas muy probablemente se conformaban por materiales de baja calidad.
Las lluvias ocasionan problemas en dos cantones	Chimborazo, Tungurahua	S/I	S/I	Inundación de barrios. Deslizamientos	Emplazamiento indebido. Lluvias provocan desborde de acequia y anegan barrios cercanos.
Ecuador: Intensas lluvias causan víctimas y daños	Pichincha	S/I	S/I	Colapso de viviendas y taludes.	Lluvias provocan inestabilidad de taludes generando 7 zonas de alta vulnerabilidad. 50 barrios proclives a deslizamientos de agua con lodo se ubican en zonas orientales y occidentales de las montañas a ambos lados de Quito y en bordes de quebrada.
Siete menores a la intemperie tras el incendio de dos viviendas	Guayas	Vivienda artesanal de 1 a 2 pisos	Caña	2 casas incineradas.	Incendio de origen desconocido denota vulnerabilidad de viviendas artesanales de caña guadúa.

Caso	Provincia	Tipo	Materialidad	Estado	Observaciones
Seis casas con daños por la granizada que cayó en Loja	Loja	S/I	Bloque de mortero de cemento y cubierta de láminas de zinc	Colapso de 6 viviendas	Acumulación de granizo en cunetas provocó desborde de agua la cual generó presión sobre muros provocando su colapso. Se puede argumentar baja calidad de materiales estructurales y no estructurales.
Las lluvias complican la vida de los lojanos	Loja	Viviendas de 1 a 3 pisos	Bloque de mortero de cemento, ladrillo, madera y cubierta de láminas de zinc	Colapso de 3 viviendas	Asentamiento y desestabilización del suelo por lluvias. Indebido emplazamiento: viviendas ubicadas en ladera muy pronunciada. Se puede argumentar ausencia de estudios de suelos e incorrecta ejecución de obra.
Cuatro familias quedaron sin casas por incendio en Durán	Guayas	S/I	Madera y cubierta de láminas de zinc	4 viviendas incineradas	Incendio de origen desconocido denota vulnerabilidad de viviendas artesanales de madera.
Lluvias causan deslizamientos y daños en viviendas de Cuenca	Azuay	Viviendas de hasta 3 pisos	Hormigón, ladrillo o bloque de mortero de cemento	12 casas afectadas: 1 destruida	Viviendas afectadas por deslizamientos de tierra provocados por lluvias. Se puede concluir que no se realizaron estudios de suelos previos.
En Calamaca se contabilizan más viviendas dañadas por el temblor	Tungurahua, Cotopaxi	S/I	Paredes de tierra y bloques de mortero de cemento	Viviendas con grietas en paredes y cimentación. Aproximadamente 30 casas afectadas en Tungurahua y 6 casas en Cotopaxi, de las cuales 5 presentan riesgo de colapso	Sismo de 4.6 grados de magnitud vulneró viviendas. Se puede argumentar baja calidad de materiales y ejecución incorrecta de la estructura.
Chaquinal, donde la tierra se mueve y el riesgo es extremo	Loja	Vivienda 1 S/I. Vivienda 2 de 2 pisos	Hormigón, bloques de mortero de cemento	2 viviendas con daños graves y probable riesgo de colapso	Afectación en viviendas por detonación en obras viales cercanas. Se puede argumentar incorrecta ejecución de obra, baja calidad de materiales. Terreno presenta agrietamiento previo por fenómeno climático El Niño.
20 viviendas colapsaron en parroquia del cantón Zaruma	El Oro	S/I	Construcción mixta: madera y adobe	Colapso de 20 viviendas	Lluvias vulneran viviendas debido a mala calidad de materiales. Emplazamiento de estas en zona de riesgo de deslaves.

Caso	Provincia	Tipo	Materialidad	Estado	Observaciones
Invierno destruye viviendas	Cañar	S/I	Madera y cubierta de láminas de zinc	En Biblián: 5 viviendas afectadas por deslizamiento de tierra En Azogues: 15 viviendas cuarteadas En Cojitambo: 3 casas colapsaron y 23 están parcialmente afectadas	Lluvias provocaron deslizamiento de tierra. Emplazamiento indebido de viviendas.
En Turubamba, cinco casas van a ser derrocadas	Pichincha	Viviendas de hasta 3 pisos	Hormigón, bloque de mortero de cemento o ladrillo	De 240 viviendas: 5 tienen daño estructural crítico, 8 con daño estructural leve y fisuras en mampostería, 12 con fallas de cimentación e inclinación, 13 con fisuras de consideración, 40 con fisuras moderadas, 115 con fisuras leves y 47 no tienen daño	Asentamiento diferencial de viviendas emplazadas en terrenos anteriormente de uso agrícola conformados por vertientes de agua y lagunas con altos niveles de humedad según estudio realizado por consultoras Geoconsul e Hidrogeocol.

S/I: sin información

Fuente: Diarios: El Comercio, 2011, 2012, 2013, El Telégrafo, 2012, La Hora, 2013, El Universo, 2012, 2013, Hoy, 2012, Agua, 2011. Elaboración: autor.

Del catastro realizado se observa que existe un común de acciones para este tipo de obras: no realización de estudios de suelos, emplazamiento en zonas de alto riesgo, ejecución artesanal de viviendas sin planeación ni supervisión técnica y utilización de materiales de baja calidad; los cuales generan daños estructurales y no estructurales por: asentamientos o levantamientos diferenciales según el tipo de suelo, movimientos telúricos de baja magnitud, deterioro de materialidad por condiciones climáticas o de uso (por ejemplo ampliación imprevista del número de pisos), vulnerabilidad ante hechos fortuitos como incendios, inestabilidad del terreno y taludes en presencia de lluvia, que es la mayor detonante de daños, llegando incluso a provocar el colapso de viviendas, sin mencionar los efectos a la salud que conlleva la humedad.

Para superar esta situación es necesario crear conciencia en la ciudadanía sobre lo relevante de contar con profesionales en el desarrollo de proyectos constructivos. Sin embargo, las difíciles condiciones tanto económicas como sociales son el gran impedimento, a menos que se cree un ambiente favorable por parte de las autoridades, que permita suficiente solvencia económica y que brinde junto a los actuales créditos y bonos una mayor accesibilidad a profesionales, a través de mejores incentivos a estos últimos por edificación de viviendas sociales.

Este escenario demuestra además lo indispensable que es fortalecer las normas y reglamentaciones vigentes para ejercer una mayor regulación por parte de municipios ya que actualmente existen deficiencias en las medidas de control adoptadas.

2.2.2.5 Medidas de control

Según datos proporcionados por la Secretaría de Riesgos, más del 70% de las edificaciones en el Ecuador han sido construidas de manera informal, es decir,

más de 3 millones de viviendas; lo que significa que solo el 30%, cumple con los requisitos mínimos de una construcción segura (Buró de análisis, 2011). Si bien la falta de conciencia y responsabilidad técnica de la sociedad genera estas cifras, los municipios comparten la responsabilidad ya que son los organismos encargados del control en la construcción y el desarrollo urbano.

El control de todas las construcciones que se realizan, si bien es una tarea improbable de cumplir en su totalidad, es necesaria realizarla. Diferencias entre lo especificado en planos y lo ejecutado en terreno, ahorro en materiales y construcción sin supervisión técnica son algunos de los problemas a intervenir. Esta tarea se dificulta aún más si las herramientas de control que disponen, normas y reglamentaciones, se encuentran desactualizadas o no existen para temas específicos, lo que impide ejercer un control global de la construcción. Al problema se suman el rápido crecimiento urbano que ha tenido el país, en especial en sectores marginales y rurales, junto con la presión social de legalizar asentamientos informales, los cuales inciden en el incremento de las cifras.

Como apoyo a las medidas de control, en los últimos años se han actualizado y desarrollado los estatutos para la construcción, contempladas en la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11, un compendio de 18 capítulos que incluyen regulaciones para viviendas de interés social, diseño sismo resistente, energías renovables, eficiencia energética, entre otros. La NEC-11 será parte de Ley de Vivienda que prepara el MIDUVI y su aplicación es de carácter obligatorio en todo el territorio nacional (Buró de análisis, 2011).

Nuevos reglamentos, incentivos, penalizaciones, entre otras, son las actuales estrategias que procuran mejorar las condiciones estructurales y operativas de inmuebles así como generar un mayor control ante el crecimiento del sector, progresando desde de la construcción tradicional hacia un entorno moderno, seguro y sostenible.

2.2.3 Desarrollo de viviendas energéticamente eficientes en el país

Para establecer si efectivamente se desarrollan viviendas energéticamente eficientes en el Ecuador es necesario conocer primero los parámetros donde estriba este concepto.

Según Hernández y Meza (2011), el concepto de eficiencia energética en la construcción corresponde a un producto holístico derivado en la búsqueda de sustentabilidad de las edificaciones y de hacer funcional a los edificios. Bajo este contexto, ambos autores señalan las condiciones para que una vivienda sea de bajo consumo energético, las cuales son:

- Diseño arquitectónico bioclimático donde se aproveche la orientación y ubicación de ventanas, compacidad, selección de materiales de envolvente, incorporación de energía solar pasiva, entre otras.
- Aislamiento y estanqueidad que permitan controlar los flujos de energía a través de los elementos envolventes de la vivienda.
- Mínima inyección de recursos energéticos, de capital, esfuerzo humano y de materiales, al igual que mínimos resultados contaminantes y de desechos, en cada etapa del ciclo de vida de la vivienda.
- Utilización de materiales de construcción recuperable, reutilizables y con baja energía incorporada.
- Incorporación de energías limpias y renovables para la operación de los sistemas de instalaciones en las viviendas.
- Exigencia de elevados rendimientos para todos los sistemas de instalaciones en la vivienda (agua caliente sanitaria - ACS, calefacción, ventilación y aire acondicionado – HVAC, entre otros).
- Bajo consumo energético de aparatos y equipos electrónicos.
- Contar con un sistema de gestión, mantenimiento y mejoramiento continuo que monitoree y rectifique constantemente el funcionamiento de los sistemas en la vivienda.

Estas condiciones se pueden resumir en cuatro criterios: diseño arquitectónico adecuado, selección y uso inteligente de recursos, incorporación de tecnología y energías sustentables y por último implementación de sistemas de control de instalaciones, todas consideradas durante el ciclo de vida de la edificación, desde su génesis hasta su demolición y disposición final.

En los últimos años en el Ecuador se han desarrollado algunos proyectos habitacionales que pretenden eficiencia energética y desarrollo sostenible. Ejemplo de esto es el edificio residencial Groen, el cual implementa estrategias sustentables como una cisterna que se alimenta de agua lluvia, balcones empleados como quiebrasoles y orientación adecuada de ventanas ante asoleamientos, y, que de acuerdo a uno de sus arquitectos, busca cumplir con los ocho preceptos sustentables: elección del sitio adecuado, eficiencia energética, ahorro del consumo de agua, materiales y procesos adecuados, calidad del ambiente interno, tecnologías innovadoras, calidad de vida del ser humano y belleza y educación (Diario El Comercio, 2012). Ciertamente esta edificación es un avance considerable dentro del concepto de construcción sostenible y es modelo en el tema, sin embargo todavía tiene muchas áreas por explorar. Si bien se ha considerado una arquitectura inteligente y se optimiza el consumo de agua⁹, es evidente que aún no se practican varios de los criterios sobre eficiencia energética descritos anteriormente y que son aportes relevantes para alcanzar sostenibilidad.

Como este existen algunos proyectos que se denominan sustentables pero que en la realidad no lo son completamente. Una edificación sostenible es un modelo holístico que no se consigue a través de acciones aisladas ya que se pierde el efecto sinérgico que realmente alcanza sostenibilidad.

⁹ Proyectos semejantes de la misma firma de arquitectos también buscan sostenibilidad a través de paneles de radiación solar para calentamiento de agua, vegetación en terraza y fachada, materiales durables y no contaminantes y su adecuada adquisición y uso.

En este punto cabe destacar que todos los esfuerzos proclives a obtener desarrollo sostenible son válidos. En el ámbito de estudio, eficiencia energética, ha sido más notoria la voluntad por conseguirla. El Gobierno ecuatoriano a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable – MEER adoptó planes de eficiencia energética para el sector residencial, como por ejemplo: el proyecto de sustitución de focos incandescentes por focos ahorradores y el programa para la renovación de equipos de consumo energético ineficiente (refrigeradoras)¹⁰. Además promueve la investigación en este ámbito a través del Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables – INER, entidad adscrita al MEER, el cual ha desarrollado varios proyectos como el estudio para edificaciones de bajo consumo energético en Yachay, que busca, a través del modelamiento de edificios de bajo consumo, definir las medidas que reduzcan el consumo energético de dicho sector¹¹.

Junto a la participación del Gobierno, se suma la de ONG orientadas a la edificación sostenible como son el Ecuador Green Building Council – EGBC y el Consejo Ecuatoriano de Edificaciones Sustentables – CEES. Entre sus acciones destaca la capacitación en temas de construcción sustentable, factor determinante que inyecta mayor relevancia y facilita la implementación de este concepto en el país.

Iniciativas como estas hay muchas, planteadas por entidades públicas y privadas, que muestran preocupación ambiental y real interés en buscar el desarrollo sostenible a través de la edificación residencial energéticamente eficiente. A pesar de ser los primeros pasos son grandes avances que requieren mayor coordinación y complemento entre sus acciones. Lograr sostenibilidad es sin duda una tarea compleja y más aún si en el Ecuador todavía no se manejan reglamentos que controlen el cómo hacer ni

¹⁰ Para mayor información remitirse al portal: <http://www.energia.gob.ec/direccion-nacional-de-eficiencia-energetica/>

¹¹ Para mayor información remitirse al portal: <http://www.iner.gob.ec/proyectos/#inicio1>

conocimientos que faciliten su aplicación. Sin embargo este movimiento está evolucionando y deberá contar con mayor participación de todos los involucrados: sociedad, profesionales, gobierno, a través de la interacción armónica entre ellos, apoyados por herramientas adecuadas, adaptadas a la realidad del Ecuador.

Conclusiones

El desarrollo de la sociedad ecuatoriana exige trabajar no solo en el déficit cuantitativo de vivienda, sino también en el cualitativo. Mejorar la calidad de vida a través de la edificación residencial es un factor predominante que involucra la implementación de nuevas tecnologías, materiales adecuados, métodos constructivos eficientes y diseños inteligentes que brinden un confort apropiado para el habitante, en especial en este tiempo donde se evalúa el efecto del cambio climático.

Ante la preocupación ambiental, entidades públicas y privadas en el Ecuador han adoptado políticas sustentables a través de estrategias de eficiencia energética en el sector residencial. Su progreso tiene relación directa con la participación coordinada de la sociedad, profesionales y gobierno, apoyada en investigación, capacitaciones, incentivos, reglamentos y regulaciones donde estribe el crecimiento de la construcción habitacional que actualmente vive en país.

La eficiencia energética en la edificación residencial está en sus inicios. Se revelan esfuerzos por arraigar el concepto en el país así como nuevos conocimientos y estrategias aplicados a edificaciones. Sin embargo, aún existen áreas por considerar, como es el ahorro energético a través del acondicionamiento térmico de viviendas, objetivo del presente estudio.

2.3 Reglamentación NEC-11 Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador

El capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador es uno de los 18 estatutos que conforman la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC, desarrollada como instrumento de regulación ante el rápido crecimiento del sector en el país. En la actualidad, este capítulo se encuentra en proceso de socialización y levantamiento de observaciones para la posterior elaboración del documento final¹², y su aplicación, al igual que los demás capítulos, será de carácter obligatorio a nivel nacional.

2.3.1 Antecedentes y alcance

Ante el avance de la construcción en el país y con el afán de reformar su regulación, el Gobierno ecuatoriano, mediante Decreto Ejecutivo N°705 del 24 de Marzo del 2011, solicitó al Comité Ejecutivo de la Norma Ecuatoriana de la Construcción¹³ expedir la Norma Ecuatoriana de la Construcción - NEC, la cual deberá contemplar los requisitos mínimos de diseño, construcción y control en ejecución de obras, orientadas a promover la necesidad de mejorar la calidad de las edificaciones.

La elaboración de la NEC es producto del Convenio interinstitucional suscrito en 2008 entre el MIDUVI y la Cámara de la Construcción de Quito – CCQ, en el cual el Gobierno Nacional a través del MIDUVI financia la elaboración de las normas mientras que la CCQ es responsable de su desarrollo.

¹² Actualizado hasta julio de 2013.

¹³ El Art. 3 del Decreto Ejecutivo N° 705 del 24 de Marzo del 2011 establece como integrantes de dicho comité a: MIDUVI, organismo que preside el comité o su Delegado, Secretaría Nacional de Gestión de Riesgos, Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación, Asociación de Municipalidades del Ecuador - AME, un representante de las Facultades de Ingeniería de las Universidades y Escuelas Politécnicas, la Federación Ecuatoriana de Cámaras de la Construcción y Ministerio de Seguridad.

Dentro de los estatutos que conforman la NEC, existe uno destinado exclusivamente a edificaciones energéticamente eficientes, correspondiente al capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador. El objetivo principal, según describe su documento, es: establecer las especificaciones y características técnicas mínimas a ser tomadas en cuenta en el diseño, construcción, uso y mantenimiento de las edificaciones en el país, reduciendo de esta manera el consumo de energía y recursos necesarios, así como establecer los mecanismos de control y verificaciones de las mismas.

El alcance de este reglamento considera: planteamientos urbanísticos, entorno y disposición de la edificación, zonificación climática, disponibilidad de recursos renovables, rendimiento de las instalaciones activas, exigencias técnicas de las instalaciones, condiciones de uso y mantenimiento de instalaciones, sistemas de iluminación e iluminación natural, criterios arquitectónicos y de diseño como por ejemplo: confort térmico y acústico, niveles de iluminación, deslumbramiento y rendimiento de color, forma de la edificación, ganancia y protección solar, radiación solar, ventilación y calidad del aire, materiales de construcción, transmitancia y aislamiento térmico, entre otras consideraciones, todas estribadas en el concepto de sostenibilidad.

En el ámbito del presente estudio, eficiencia energética en edificaciones mediante restricción de transmitancia térmica, se vio la oportunidad de mejorar los valores presentados en dicho reglamento a través de la reformulación de los siguientes parámetros:

- Zonas térmicas: se observa que las zonas térmicas establecidas de acuerdo al mapa de isotermas pueden reemplazarse por una nueva zonificación basada tanto en la temperatura media mensual como en su oscilación térmica, considerando parámetros como humedad, altitud, grados día y población, que la adaptan mejor a la realidad climática y habitacional del país.

- **Envolvente:** se requiere simplificar la clasificación de la envolvente a cuatro únicos elementos: cubierta, muros, pisos (en contacto con el terreno o ventilados) y ventanas, evitando la discriminación detallada y de esta forma facilitando su aplicación.
- **Transmitancias:** se pretende unificar los valores de transmitancia establecidos para climas cálidos que usen climatización activa o pasiva, considerando que lo ideal es satisfacer el confort térmico a través de la implementación del reglamento, prescindiendo así del uso de artefactos destinados a ese fin y cuyo empleo debiera ser complementario, en especial en un país donde las condiciones climáticas no son extremas.
- **Carácter térmico:** se propone integrar el concepto de humedad a la parte térmica de la reglamentación como elemento complementario que otorga el carácter de higrotérmico al estatuto. Una de las razones es la incidencia de la humedad en el comportamiento térmico de los materiales, lo cual puede restar eficacia a los resultados y aminorar sus beneficios.

Si bien la NEC-11 Capítulo 13 abarca ampliamente el tema de eficiencia energética en la construcción, existe la posibilidad de realizar un aporte significativo a través del presente estudio en el contexto de transmitancia térmica. Cabe señalar que su alcance es limitado en comparación al expuesto por el capítulo 13, sin embargo su influencia es trascendental ya que constituye uno de los elementos principales donde estriba el modelo global de eficiencia energética en edificaciones.

Conclusiones

En el Ecuador actualmente se desarrolla la Norma Ecuatoriana de la Construcción – NEC, un nuevo estatuto de carácter obligatorio que regula

ampliamente la construcción en el país¹⁴. Dentro del ámbito de la eficiencia energética en edificaciones se encuentra el capítulo 13, el cual contiene los requisitos de diseño de viviendas de bajo consumo energético.

Con el presente estudio se procura realizar un aporte significativo al contexto de transmitancia térmica del actual reglamento mediante la optimización de sus valores, potenciando de esta forma su eficacia en el ámbito del ahorro energético y contribuyendo al modelo global de eficiencia energética en edificaciones.

A la luz de los hechos, la eficiencia energética en la edificación residencial del Ecuador se encuentra alineada con las nuevas políticas adoptadas por el país. Si bien es un tema nuevo y su completa aplicación no será inmediata, es necesario implementarla a la brevedad, ya que sus resultados serán apreciables a largo plazo. Actualmente se desarrollan reglamentos que facilitarán la labor, sin embargo, es necesario complementarlo con educación e investigación en el ámbito de la eficiencia energética y desarrollo sostenible junto con un constante apoyo por parte del Gobierno. Se espera de esta forma no solo disminuir el consumo energético, sino además la emanación de gases contaminantes, contribuyendo al beneficio tanto de la sociedad como del ambiente.

¹⁴ Hasta el 17 de julio de 2013 el Comité Ejecutivo de la NEC ha aprobado 9 capítulos de esta reglamentación que abarcan desde requisitos de diseño sísmo resistente, estructuras de hormigón armado y acero, vidrio, geotecnia y cimentaciones, entre otras especificaciones enfocadas a la construcción e ingeniería estructural. El capítulo 13 no consta en este grupo.

CAPÍTULO 3

DESARROLLO DE LA PROPUESTA DE REGLAMENTACIÓN HIGROTÉRMICA

3.1 Alcance de la reglamentación higrotérmica

El presente estudio comprende la determinación de los estándares de comportamiento térmico mínimos a exigir en elementos de envolvente; esto es, la definición de los valores máximos de transmitancia térmica para los complejos de muros, techumbre y pisos en contacto con el terreno de las edificaciones residenciales representativas del Ecuador.

Esta propuesta tiene el objeto de aportar al actual reglamento NEC-11 Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador, en el contexto de ahorro energético mediante comportamiento y aislamiento térmico, por lo cual no se establecen exigencias de soleamiento y protección solar, iluminación, orientación y demás conceptos complementarios e inherentes al modelo de edificación energéticamente eficiente.

3.2 Metodología

Para la elaboración de este estudio se empleó el siguiente procedimiento:

- a. Caracterización climática: primeramente se definió el campo de aplicación del reglamento mediante la clasificación de zonas higrotérmico habitacionales en todo el territorio ecuatoriano. En base a información meteorológica del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología – INAMHI se asignó a cada cantón del país su respectiva zona en función

de la temperatura media mensual y oscilación térmica, realizando correcciones por parámetros de población, humedad, altura y grados día, que adapta mejor la propuesta a la realidad climática y habitacional del país.

- b. Caracterización constructiva: en esta etapa se establecieron las tipologías predominantes de vivienda a través del análisis de los permisos de edificación del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos – INEC concedidos por municipios del país. Se caracterizó bajo los criterios de materialidad estructural y de envolvente (muros y cubierta), superficie y número de pisos. Los resultados constituyen la base para el estudio sobre comportamiento térmico.
- c. Generación del modelo geométrico: de las tipologías obtenidas se trabajó con la más representativa. Se obtuvieron planos arquitectónicos con los cuales se desarrolló el modelo geométrico dentro de un *software* para su posterior simulación. A través de bases de datos generados, se establecieron todos los parámetros que definen la vivienda, tanto a nivel geométrico, constructivo y ocupacional, así como las características climáticas según la zona térmica. El modelo terminado fue exportado al simulador para su evaluación.
- d. Determinación del comportamiento térmico y desempeño energético: mediante *software* especializado en la predicción del comportamiento térmico de edificaciones se evaluó la tipología predominante en cada zona térmica bajo dos situaciones: la primera sin considerar soluciones de mejoramiento y la segunda considerándola con diversos espesores de aislante. El objetivo es determinar el desempeño tanto térmico como energético de la vivienda, estableciendo las demandas anuales de

energía en calefacción o refrigeración, para posteriormente comparar y establecer los ahorros energéticos y el mejoramiento en el confort de sus ocupantes.

- e. Definición de valores restrictivos de transmitancia: los resultados de las simulaciones fueron analizados bajo los criterios de demanda energética, costo de implementación del mejoramiento térmico y rentabilidad. La evaluación combinada de estos tres parámetros permiten optar por los valores de transmitancia térmica máximos que brinden los mejores beneficios en estos aspectos. Los resultados aquí obtenidos constituyen las exigencias de la presente reglamentación.

3.3 Caracterización climática

El Ecuador se encuentra al noroeste de América del Sur, dentro de la franja intertropical del planeta, la cual se caracteriza por el predominio de climas cálidos. Sin embargo, la intervención de factores, entre ellos: orográficos, atmosféricos y oceanográficos, generan una gran diversidad climatológica en el país. Identificar y agrupar eficazmente, es decir, realizar una correcta caracterización climática, toma mayor relevancia ya que en esta estriban los beneficios de aplicar la reglamentación propuesta.

3.3.1 Antecedentes climáticos del Ecuador

El Instituto Oceanográfico de la Armada del Ecuador – INOCAR (2012) destaca que el país, a pesar de encontrarse en la zona ecuatorial tropical, cuenta con una variedad de subclimas, topoclimas y microclimas debido a la interacción de factores como la influencia del mar, con la presencia de la corriente fría de

Humboldt y de la corriente cálida de Panamá, combinado con la orientación perpendicular de los Andes a los vientos Alisios. Este escenario conlleva a que el Ecuador posea únicamente dos tipos de estaciones caracterizados por la intensidad de sus precipitaciones: estación lluviosa llamada invierno y estación seca llamada verano. De acuerdo al INAMHI, en la región Litoral¹⁵, el período lluvioso empieza en diciembre o enero y termina en el mes de mayo, la época seca inicia en mayo y finaliza en el mes de septiembre; en la región Interandina el período lluvioso inicia en octubre y finaliza en el mes de mayo y el período seco se extiende desde junio a septiembre.

Los climas predominantes se pueden agrupar según las regiones Litoral, Interandina, Amazónica e Insular del Ecuador, de acuerdo a la siguiente información tomada de los derroteros del INOCAR (2005 y 2012):

- Climas de la región Litoral: las condiciones climáticas de esta región son del tipo tropical, con temperaturas superiores a los 20°C, abundantes precipitaciones pluviométricas en los meses de invierno y vegetación exuberante.
 - Clima tropical húmedo: se caracteriza por tener una temperatura media anual mayor a 25°C, humedad relativa superior a 85% y nubosidad considerable. Posee inviernos lluviosos y veranos con pocas precipitaciones; las lluvias se presentan durante todo el año. Este tipo de clima se encuentra en la región noroeste de la costa de Esmeraldas.
 - Clima tropical monzón: se caracteriza por tener una temperatura media anual menor pero cercana a los 25°C, con temperaturas máximas de 38°C, mínimas de 13°C y humedad relativa superior

¹⁵ El cruce de la cordillera de los Andes por territorio ecuatoriano divide al país en tres regiones naturales: región Litoral o Costa, región Interandina o Sierra y región Oriental o Amazonía, cada una con flora, fauna, grupos étnicos, orografía y climas definidos. Fuera del continente, el Ecuador posee dos regiones adicionales: región Insular o Galápagos y territorio Antártico ecuatoriano.

al 80%. Posee un invierno lluvioso y verano relativamente seco. Se localiza en las regiones que comienza la faja costera al noroeste hasta Bahía de Caráquez (provincia de Manabí) y se extiende hacia el sur cerca del límite con Perú, en donde se estrecha acercándose al mar.

- Clima tropical de la sabana: se distingue por los veranos secos, los meses lluviosos son de enero a mayo, con precipitaciones inferiores a 1000 mm. Las temperaturas máximas absolutas varían de los 32°C a 36°C y las mínimas de 13°C a 18°C. La humedad relativa fluctúa entre el 70% y 80%. Este clima se localiza principalmente en las provincias de Manabí, Guayas, El Oro y Loja.
 - Clima tropical seco: este clima corresponde a las regiones donde la corriente de Humboldt actúa directamente: sobre la península de Santa Elena, la parte sur de la isla Puná y las partes bajas de las islas Galápagos. Estas condiciones secas son originadas por los vientos fríos sur occidentales que acompañan a la corriente fría de Humboldt.
- Climas de la región Interandina: la altitud de la esta región varía desde los 500 m.s.n.m. hasta sobrepasar los 5000 m.s.n.m., encontrándose relacionados con la altura una serie de pisos climáticos que presentan diferentes condiciones meteorológicas.
 - Clima subtropical: se ubica entre los 500 y 2300 m.s.n.m. con una temperatura anual entre 18°C y 24°C y precipitaciones pluviométricas de 300 a 700 mm.
 - Clima templado interandino: se ubica entre los 2300 y 3000 m.s.n.m., la temperatura varía entre 10.5°C y 15°C. La lluvia sobrepasa los 1000 mm en las zonas que se encuentran

contiguas a las estribaciones de la cordillera; sin embargo en los valles de la región interandina las temperaturas son irregulares, fluctuando entre 12°C y 15°C, encontrándose mínimas absolutas bajo 0°C y la lluvia no alcanza los 1000 mm.

- Clima frío: corresponde a una altura sobre los 3000 m.s.n.m. manteniendo una temperatura inferior a 10°C con precipitaciones superiores a 800 mm. La nubosidad es casi permanente.
 - Clima gélido: este clima se encuentra sobre los 4500 m.s.n.m. en donde la temperatura disminuye bajo 0°C; es característico de las cumbres nevadas.
-
- Clima de la región Amazónica: este clima se clasifica como clima tropical húmedo, en el que predominan fuertes lluvias y calor constante todo el año. En términos generales se considera cálido y húmedo, con valores medios de temperatura de 23°C a 26°C, no existiendo estación seca, diferenciándose dos regiones: una cercana a las estribaciones de los Andes, donde la vegetación es abundante y existe gran humedad y altas precipitaciones (5000 mm anuales), y otra prácticamente en la planicie amazónica, donde las temperaturas aumentan pero las lluvias disminuyen a 3000 mm anuales.
 - Clima de la región Insular: en el archipiélago, la altura de las islas afecta al clima, encontrándose pisos similares a los de la región andina, pero relacionado con variaciones mínimas de altura, así se localizan: desde las playas hasta una altura de 250 m.s.n.m. una temperatura media de 22°C a 25°C, posteriormente de 250 a 450 m.s.n.m. una temperatura media de 17°C , con mayor humedad debido a las garúas y lluvias de invierno y con aspecto similar a las mesetas interandinas de 3000 m.s.n.m., por último, por sobre los 450 m.s.n.m. se encuentra una faja

que recuerda a los páramos andinos. En general los meses lluviosos corresponden a febrero, marzo y abril.

La diversidad climática del país exige una zonificación estricta, que considere la influencia de los principales factores involucrados y por sobre todo represente de manera simple los campos de aplicación del reglamento, facilitando su implementación y optimizando sus beneficios.

3.3.2 Determinación de las zonas higrotérmico – habitacionales del Ecuador

Para este propósito se empleó la secuencia metodológica correspondiente a la Figura 3-1, la cual se resume en tres etapas: manejo de base de datos, definición de zonas térmicas y corrección por factores.

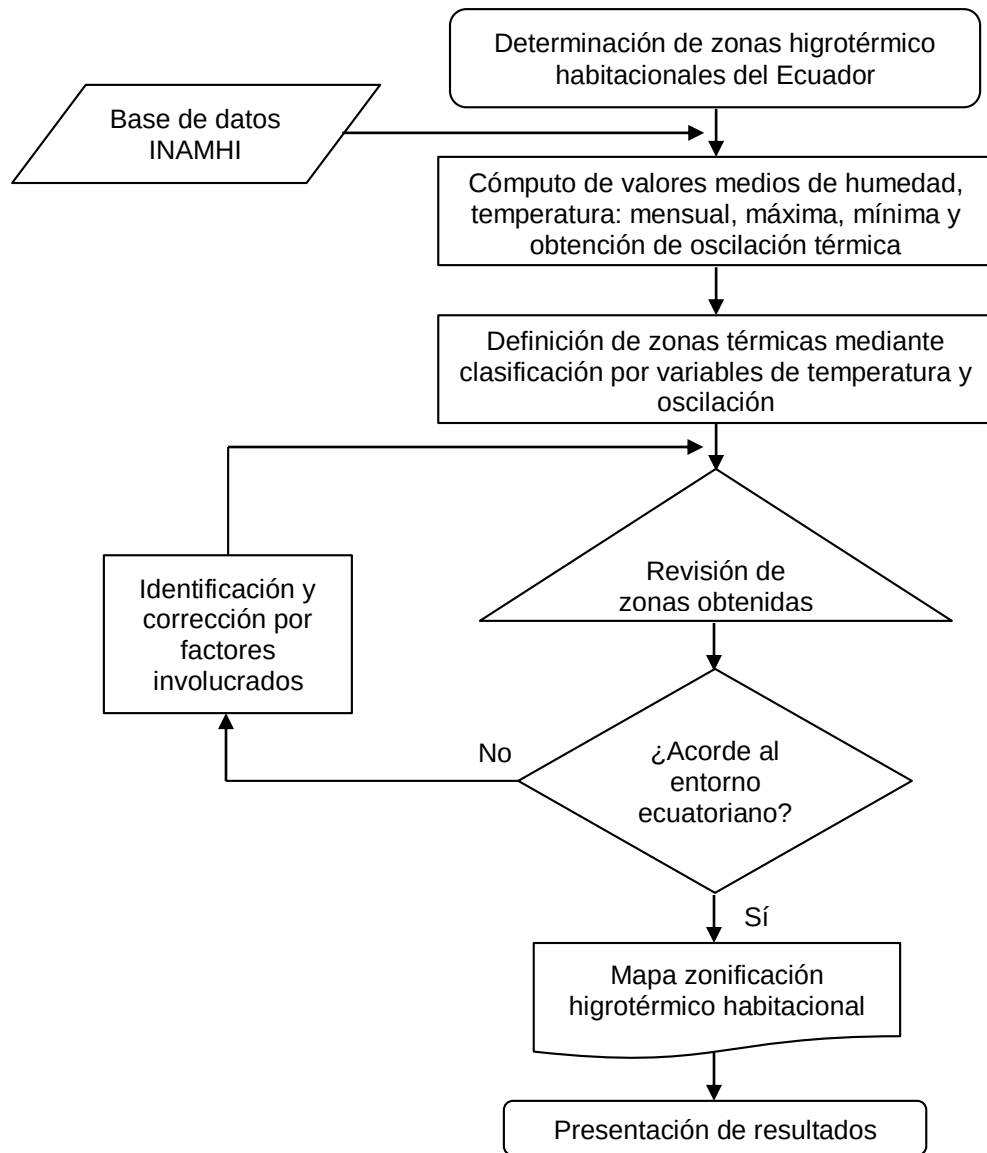
3.3.2.1 Manejo de base de datos

Con información de 205 estaciones meteorológicas, activas e históricas, publicadas en los anuarios meteorológicos del INAMHI desde 1990 al 2010, se obtuvieron los valores medios de humedad relativa y temperatura: mensual, máxima y mínima, consiguiendo de la diferencia de estas dos últimas el valor de la oscilación térmica mensual.

En cada estación, para las 5 variables señaladas, se realizó la media aritmética para los 12 meses de los 21 años de registro, generando un cuadro resumen donde se muestran los valores promedio mensuales y globales obtenidos¹⁶ (Tabla 3-1). Los resultados globales de temperatura media mensual y oscilación térmica fueron utilizados en el proceso de zonificación.

¹⁶ Cabe indicar que no todas las estaciones meteorológicas tuvieron sus registros completos, sin embargo no se excluyeron del cálculo ya que se omitiría información histórica relevante.

Figura 3-1 Flujograma de zonificación higrotérmico habitacional



Elaboración propia.

Tabla 3-1 Ejemplo de cuadro resumen – Estación M001: Inguincho

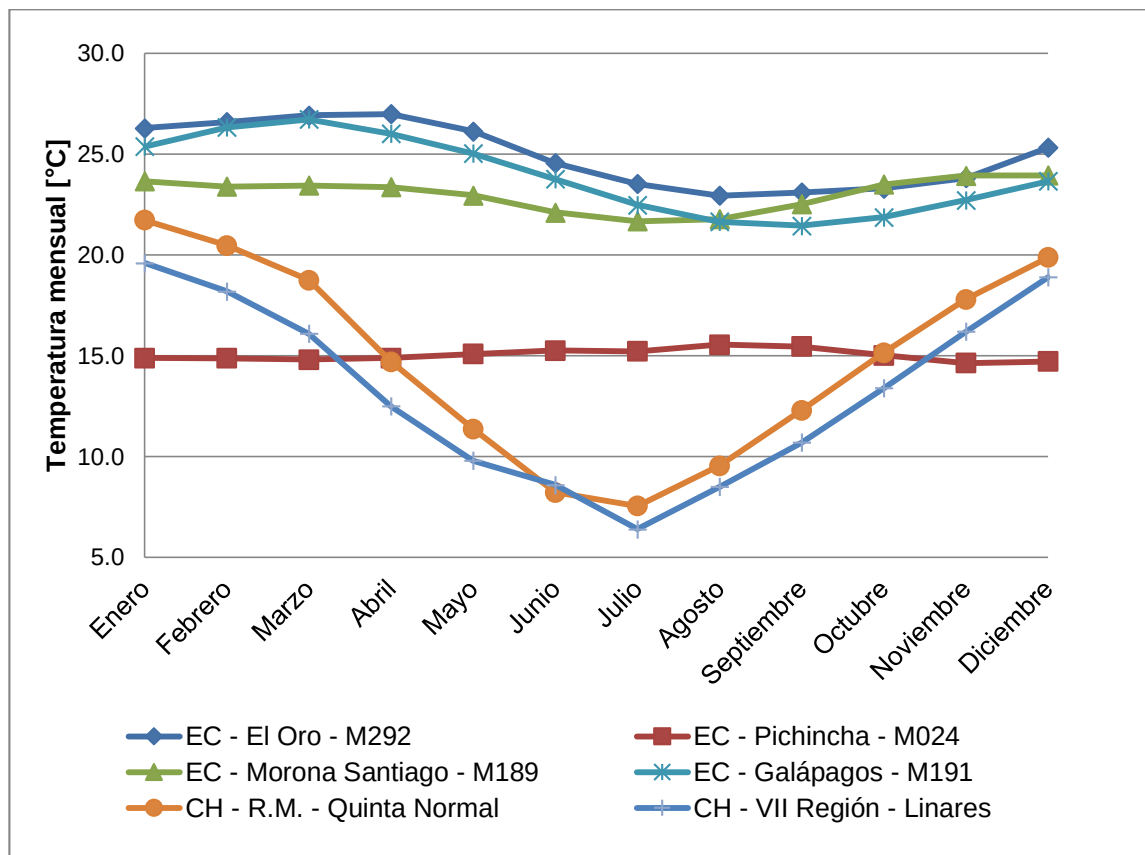
1990 – 2010					
MES	TEMPERATURA MEDIA [°C]				HR [%]
	Mensual	Máxima	Mínima	Oscilación	
Enero	10.4	15.6	6.1	9.5	89
Febrero	10.4	15.6	6.2	9.4	89
Marzo	10.5	15.6	6.4	9.2	89
Abril	10.6	15.7	6.6	9.0	90
Mayo	10.7	15.8	6.4	9.4	89
Junio	10.3	15.2	6.2	9.1	88
Julio	10.0	15.3	5.6	9.7	87
Agosto	10.1	15.6	5.3	10.3	85
Septiembre	10.4	16.0	5.5	10.5	85
Octubre	10.6	16.3	5.9	10.4	87
Noviembre	10.5	15.9	6.2	9.7	89
Diciembre	10.5	15.7	6.3	9.4	90
PROMEDIO	10.4	15.7	6.1	9.6	88

Elaboración propia en base a Anuarios meteorológicos del INAMHI, 1990 a 2010.

Al igual que las temperaturas mensuales promedio de la Tabla 3-1, el resto de estaciones del país no muestran variación térmica significativa durante el año, más aún si las comparamos con registros meteorológicos de estaciones chilenas¹⁷ como muestra la Figura 3-2:

¹⁷ Para esta comparación se emplearon 6 estaciones meteorológicas de alta oscilación térmica: 4 estaciones ecuatorianas, una por cada región natural del país exceptuando la del territorio Antártico, y 2 estaciones chilenas con variaciones de temperatura entre las más altas registradas.

Figura 3-2 Variación térmica anual promedio: contraste entre Ecuador y Chile



Fuente: Datos Chile (2008 a 2011): Baeza, 2012; datos Ecuador (1990 a 2010).

Elaboración propia.

Este escenario presenta ventajas para el Ecuador ya que a diferencia de Chile, cuyo reglamento térmico fue desarrollado para invierno, el efecto de la reglamentación ecuatoriana será constante al no existir mayor diferencia estacional por temperatura sino por intensidad de precipitación, es decir, el reglamento no perderá eficiencia durante el año.

3.3.2.2 Definición de zonas térmicas

Con los resultados globales de temperatura media mensual y oscilación térmica de cada estación se procedió a zonificar empleando el siguiente criterio:

Tabla 3-2 Criterio de clasificación térmica

CLASIFICACIÓN			
CLASE	T. Media	TIPO	Oscilación
A	$T \leq 14$	1	$T \leq 5$
B	$14 < T \leq 18$	2	$5 < T \leq 10$
C	$18 < T \leq 22$	3	$10 < T \leq 15$
D	$22 < T \leq 25$	4	$T > 15$
E	$T > 25$		

Elaboración propia.

Los rangos de temperatura y oscilación se adoptaron en función de los valores máximos y mínimos promedio registrados del total de estaciones. Para el caso de temperatura además se tomó como referencia los rangos de sensación térmica y temperatura efectiva (TE) detallados a continuación:

Tabla 3-3 Escalas de sensaciones térmicas asociadas a temperatura efectiva

Rangos de TE	Sensación térmica
>30	Calor pesado
24 a 30	Calor moderado
18 a 24	Calor placentero
12 a 18	Placentero
6 a 12	Fresco
0 a 6	Muy fresco
-6 a 0	Frío ligero
-12 a -6	Frío
-18 a -12	Muy frío
-24 a -18	Frío intenso
< -24	Peligro de congelación

Fuente: Hentschel, 1986 referido en Cervantes y Barradas, 2010.

Se generaron en total 20 combinaciones de las cuales se excluyeron aquellas con nula o ínfima incidencia en relación al grupo, resultando así 10 zonas térmicas en esta primera etapa.

Tabla 3-4 Zonas térmicas calculadas

ZONAS TÉRMICAS				
ZONA	GRUPO	RANGOS TEMPERATURA [°C]		COLOR
		T. Media	Oscilación	
1	E 3	$T > 25$	$10 < T \leq 15$	
2	E 2	$T > 25$	$5 < T \leq 10$	
3	D 3	$22 < T \leq 25$	$10 < T \leq 15$	
4	D 2	$22 < T \leq 25$	$5 < T \leq 10$	
5	C 3	$18 < T \leq 22$	$10 < T \leq 15$	
6	C 2	$18 < T \leq 22$	$5 < T \leq 10$	
7	B 3	$14 < T \leq 18$	$10 < T \leq 15$	
8	B 2	$14 < T \leq 18$	$5 < T \leq 10$	
9	A 3	$T \leq 14$	$10 < T \leq 15$	
10	A 2	$T \leq 14$	$5 < T \leq 10$	

Elaboración propia.

3.3.2.3 Corrección por factores

La gran variedad de zonas térmicas obtenidas se torna impráctica debido a que no involucra factores que permitan optimizar su clasificación. Entre estos se encuentran población y altitud, que junto con humedad y relación grados día, ajustan los resultados al entorno ecuatoriano y a su vez incrementan el potencial de la reglamentación.

3.3.2.3.1 Análisis habitacional

El análisis habitacional relaciona la zonificación térmica con el factor población, el cual pondera las zonas con mayor representatividad demográfica por sobre aquellas de similar rango térmico, unificándolas y permitiendo de esta forma homogeneizar la clasificación. Este análisis se realizó a nivel cantonal pues permite, en caso de conflicto, discriminar zonas térmicas a nivel de parroquias.

Para este proceso fue necesario revisar previamente aquellas estaciones cuyos valores se encontraban en o cercanos al límite entre grupos térmicos y corregirlos según el patrón climático de la zona, teniendo como referencia el mapa de isotermas 2010 elaborado por el INAMHI. Posteriormente, en aquellos cantones donde existía más de una zona térmica (o higríca como se verá más adelante), se procedió a discriminar por parroquias, y en última instancia, cuando esto no era factible, se adoptó la zona de la parroquia con mayor representatividad poblacional del cantón. Este proceso permitió conservar el total de habitantes de las zonas, sin restar relevancia a aquellas con minoría a nivel cantonal, que en conjunto, pudieron alterar la precisión del análisis.

Finalmente, a cada estación se le asignó el número de habitantes¹⁸ correspondiente a su cantón o parroquia, con lo cual se establecieron los totales para las 10 zonas térmicas calculadas.

Los resultados se presentan en la Tabla 3-5, donde, posterior al análisis, se definen 4 zonas térmicas correspondientes a aquellas con mayor representatividad poblacional. Su distribución a nivel cantonal se ilustra en la Figura 3-3.

¹⁸ Obtenida del Censo de población y vivienda realizado por el INEC en 2010.

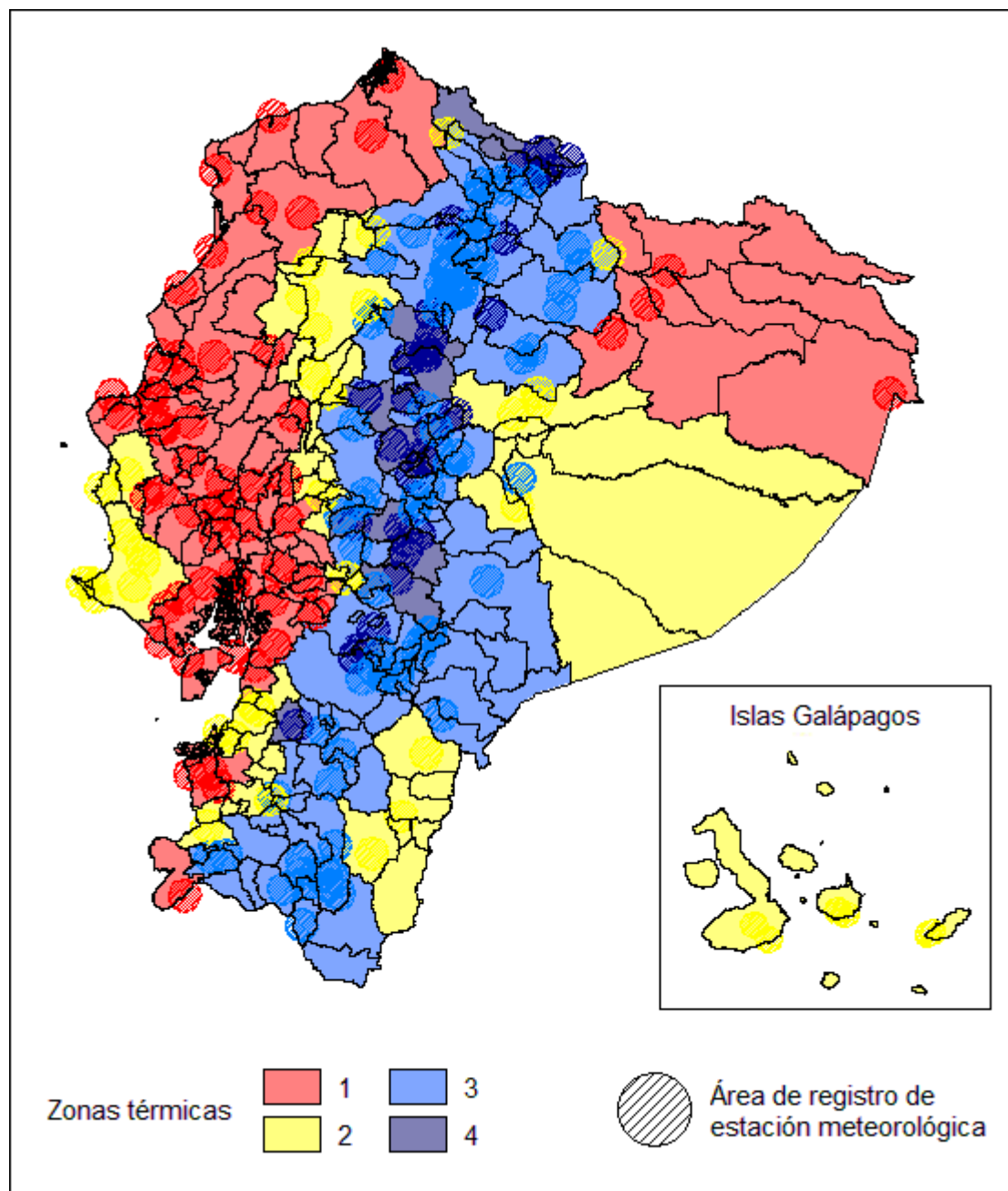
Tabla 3-5 Corrección de zonas térmicas por análisis habitacional

ZONA	RANGOS TEMP. [°C]		COLOR	POBLACIÓN	ZONA TÉRMICA	POBLACIÓN REAGRUPADA
	T. Media	Oscilación				
1	T>25	10 < T ≤ 15		525598	1	4955830
2	T>25	5 < T ≤ 10		4430232	1	
3	22 < T ≤ 25	10 < T ≤ 15		271329	2	1697821
4	22 < T ≤ 25	5 < T ≤ 10		1426492	2	
5	18 < T ≤ 22	10 < T ≤ 15		187325	3	3917156
6	18 < T ≤ 22	5 < T ≤ 10		158422	3	
7	14 < T ≤ 18	10 < T ≤ 15		3518781	3	
8	14 < T ≤ 18	5 < T ≤ 10		52628	3	
9	T≤14	10 < T ≤ 15		311454	4	764634
10	T≤14	5 < T ≤ 10		453180	4	
ALCANCE DE LA POBLACIÓN NACIONAL						11335441
POBLACIÓN NACIONAL						14451115
PORCENTAJE POBLACIÓN CONSIDERADA DENTRO DEL CÁLCULO						78%

Elaboración propia.

La Figura 3-3 muestra las 4 zonas térmicas resultantes del análisis habitacional presentadas a nivel de cantones. En esta se pueden apreciar áreas de registro con diferente zona térmica a la adoptada en el cantón que corresponden a topoclimas, los cuales, debido a la variedad de factores geográficos y climáticos, son comunes en el país y por lo tanto resulta relevante considerarlos. Se adoptaron estas zonas a nivel parroquial, sin embargo para determinar su alcance fue necesario aplicar el factor altura.

Figura 3-3 Zonificación térmica del Ecuador mediante análisis habitacional



Elaboración propia

3.3.2.3.2 Análisis por altura

La temperatura guarda estrecha relación con la altura; de acuerdo a Correa (s.f.) esta varía 1 °C por cada 200 m. Este dato junto a información climatológica descrita en 3.3.1 permitieron establecer los rangos de altura preliminares en los que se encuentran las 4 zonas térmicas.

Tabla 3-6 Determinación de rangos de altura para zonas térmicas

ALTURA [m.s.n.m.]	T MEDIA [°C]	ZONA TÉRMICA	Variación de 1 °C por cada 200 m (Correa, s.f.) OBSERVACIONES INOCAR (2012)
300	25	1	Temperaturas mayores a 25°C. HR de 80 a 85%
500	24	2	Clima subtropical: entre 500 y 2300 m.s.n.m.; temperaturas entre 18°C y 24°C.
700	23	2	
900	22	2	
1100	21	3	
1300	20	3	
1500	19	3	
1700	18	3	
1900	17	3	
2100	16	3	
2300	15	3	
2500	14	3	Clima templado interandino: entre 2300 y 3000 m.s.n.m.; temperaturas entre 10.5°C y 15°C y de 12 a 15°C en valles interandinos.
2700	13	4	
2900	12	4	
3100	11	4	
3300	10	4	Clima frío: sobre 3000 m.s.n.m.; temperaturas inferiores a 10°C.
3500	9	4	
3700	8	4	
3900	7	4	
4100	6	4	
4300	5	4	
4500	4	4	
4700	3	4	Clima gélido: sobre los 4500 m.s.n.m.; temperaturas bajo 0°C.
4900	2	4	
5100	1	4	

Elaboración propia.

Con la elevación de las estaciones meteorológicas y mediante iteraciones que generen la menor cantidad de topoclimas se obtuvieron los rangos finales de altura que se presentan a continuación:

Tabla 3-7 Criterio de análisis por altura

CLASIFICACIÓN	
ZONA	ALTURA (H) [m.s.n.m.]
1	$H \leq 300$
2	$300 < H \leq 900$
3	$900 < H \leq 2900$
4	$H > 2900$

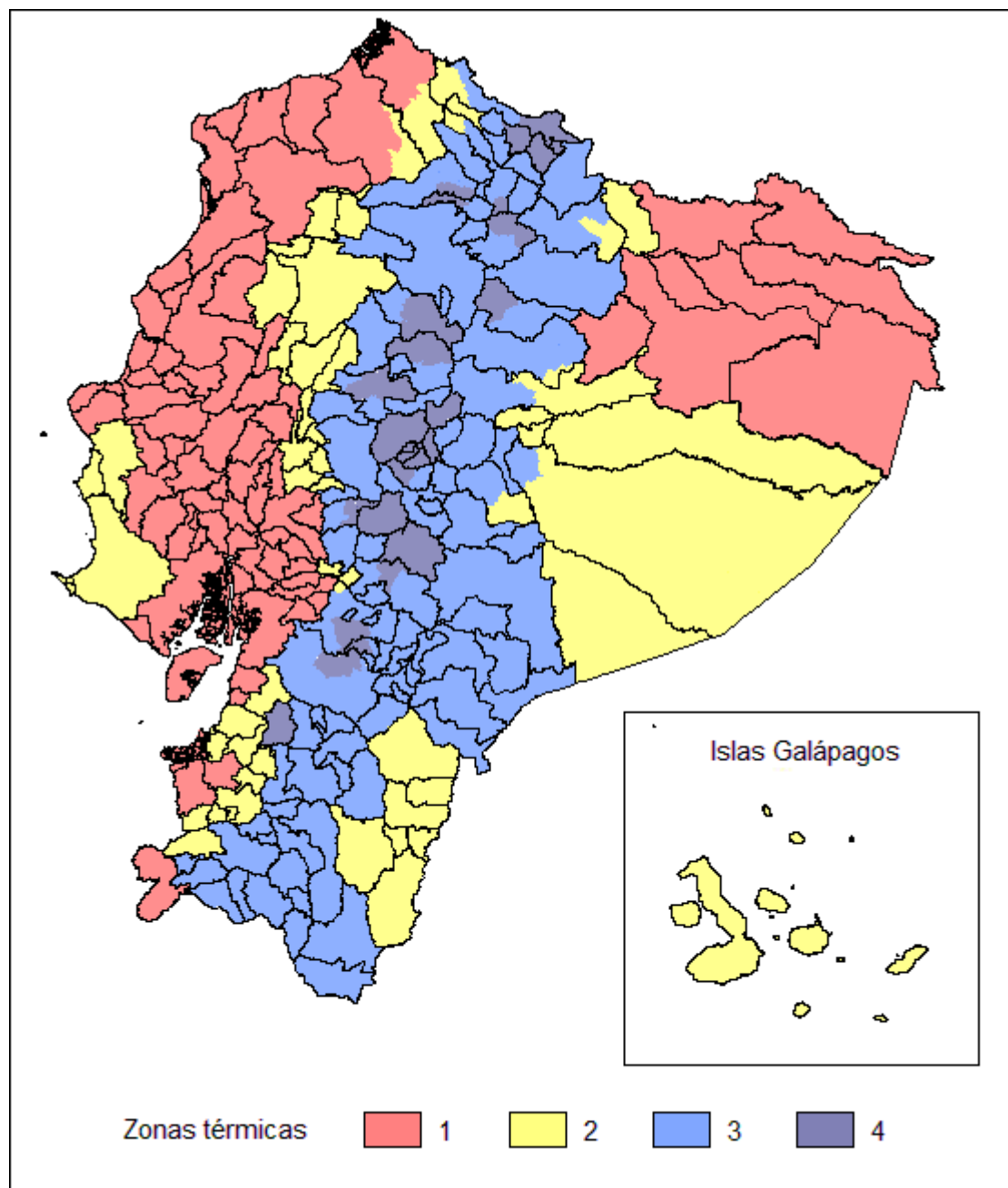
Elaboración propia

Posteriormente se realizaron curvas de nivel para estos rangos apoyándose en información topográfica del Instituto Geográfico Militar del Ecuador – IGM. A partir de estas se definió el alcance de los topoclimas existentes contrastando los límites topográficos de su zona térmica con el área de registro de la estación meteorológica y con el mapa de isotermas 2010 del INAMHI.

Este proceso permitió depurar la zonificación consecuente del análisis habitacional y obtener una nueva ajustada al entorno climático del Ecuador.

El resultado se presenta en la Figura 3-4 y es la base para las condiciones complementarias de humedad y relación grados día.

Figura 3-4 Zonificación térmico habitacional mediante análisis por altura



3.3.2.3.3 Condición de humedad

La presencia de humedad en viviendas genera problemas del tipo biológico, constructivo, económico, de salud, de confort, entre otros. En el marco de estudio, el contenido de humedad modifica el comportamiento térmico de los materiales de la envolvente reduciendo la capacidad aislante debido al incremento de sus valores de conductividad térmica (Veas, 2003). No considerar tal efecto conlleva a generar una reglamentación ineficiente.

Ante este escenario se desarrolló la zonificación higríca como complemento al carácter térmico de la presente propuesta. Para esto se empleó la metodología descrita en la definición de zonas térmicas, en base a los registros de humedad relativa y bajo el siguiente criterio, concebido de acuerdo a información meteorológica detallada en 3.3.1:

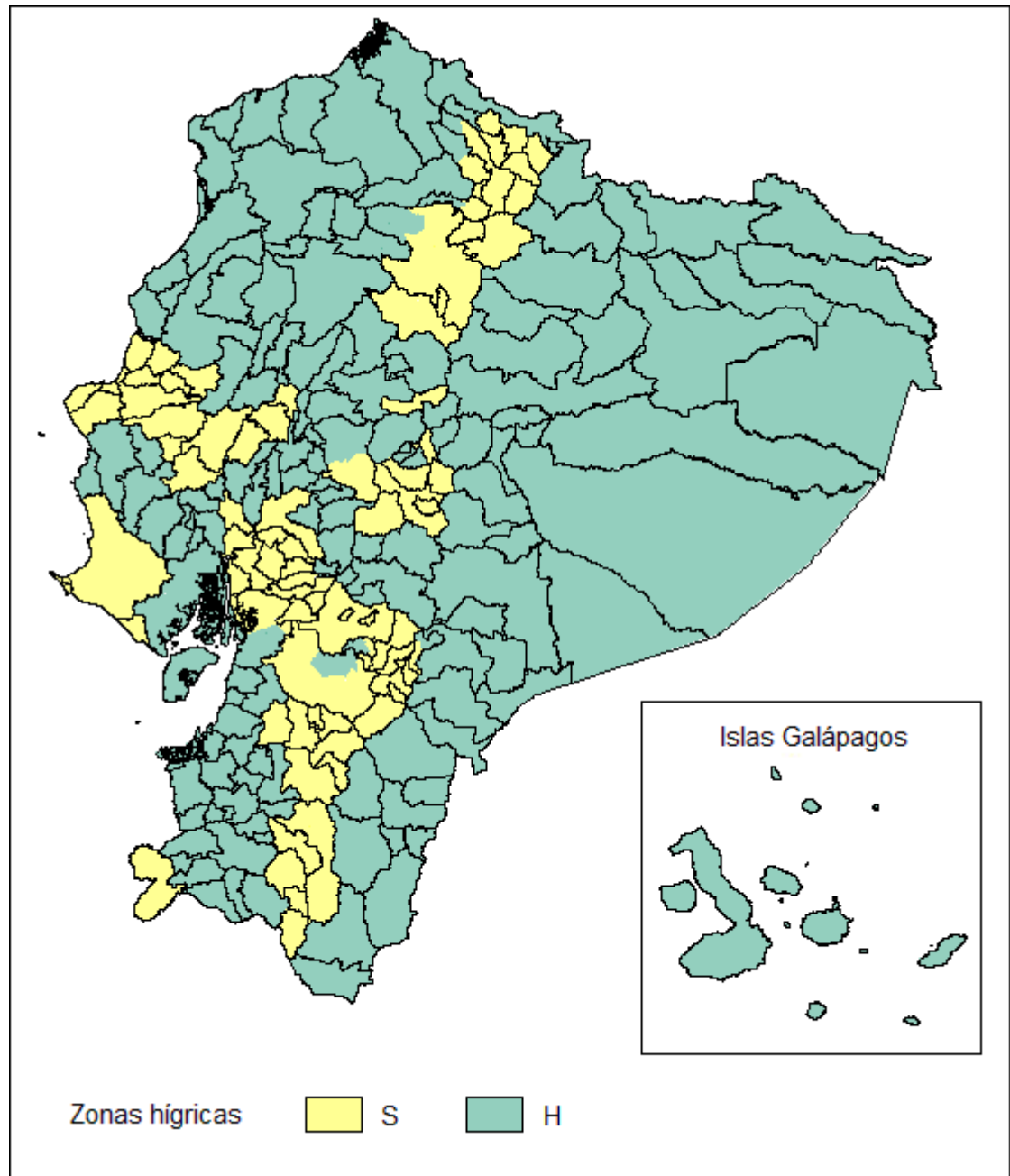
Tabla 3-8 Criterio de clasificación higríca

CLASIFICACIÓN		
CLASE	HR [%]	COLOR
A	$HR \leq 75$	
B	$75 < HR \leq 85$	
C	$85 < HR \leq 95$	
D	$HR > 95$	

Elaboración propia.

El análisis habitacional fue requerido para optimizar la clasificación obteniéndose como resultado 2 clases higrícas: seca (S) y húmeda (H), ilustradas en la Figura 3-5 y detalladas en la Tabla 3-9. El análisis por altura no fue factible aplicar ya que la variación de humedad no depende directamente de la altura sino que se encuentra condicionada por otros factores.

Figura 3-5 Zonificación hídrica



Elaboración propia.

Tabla 3-9 Corrección de zonas hígricas por análisis habitacional

CLASIFICACIÓN			ANÁLISIS HABITACIONAL		
CLASE	HR [%]	COLOR	POBLACIÓN	CLASE	P. REAGRUPADA
A	HR ≤ 75		2,092,218	S	
B	75 < HR ≤ 85		3,052,501	S	5,144,719
C	85 < HR ≤ 95		5,890,171	H	5,905,576
D	HR > 95		15,405	H	
ALCANCE DE LA POBLACIÓN NACIONAL					11,050,295
POBLACIÓN NACIONAL					14,451,115
PORCENTAJE POBLACIÓN CONSIDERADA DENTRO DEL CÁLCULO					76%

Elaboración propia.

La combinación de resultados de las zonificaciones térmica e hígrica son la base del estudio sobre comportamiento térmico en viviendas; sin embargo, el comportamiento energético referido la demanda de energía para alcanzar el confort habitacional se presenta de mejor manera en la relación grados día.

3.3.2.3.4 Relación grados día

Fuentes (2011) refiere a los grados día como el déficit o superávit de temperatura acumulado en un año, denominándolos de calentamiento y enfriamiento respectivamente. Señala además que es un parámetro relevante en la determinación de los requerimientos de calefacción o refrigeración necesarios para alcanzar la zona de confort y por lo tanto la demanda de energía de una edificación¹⁹. Para su cálculo cita la siguiente fórmula:

¹⁹ A diferencia de Chile, cuya zonificación es en grados día de calefacción, en este estudio no se lo utilizó como base ya que los grados día emplean únicamente la temperatura media, sin reflejar la oscilación entre máximas y mínimas y el potencial de aprovechar la inercia térmica en edificaciones. Además no se disponen de registros horarios de temperatura que pudiesen suplir la falencia descrita anteriormente.

$$GD = \sum_{1}^{365} (T - T_{base})$$

donde:

GD Grados día [°C]

T Temperatura media diaria [°C]

T_{base} Temperatura base (límite de referencia, inferior o superior de confort) [°C]

El carácter de calefacción o refrigeración lo determina el signo del resultado, siendo de calefacción cuando este sea negativo, es decir, cuando la temperatura media diaria sea menor a la base, y de enfriamiento cuando ocurra lo contrario.

Los valores de temperatura base se pueden obtener por ecuaciones; sin embargo, a criterio propio, el cálculo de una temperatura exacta que represente el límite de confort específico en zona es impráctico y subjetivo ya que los factores que influyen en esta son tan variados y variables que su cuantificación difícilmente representa la realidad. Para este estudio, las temperaturas base de calefacción y refrigeración son 18°C y 26°C respectivamente, adoptadas según los límites de confort sugeridos por Givoni (1992, citado en Atem, 2012).²⁰

Bajo este criterio se procedió a realizar el cálculo de grados día empleando registros de temperatura media diaria entre los años 1990 y 2010 de 8

²⁰ Givoni (1992) sugiere como límites de confort 18°C y 29°C para países en desarrollo y de clima cálido; no obstante se redujo el límite superior a 26°C ya que las condiciones climáticas del Ecuador facilitan alcanzar la zona de confort higrotérmico establecido para países desarrollados.

estaciones meteorológicas: 2 con mayor representatividad poblacional en cada una de las 4 zonas térmicas. Los resultados se presentan a continuación:

Tabla 3-10 Especificación de grados día por zona térmica

ZONA TÉRMICA	GRADOS DÍA [°C]	
	Tipo	Valor
1	Refrigeración	250
2	Refrigeración	125
3	Calefacción	1000
4	Calefacción	3200

Elaboración propia.

3.3.3 Presentación de resultados

La zonificación higrotérmico habitacional se resume en 4 zonas descritas a continuación y distribuidas a nivel nacional según la tabla del Anexo 2.

Zona térmica 1

Ubicada mayormente en las regiones litoral y amazónica del Ecuador. Comprende a las zonas con temperaturas mayores a los 25°C y con oscilaciones del orden de 5°C a 10°C. Se encuentra comúnmente en alturas menores a los 300 m.s.n.m. Posee dos clases hígricas siendo la húmeda la predominante. Su alcance poblacional es del 44% a nivel nacional. A esta zona pertenecen provincias como Guayas, Manabí, Orellana.

Zona térmica 2

Localizada principalmente en los bordes de la cordillera de los Andes y en la región insular. Comprende a las zonas con temperaturas entre 22°C y 25°C y oscilaciones del orden de 5°C a 10°C. Se encuentra generalmente entre los 300 y 900 m.s.n.m. Posee dos clases hígricas siendo la húmeda la predominante. Su alcance poblacional es del 14% a nivel nacional. A esta zona pertenecen provincias como Galápagos, Santa Elena, Santo Domingo de los Tsáchilas.

Zona térmica 3

Ubicada generalmente en la región interandina del Ecuador. Comprende a las zonas con temperaturas entre 14°C y 22°C y oscilaciones del orden de 10°C a 15°C. Se encuentra comúnmente entre los 900 y 2900 m.s.n.m. Posee dos clases hígricas siendo la seca la predominante. Su alcance poblacional es del 35% a nivel nacional. A esta zona pertenecen provincias como Pichincha, Azuay, Imbabura.

Zona térmica 4

Ubicada en la región interandina del Ecuador. Comprende a las zonas con temperaturas menores a los 14°C y con oscilaciones del orden de 5°C a 10°C. Se encuentra generalmente en alturas mayores a los 2900 m.s.n.m. Posee dos clases hígricas siendo la húmeda la predominante. Su alcance poblacional es del 7% a nivel nacional. A esta zona pertenecen provincias como Tungurahua, Cotopaxi, Chimborazo.

La representación gráfica de la zonificación se encuentra en el Anexo 1 del presente estudio.

3.4 Caracterización constructiva

Establecer y caracterizar las construcciones residenciales predominantes en el Ecuador constituye la base para definir las exigencias de acondicionamiento térmico ya que representan las condiciones físicas sobre las cuales se evalúan y proponen los valores restrictivos de transmitancia para elementos de envolvente.

Este procedimiento contempla dos etapas: 1) la determinación de soluciones constructivas predominantes, donde se establecen los parámetros que mejor representan la edificación residencial tanto en materialidad de sus elementos estructurales y de envolvente como en criterios de superficie y número de pisos; y 2) la determinación de tipologías de edificaciones con destino habitacional, donde se definen las viviendas características que se construyen en el país y que sirven de modelo para el análisis de comportamiento térmico.

3.4.1 Determinación de soluciones constructivas predominantes

Para este propósito se utilizó la base de datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC de los permisos de construcción comprendidos entre los años 1991 a 2011, concedidos por municipios del Ecuador. En base a esta información se obtuvieron los parámetros de superficie y tipo de vivienda, que junto a los criterios: tipo de obra, código residencial, número de viviendas, estructura predominante, pared predominante, cubierta predominante y número de pisos, se emplearon en la categorización y determinación de las tipologías de vivienda. En este proceso se trabajó únicamente con aquellos permisos correspondientes a nuevas construcciones del tipo residencial.

Posterior al manejo de la base de datos se establecieron los siguientes códigos y rangos de clasificación:

Tabla 3-11 Códigos de clasificación por tipos de estructura

Estructura	Código
Hormigón armado	E-HA
Metálica	E-S
Madera	E-M
Otros	E-O

Elaboración propia.

Tabla 3-12 Códigos de clasificación por tipos de muro

Pared o muros	Código
Ladrillo	M-L
Bloque	M-B
Madera	M-M
Adobe o tapia	M-AT
Caña revestida	M-C
Prefabricadas	M-P
Otras	M-O

Elaboración propia.

Tabla 3-13 Códigos de clasificación por tipos de cubierta

Cubierta	Código
Hormigón armado	C-HA
Eternit - ardex - asbesto	C-EAA
Teja	C-T
Zinc	C-Z
Otros	C-O

Elaboración propia.

Tabla 3-14 Rangos y códigos de clasificación por superficie

Superficie	Código
$S \leq 50$	≤ 50
$50 < S \leq 100$	50-100
$100 < S \leq 150$	100-150
$150 < S \leq 200$	150-200
$S > 200$	> 200

Elaboración propia.

Tabla 3-15 Rangos y códigos de clasificación por número de pisos

Pisos	Código
1	1P
2	2P
3	3P
4 - 5	4-5P
5 - 10	5-10P
10 - 15	10-15P
15 - 20	15-20P
> 20	$> 20P$

Elaboración propia.

A partir de los criterios: tipo de vivienda (casa o departamento), estructura, superficie y número de pisos, se procedió a clasificar los permisos de construcción, agrupando y seleccionando aquellos con mayor número de viviendas. En cada criterio se priorizaron los elementos de mayor tendencia, obtenidos mediante análisis gráfico del total de permisos, detallados a continuación:

Tabla 3-16 Elementos de mayor tendencia en soluciones constructivas

Parámetro	Elementos	Código
Muros	1. Bloque	M-B
	2. Ladrillo	M-L
Cubierta	1. Hormigón armado	C-HA
	2. Eternit – ardex - asbesto	C-EAA
Superficie	1. 50 a 100 m ²	50-100
	2. 100 a 150 m ²	100-150
	3. Menos de 50 m ²	≤50
Número de pisos	1. 2 pisos	2P
	2. 1 piso	1P
	3. 3 pisos	3P

Elaboración propia.

Del análisis y clasificación se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3-17 Análisis de edificaciones nuevas de tipo residencial (1991 a 2011)

Tipo de vivienda	Número de viviendas		Permisos de edificación	
	Número	Porcentaje	Número	Porcentaje
Casa	327041	60.63%	226784	79.52%
Departamento	212400	39.37%	58396	20.48%
Total	539441	100%	285180	100%

Elaboración propia.

Tabla 3-18 Soluciones constructivas predominantes (1991 – 2011)

N°	Soluciones constructivas de vivienda	N° Viviendas	% Viviendas	N° Permisos
1	Casa E-HA 50-100 2P	76,495	14.18%	55,542
2	Casa E-HA 50-100 1P	61,530	11.41%	53,757
3	Casa E-HA ≤50 1P	46,221	8.57%	29,909
4	Casa E-HA ≤50 2P	42,394	7.86%	11,933
5	Casa E-HA 100-150 1P	26,466	4.91%	24,112
6	Casa E-HA 100-150 2P	22,807	4.23%	20,568
7	Departamento E-HA 100-150 2P	33,836	6.27%	15,066
8	Departamento E-HA 100-150 3P	19,573	3.63%	6,273
9	Departamento E-HA 50-100 2P	19,390	3.59%	8,002
10	Departamento E-HA 50-100 3P	15,608	2.89%	4,481
11	Departamento E-HA 150-200 2P	14,184	2.63%	6,569
12	Departamento E-HA 100-150 4-5P	10,630	1.97%	1,713
13	Departamento E-HA 50-100 4-5P	9,297	1.72%	1,296
Total de viviendas en soluciones predominantes		398,431	73.86%	239,221
Total de viviendas nuevas residenciales		539,441	100%	285,180

Elaboración propia.

Son 13 las soluciones constructivas de vivienda que representan el parque habitacional ecuatoriano, en el que predomina la residencia de hormigón armado, con superficies entre 50 y 150 m², de 1 a 3 pisos. En base a estas soluciones se definieron las tipologías de vivienda, considerando la materialidad de muros y cubierta como parámetros determinantes de clasificación.

3.4.2 Determinación de tipologías de edificaciones con destino habitacional

Al grupo de soluciones constructivas se incorporan los parámetros de muros y cubierta, generando de esta forma combinaciones o tipologías de vivienda. Posteriormente, en cada una se analiza la materialidad de ambas variables

según la Tabla 3-16, seleccionando aquellas de mayor tendencia, con mayor número de viviendas y que complementen al resto de tipologías, puesto que el objetivo es abarcar la mayor variedad de características para obtener resultados más reales en la simulación de comportamiento térmico.

Tras el proceso se obtienen 15 tipologías de vivienda, detalladas a continuación:

Tabla 3-19 Tipologías de edificaciones con destino habitacional

N°	TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA	DETALLE
1	Casa E-HA 50-100 2P M-B C-HA	Casa con estructura de hormigón armado, superficie en planta de 50 a 100 m ² , 2 pisos, muros de bloque y cubierta de hormigón armado.
2	Casa E-HA 50-100 2P M-L C-EAA	Casa con estructura de hormigón armado, superficie en planta de 50 a 100 m ² , 2 pisos, muros de ladrillo y cubierta de eternit-ardex-asbesto cemento.
3	Casa E-HA 50-100 1P M-B C-EAA	Casa con estructura de hormigón armado, superficie en planta de 50 a 100 m ² , 1 piso, muros de bloque y cubierta de eternit-ardex-asbesto cemento.
4	Casa E-HA 50-100 1P M-L C-HA	Casa con estructura de hormigón armado, superficie en planta de 50 a 100 m ² , 1 piso, muros de ladrillo y cubierta de hormigón armado.
5	Casa E-HA ≤50 1P M-B C-EAA	Casa con estructura de hormigón armado, superficie en planta hasta 50 m ² , 1 piso, muros de bloque y cubierta de eternit-ardex-asbesto cemento.
6	Casa E-HA ≤50 2P M-B C-HA	Casa con estructura de hormigón armado, superficie en planta hasta 50 m ² , 2 pisos, muros de bloque y cubierta de hormigón armado.
7	Casa E-HA 100-150 1P M-B C-HA	Casa con estructura de hormigón armado, superficie en planta de 100 a 150 m ² , 1 piso, muros de bloque y cubierta de hormigón armado.
8	Casa E-HA 100-150 2P M-L C-EAA	Casa con estructura de hormigón armado, superficie en planta de 100 a 150 m ² , 2 pisos, muros de ladrillo y cubierta de eternit-ardex-asbesto cemento.
9	Departamento E-HA 100-150 2P M-L C-HA	Edificación de departamentos con estructura de hormigón armado, 2 pisos, superficie de departamento entre 100 y 150 m ² , muros de ladrillo y cubierta de hormigón armado.

N°	TIPOLOGÍAS DE VIVIENDA	DETALLE
10	Departamento E-HA 100-150 3P M-B C-HA	Edificación de departamentos con estructura de hormigón armado, 3 pisos, superficie de departamento entre 100 y 150 m2, muros de bloque y cubierta de hormigón armado.
11	Departamento E-HA 50-100 2P M-L C-HA	Edificación de departamentos con estructura de hormigón armado, 2 pisos, superficie de departamento entre 50 y 100 m2, muros de ladrillo y cubierta de hormigón armado.
12	Departamento E-HA 50-100 3P M-B C-HA	Edificación de departamentos con estructura de hormigón armado, 3 pisos, superficie de departamento entre 50 y 100 m2, muros de bloque y cubierta de hormigón armado.
13	Departamento E-HA 150-200 2P M-B C-HA	Edificación de departamentos con estructura de hormigón armado, 2 pisos, superficie de departamento entre 150 y 200 m2, muros de bloque y cubierta de hormigón armado.
14	Departamento E-HA 100-150 4-5P M-B C-HA	Edificación de departamentos con estructura de hormigón armado, de 4 a 5 pisos, superficie de departamento entre 100 y 150 m2, muros de bloque y cubierta de hormigón armado.
15	Departamento E-HA 50-100 4-5P M-B C-HA	Edificación de departamentos con estructura de hormigón armado, de 4 a 5 pisos, superficie de departamento entre 50 y 100 m2, muros de bloque y cubierta de hormigón armado.

Elaboración propia.

3.5 Estado del arte del comportamiento térmico de edificaciones

Previo al estudio de este tema es necesario conocer el concepto de confort higrotérmico. Según Molina y Veas (2012, p.29): “El confort térmico es definido por la ASHRAE 55 y UNE-EN ISO 7730 como el “estado de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Se señala que este es alcanzado cuando el cuerpo está en balance térmico, es decir, cuando realizando cierta actividad, no se experimenta un estrés térmico para corregir la energía que produce el cuerpo internamente, manifestado a través de la transpiración excesiva o escalofríos. Otra variable importante se relaciona con la concentración de vapor de agua a la temperatura existente (humedad relativa),

variando la percepción que se tiene del ambiente térmico, ya sea mejorándola o empeorándola según el caso.”

En este contexto, el confort de una persona es resultado de la interacción tanto de factores ambientales como antropológicos, siendo el primero aquellos relacionados mayormente con la temperatura y humedad relativa, radiación solar, velocidad del viento; y el segundo relacionado con el estado físico de la persona, su indumentaria y demás parámetros inherentes a la actividad humana. En edificaciones, dicha interacción entre el exterior y el interior de un ambiente se desarrolla a través de mecanismos de transferencia de calor.

3.5.1 Mecanismos de transferencia de calor

Este concepto se resume a la transmisión de energía entre elementos o regiones de un mismo elemento a distinta temperatura, siempre desde uno de mayor temperatura a otro de menor. Este proceso se manifiesta a través de los mecanismos fundamentales de transmisión conocidos como convección, radiación, conducción, junto con el proceso de acumulación, los cuales son descritos detalladamente por Monroy²¹ (1995):

3.5.1.1 Conducción y acumulación

La conducción térmica se puede dar a través de elementos en contacto así como dentro de un mismo elemento. Según Monroy (1995): “la conducción es el modo de transferencia térmica en el que el calor se mueve desde una capa de temperatura elevada de un elemento a otra capa de inferior temperatura debido al contacto directo de las moléculas del material. La relación existente entre la

²¹ Se cambió la palabra “cerramiento” del texto original por “elemento” y “elementos de la envolvente” con motivo de adaptación a la terminología del presente estudio.

velocidad de transferencia térmica por conducción y la distribución de temperaturas en el elemento depende de las características geométricas y las propiedades de los materiales que lo constituyen, obedeciendo a la ley de Fourier:

$$Q = -\lambda \frac{\partial T}{\partial x} = \lambda * \Delta T$$

Donde:

- Q** flujo de calor por unidad de área [W/m²]
- λ** conductividad térmica [W/m*K]
- Δ** gradiente del campo de temperatura en el interior del material [K/m]

Cuando el elemento se encuentra en equilibrio termodinámico resulta que el flujo de calor y la temperatura en cada punto del mismo permanece constante, el proceso se denomina transmisión en régimen estacionario y el flujo de calor es función de la propiedad de los materiales denominada conductividad.

Cuando no existe el anterior equilibrio, ya sea porque el elemento no ha tenido tiempo para estabilizarse o debido a que las condiciones del entorno varían en el tiempo, el proceso se denomina transmisión en régimen transitorio, caracterizado porque la temperatura en cada punto del elemento varía en el tiempo. Una consecuencia de la variación de temperatura en el interior del elemento es la acumulación de calor debido a la propiedad de los materiales de absorber o disipar energía cuando varía su temperatura denominada calor específico.” (p.11).

3.5.1.2 Convección

“Cuando el aire²² de un ambiente se pone en contacto con la superficie de un elemento a una temperatura distinta, el proceso resultante de intercambio de calor se denomina transmisión de calor por convección.

En el caso que la fuerza motriz que mueve el aire proceda exclusivamente de la diferencia de densidad en el aire que resulta del contacto con la superficie a diferente temperatura y que da lugar a fuerzas ascensionales se producirá el proceso de transmisión denominado convección libre o natural.

Cuando exista una fuerza motriz exterior, como el viento, que mueva al aire sobre una superficie a diferente temperatura se producirá una convección forzada, que debido al incremento de la velocidad del aire se transmitirá una mayor cantidad de calor que en la convección libre para una determinada diferencia de temperatura. En el caso que se superpongan ambas fuerzas motrices, por ser de magnitudes semejantes, el proceso se denomina convección mixta. En cualquiera de los casos el fenómeno se puede evaluar mediante la Ley de Newton del enfriamiento.

$$Q = h * \Delta T$$

Donde:

- Q** flujo de calor convectivo [W/m²]
- h** coeficiente de convección de transferencia térmica [W/m²K]
- ΔT** Diferencia de temperatura relevante en la superficie expuesta al flujo [K]” (Monroy, 1995, p.11).

²² La transferencia de calor por convección se produce por medio del movimiento de un fluido, sea líquido o gaseoso. El aire es el común ejemplo que transferencia por convección.

3.5.1.3 Radiación

Según Monroy (1995, p.12): “Se denomina transmisión de calor por radiación cuando la superficie del elemento intercambia calor con el entorno mediante la absorción y emisión de energía por ondas electromagnéticas. Mientras que en la conducción y la convección era preciso la existencia de un medio material para transportar la energía, en la radiación el calor se transmite a través del vacío o atravesando un medio transparente como el aire.

Todas las superficies opacas emiten energía en forma de radiación en una magnitud proporcional a la cuarta potencia de su temperatura absoluta T y en un rango de longitudes de onda inversamente proporcional a su temperatura absoluta. Los elementos que constituyen la envolvente de una edificación emiten radiaciones de onda larga correspondiente al espectro infrarrojo lejano, procedente de sus superficies a temperaturas típicas del ambiente, en función de una propiedad superficial denominada emitancia y de forma simultánea absorben radiaciones similares emitidas por las superficies visibles de su entorno, en un proceso denominado irradiación.

$$Q_{\text{emitida}} = \varepsilon * \sigma * T^4$$

Donde

- Q** flujo de calor emitido [W/m^2]
- ε** emitancia (emisividad)
- σ** constante de Stefan – Boltzmann = $5.67 * 10^{-8}$ [$\text{W/m}^2\text{K}^4$]
- T** temperatura absoluta de la superficie [K]

En el ambiente también se puede considerar la presencia de radiaciones de onda corta, correspondiente al espectro de radiación visible e infrarrojo cercano, procedente de fuentes de elevada temperatura como el sol y el alumbrado artificial, para las cuales los elementos de envolvente se comportan solo como absorbentes en función de una propiedad superficial denominada absorptancia.

$$Q_{\text{absorbida}} = \alpha * Q_{\text{incidente}}$$

Donde

Q flujo de calor [W/m²]

α absorptancia (absorptividad o absorptancia)”

3.5.2 Comportamiento térmico de edificaciones

Los conceptos inherentes al comportamiento térmico de edificaciones se encuentran descritos por Renato D’Alençon en su libro Acondicionamientos. Arquitectura y técnica, transcritos en Encalada (2013, p.24)²³; estos son:

3.5.2.1 Transmisión de calor a través de la envolvente

“Si un muro u otro elemento están ubicados entre dos espacios con diferentes temperaturas, se produce una transferencia de calor desde la cara más caliente hacia la más fría. En el caso de la envolvente, que resuelve la diferencia de temperaturas entre un espacio interior acondicionado y un exterior en condiciones de intemperie, esto ocurre en tres fases básicas:

²³ A continuación se transcriben los conceptos de Renato D’Alençon contenidos en Encalada (2013); sin embargo, algunas partes del texto se han modificado al considerarlas incompletas o erróneas. Para mayor y completa información remitirse al texto original Acondicionamientos. Arquitectura y técnica de Renato D’Alençon.

- Desde el aire interior (caliente) a la cara interior, por convección.
- Desde la cara interior a la cara exterior por conducción o una combinación de conducción y radiación.
- Desde la cara exterior al aire exterior por convección.

En la transmisión de calor a través de la envolvente es posible intervenir con criterios de diseño y especificación técnica. Es necesario entonces conocer algunos de los parámetros con que se mide este flujo de calor y su comportamiento a medida que atraviesa la envolvente.”

3.5.2.1.1 Flujo de calor

“El flujo de calor se produce en una combinación de radiación, convección y conducción. En las tres formas de transmisión de calor, la magnitud del flujo depende de las diferencias de temperaturas entre los puntos o superficies considerados. La diferencia de temperatura se consigna convencionalmente en Kelvin (K).”

3.5.2.1.2 Resistencia térmica

“La transmisión de calor a través del espesor de un material depende de la resistencia que cada elemento ofrece al paso del calor. Esta resistencia se define como el cociente entre el espesor y la conductividad térmica del material.

$$R = \frac{e}{\lambda} \left[\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Donde

R resistencia térmica [m²K/W]

- e** espesor del material [m]
- λ** conductividad térmica del material [W/m*K]”

De acuerdo a la NCh853-2007, la conductividad térmica es la “cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras.”

3.5.2.1.3 Transmitancia térmica

Según la NCh853-2007, la transmitancia térmica (U) se define como el “flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperaturas entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Se expresa en [W/m²K].”

“A mayor transmitancia de un elemento de la envolvente de un edificio, mayores serán las pérdidas de calor durante el invierno y mayores las ganancias durante verano. Es la inversa de la resistencia térmica del elemento, con lo que se puede calcular sencillamente a partir de esta:

$$U = \frac{1}{R} \left[\frac{W}{m^2K} \right]$$

Donde

- U** transmitancia térmica [W/m²K]
- R** resistencia térmica [m²K/W]”

3.5.2.1.4 Resistencia térmica de elementos compuestos

“La envolvente de un edificio está en general compuesta por una cantidad de materiales diferentes que se pueden considerar actuando sucesivamente desde el punto de vista del flujo de calor en relación a la dirección del flujo. Es decir, las resistencias de los materiales a través del espesor de la envolvente se suman. La resistencia total de un elemento incorpora todas las resistencias de cada material, las cavidades de aire y la resistencia superficial interior R_{si} y exterior R_{se} .

Para calcular el valor U de un material compuesto de varios estratos de materiales diferentes, calculamos su resistencia total dada por:

$$R_t = R_{se} + \sum R_n + R_{si} \quad [m^2K/W]$$

Donde

R_t la resistencia total del elemento $[m^2K/W]$

R_{se} la resistencia superficial exterior $[m^2K/W]$

R_n la resistencia del n -ésimo material dentro del elemento $[m^2K/W]$

R_{si} la resistencia superficial interior $[m^2K/W]$

La resistencia R_n es:

$$R_n = \frac{e_n}{\lambda_n} \left[\frac{m^2K}{W} \right]$$

Donde

e_n espesor del material enésimo [m]

λ_n conductividad del material enésimo [W/m*K]

Sobre las superficies expuestas del elemento se produce una resistencia específica, conocida como resistencia superficial, relacionada con la mayor o menor temperatura de las superficies en relación al aire inmediatamente adyacente, las ganancias por radiación en la superficie y los intercambios de calor por radiación entre la superficie y su entorno.

En una cavidad interior en la envolvente la transmisión de calor se produce en una combinación de radiación y convección, que se asocia a un valor de resistencia térmica según sus características para sumarla a la resistencia térmica total del elemento.

La convección depende principalmente del espesor de la cámara de aire²⁴: la altura en el caso de un elemento horizontal o la profundidad en el caso de un elemento vertical. La transmisión por radiación en una cámara de aire es independiente de la altura o la profundidad, pero está en relación con la emisividad de las superficies además de la temperatura de ellas.”

3.5.2.1.5 Régimen dinámico y régimen permanente

“Al producirse el intercambio de calor, las diferencias de temperatura entre los cuerpos o sistemas que intercambian calor varían, con lo que el análisis de la transferencia de calor se hace mucho más complejo. Para reducir esta

²⁴ Lo importante es que el espesor de la cámara de aire sea lo suficientemente corto para que no genere flujos o corrientes de convección que transfieran calor.

complejidad, se acepta una simplificación conocida como régimen permanente de temperaturas, que supone que las temperaturas son estables durante el proceso de intercambio de calor, es decir, independientes del tiempo. El análisis en régimen transitorio o variable, que no depende solo de la temperatura de los sistemas sino también del tiempo, últimamente se ha hecho más accesible gracias a la capacidad de cálculo de las herramientas informáticas y es cada vez más frecuente.”

3.5.2.2 *Balance térmico y comportamiento de la envolvente*

“Un edificio puede ser considerado como un sistema térmico en interacción con un medio exterior cambiante y a menudo adverso en relación a nuestros requerimientos de confort, con el que sostiene una serie de intercambios de calor. Ellos incluyen pérdidas o ganancias por conducción a través del espesor de la envolvente; pérdidas o ganancias por ventilación a través de las obturaciones en la envolvente; ganancias solares, por radiación solar directa e indirecta a través de las superficies opacas; ganancias internas, producto de la actividad en el recinto o la calefacción y pérdidas evaporativas, que son los procesos de cambio de fase líquida a gaseosa relacionados.”

3.5.2.2.1 Balance térmico

“Normalmente un edificio no está en equilibrio constante con su medio, sino que tiene un diferencial producto del ciclo de temperaturas día/noche o del ciclo estacional. Si el diferencial es positivo, la temperatura interior está aumentando. Si el diferencial es negativo, está bajando. El equilibrio significa una temperatura estable.

El balance térmico se da cuando la suma de los diferentes tipos de flujo de calor hacia y desde el edificio es cero. Esto es, si el edificio pierde tanto calor cuánto gana, de modo que se puede decir que está en equilibrio. Esto se puede traducir en la ecuación siguiente, cuyos cinco valores corresponden a las diferentes fuentes de ganancias o pérdidas de calor:

$$Q_c + Q_v + Q_s + Q_i + Q_e = 0$$

Donde

- Q_c ganancias o pérdidas por conducción
- Q_v ganancias o pérdidas por ventilación
- Q_s ganancias por radiación solar (directa e indirecta)
- Q_i ganancias internas
- Q_e pérdidas por evaporación

Este es un equilibrio precario que tiende a perderse dado el dinamismo del medio exterior, la imperfección de los sistemas constructivos o el simple uso de los edificios. Para sostener un nivel estable de confort en los usuarios, podemos reducir las pérdidas o aportar nuevas ganancias por algunas de estas vías.”

3.5.2.2.2 Ganancias o pérdidas por conducción

“Las ganancias por conducción ocurren al transmitirse el calor del exterior al interior a través de la envolvente. Si bien esto ocurre principalmente por

conducción, la convección en las cavidades interiores en el espesor de la envolvente no es despreciable, particularmente en las cubiertas con entretecho.

En un elemento de la envolvente construida, el flujo de calor depende de las características de los materiales que lo componen, de la superficie total del elemento y de la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior. El flujo en un momento específico está dado por:

$$Q_c = U * A * \Delta T$$

Donde

Q_c ganancia de calor

ΔT diferencia de temperatura instantánea entre el aire interior y el aire exterior [K]

A la superficie del elemento de la envolvente [m²]

U la transmitancia térmica del elemento [W/m²K]"

3.5.2.2.3 Ganancias o pérdidas por ventilación

“Las ganancias o pérdidas por ventilación ocurren cuando el aire exterior entra en el edificio. Esto ocurre a través de filtraciones en los materiales de la envolvente, especialmente en las juntas, o de ventilaciones a través de la apertura de puertas, ventanas u otros. Las ganancias por ventilación están dadas por:

$$Q_v = 0.33 N * V * \Delta T$$

Donde

- Q_v ganancia de calor por ventilación [W]
- N número de renovaciones de aire por hora en el volumen estudiado
- V el volumen total estudiado [m^3]
- ΔT la diferencia de temperatura entre el interior y el exterior [K]

El factor 0.33 resulta de la capacidad volumétrica del aire para retener calor correspondiente a 1200 [J/m^3K] y el flujo de aire es dado como un factor de renovaciones de aire por hora. Por lo tanto, dado que $W = J/s$, $1200/3600 = 0.33$.”

3.5.2.2.4 Ganancias solares

“Las ganancias solares son flujos de calor adicionales generados en el edificio por el sol. Esto ocurre directamente a través de las ventanas o indirectamente a través de los elementos opacos. En el caso de los elementos opacos, el sol actúa calentando las superficies expuestas y aumentando así el flujo de calor a través del espesor del elemento.

- **Ganancias directas:** a través de elementos transparentes, que están dadas por:

$$Q_s = G * A * f_{gs}$$

Donde

- Q_s ganancia solar directa [W]

G la radiación solar incidente en la ventana especificada [W/m^2]

A área de la ventana [m^2]

fgs factor de ganancia solar

El factor de ganancia solar (fgs) está en función del tipo de ventana y representa la cantidad de radiación que efectivamente atraviesa el elemento. Es una fracción entre 0 y 1.

- **Ganancias indirectas:** a través de los elementos opacos, son algo más complejas dado que la radiación solar directa actúa primero aumentando la temperatura de la superficie exterior del elemento. La temperatura resultante se llama temperatura sol-aire. Como esto incrementa la componente ΔT de la ganancia por conducción Q_c el flujo de calor por conducción aumenta.

Con el fin de aislar las ganancias indirectas es conveniente manejar la temperatura exterior incrementada por la radiación solar, diferenciada de la temperatura ambiente. Se trata de controlar la temperatura sol-aire.

$$Q_s = U * A (G * \text{abs} * R_{se})$$

Donde

Q_s ganancia solar indirecta [W]

U la transmitancia térmica del elemento [$\text{W/m}^2\text{K}$]

G la radiación solar incidente en la ventana especificada [W/m^2]

A superficie del elemento opaco [m^2]

abs la absorción superficial del elemento

R_{se} la resistencia superficial exterior [$\text{m}^2\text{K/W}$]

La absorción superficial del elemento es una función del color y del material y representa la cantidad de radiación solar que efectivamente es absorbida por la superficie. Es una fracción entre 0 y 1.”

3.5.2.2.5 Ganancias internas

“Las ganancias internas resultan de fuentes de calor en el interior del edificio. Incluyen luces, máquinas y prácticamente cualquier artefacto eléctrico. Una persona promedio aporta aproximadamente 70 [W] por el solo hecho de estar ahí. Un computador aporta hasta 150 [W], principalmente por el monitor.

Estos valores, simplemente se agregan y suman a la ganancia total. Las ganancias internas en [W/m²], se relacionan con la actividad que se desarrolla en el recinto.”

3.5.2.2.6 Pérdidas por evaporación

“Estas pérdidas se dan al cambiar el agua de fase de líquido a gaseoso. Si se conoce la tasa de evaporación (ev) en [Kg/h], la pérdida total por evaporación será:

$$Q_e = 666.66 \text{ ev}$$

Donde

Q_e pérdida por evaporación [W]

ev la tasa de evaporación [Kg/h]”

3.5.2.2.7 Carga de calefacción o refrigeración

“La carga de calefacción es cualquier flujo de energía que debe reponerse para mantener el nivel de confort. Pueden ser de calefacción si las cargas son positivas o refrigeración si son negativas. Otro índice corresponde a los grados día de calefacción que corresponde a la diferencia entre temperatura media y la base (18 °C) en un día o mes donde la carga se traduce en grados, pero es menos exacto al descartar ventilación y oscilaciones térmicas.

La determinación de carga de calefacción o refrigeración de un recinto es un factor esencial para elegir el sistema de acondicionamiento. Un equipo sobredimensionado será ineficiente y caro de operar ya que no logrará las condiciones de confort esperadas. En equipos de aire acondicionado hay una estrecha relación entre la capacidad de enfriamiento y el control de la humedad. Un equipo sobredimensionado enfriará rápidamente el aire sin permanecer en funcionamiento durante tiempos suficientes para controlar la humedad.”

3.5.2.2.8 Humedad y condensación

“La envolvente media las condiciones interiores y exteriores no solo en cuanto a temperaturas, sino también en cuanto a humedad, que es el segundo componente fundamental de la percepción de confort. La humedad en la envolvente tiene modos característicos de presentarse y moverse: en estado líquido, que incluye agua en contacto con el edificio y la que se mueve por capilaridad; y también como vapor de agua, que incluye los vapores que se condensan en las superficies y en los intersticios de los elementos de la envolvente.

El agua en estado líquido proviene en una mayoría de casos de la lluvia o de la presencia de agua en el suelo, por capas freáticas u otras fuentes, las

filtraciones en redes de agua potable y alcantarillado por ejemplo. Esto significa filtraciones en muros o juntas desde el exterior en el caso de lluvia, o en contenciones, cimientos o subterráneos en el caso de agua en el suelo. Las aguas provenientes del suelo se tratan normalmente interceptándolas con drenes en la superficie o en el subsuelo, con sellos en grietas o perforaciones o con membranas o impermeabilizaciones en los elementos que tienen contacto directo con el suelo.

El movimiento de agua por capilaridad se origina en agua proveniente de lluvias o del suelo, pero se refiere específicamente al movimiento de agua a través del espesor de los materiales porosos.

Por último, el movimiento de humedad en forma de vapor de agua se da a través de las aberturas en la envolvente y a través de los elementos contruidos por diferencia de presión de aire. Las fuentes de vapor suelen ser la propia actividad de los recintos, baños, cocinas, calefacción de combustión abierta, por lo que considerarlas y ventilarlas adecuadamente puede ser una estrategia efectiva para evitar la humedad en forma de vapor. De cualquier modo, especialmente en los casos de climas fríos y recintos calefaccionados, se producirán diferencias de temperatura, humedad y presión entre interiores y exteriores que deberán resolver los elementos de la envolvente, cuyos materiales tienen una cierta permeabilidad al vapor de agua.

El movimiento a través del espesor de las envolventes se denomina difusión de vapor y se da desde espacios con mayor presión de vapor (los interiores calefaccionados) a espacios con menor presión (los exteriores fríos). La condensación de este vapor se da en superficies (las ventanas de vidrios monolíticos) e intersticios (las aislaciones térmicas) y puede deteriorar los materiales.

La condensación del vapor de agua se produce por la saturación del volumen de aire al que se incorpora mayor humedad en estado gaseoso, como ocurre por ejemplo en baños y cocinas o al reducirse la temperatura por contacto con el exterior (u otro recinto o elemento más frío), lo que lleva a condensaciones en alguna superficie o intersticio con temperatura por debajo del punto de rocío.”

3.5.2.2.9 Comportamiento higrotérmico de la envolvente

“La transmisión a través de los elementos de la envolvente se denomina genéricamente conducción. Sin embargo, se produce en el interior de los elementos una secuencia de modos distintos de transmisión de calor, que incluye convección y radiación en el caso de los elementos que contienen cámaras interiores u otras cavidades y una conducción que no es homogénea en el caso de elementos sin cámaras contruidos con hojas de materiales heterogéneos. Si bien no es la única componente relevante, como hemos visto en la determinación de los parámetros que definen el confort higrotérmico, es de gran importancia comprender los mecanismos fundamentales que caracterizan la transmisión de calor a través de las envolventes.

Las pérdidas de calor a través de la envolvente se producen a través de muros, techumbres, radieres, puertas y ventanas con un comportamiento típico, en que la transmisión de calor a través del espesor del elemento se descompone en una combinación de conducción, convección y radiación, que si bien es compleja, se puede caracterizar de manera general.

Muros: En los muros, los casos típicos son dos: con y sin cámara de aire. Cuando exista una cámara de aire, se puede asociar a ella una resistencia térmica, según su espesor, que se suma a las resistencias de los demás materiales componentes del muro. En el caso de no existir cámaras, simplemente se suman las resistencias de cada elemento. Sin embargo, en el

caso de no tener un espesor homogéneo la gradiente de temperaturas del interior al exterior es también variable, en función de las resistencias de cada tramo. Esta diferencia suele ser relevante, por cuanto la mayor caída de temperatura y por lo tanto la mayor posibilidad de condensación se produce en los elementos de aislamiento y algunos de ellos pierden sus propiedades aislantes al absorber humedad. La solución en ese caso será colocar una barrera de vapor en la cara interior, para proteger el aislamiento.

Techumbres: Las techumbres incluyen una fuerte componente de convección en los entretechos. En situación de invierno, esta puede ser una manera efectiva de perder calor, que se transmite por conducción en el cielorraso, por convección en el entretecho y nuevamente por conducción en la cubierta. Para mejorar el desempeño es conveniente reducir las pérdidas cerrando la cámara y evitando las filtraciones a través de ella. En situación de verano, la radiación incidente en la cubierta calienta el aire al interior del entretecho y posteriormente lo transmite al interior del recinto. En este caso es conveniente proveer una buena ventilación para evitar el calentamiento del aire en la cámara.

Las cubiertas sin entretecho suelen tener sobrecalentamiento por falta de ventilación. En ambos casos es recomendable aislar a nivel de cielorraso, en donde la diferencia de temperaturas es menor y también el volumen a calefaccionar. En condiciones de ganancia térmica (verano) el flujo de calor es descendente a través de las techumbres.

Pisos: En el caso de los radiadores las pérdidas son menores. El radiador queda adscrito a la masa del suelo, que suele tener una temperatura más moderada que la del aire exterior.

Un caso distinto es el de los pisos ventilados que también incluyen convección. Si bien no están expuestos a la radiación, sí requieren ventilación permanente

para despejar la humedad del suelo, lo que significa también pérdidas de calor. En condiciones de pérdidas de calor (invierno) el flujo de calor es descendente a través de los pisos.

Puertas y ventanas: Las puertas y ventanas son especialmente sensibles porque están hechas de materiales de muy poca resistencia térmica y porque las juntas de los elementos operables son de poca estanqueidad. Para mejorar su desempeño se suele usar doubles ventanas o vidrios DVH (doble vidriado hermético) que reducen el espesor de la cámara de aire al punto de reducir considerablemente la convección. Sin embargo, su uso debe ser complementado con un sistema de marcos y hojas con buenos sellos, sea a través del uso de materiales de baja conductividad o a través de un diseño que interrumpa la continuidad térmica del interior al exterior a través del marco.”

3.5.2.2.10 Puentes térmicos

“Hasta aquí se ha considerado el flujo de calor como perpendicular a la superficie del elemento considerado y las propiedades del elemento (materiales, geometría, espesor, transmitancia) como homogéneas, es decir un flujo lineal. Esto se da raramente y los flujos de calor en condiciones reales, es decir con geometrías complejas, con materiales irregulares o combinados, se dan en patrones de dos y tres dimensiones, de acuerdo a la complejidad de los elementos que atraviesan.

En aquellos casos en que la geometría o la combinación de materiales de diferente conductividad producen flujos distintos a los que se dan en los tramos típicos del elemento analizado, se reconoce un puente térmico. Los casos típicos de puentes térmicos se pueden reconocer en aquellos puntos en que se produce:

- Una reducción significativa del espesor del cerramiento
- Una disminución de la resistencia térmica del cerramiento
- Una mayor superficie en la cara exterior del cerramiento

El flujo de calor seguirá el camino más expedito, esto es, el de menor resistencia térmica o de mayor gradiente de temperatura. Si existen puntos o aristas en la envolvente que presenten una resistencia considerablemente menor, el flujo se producirá a través de esos puntos, haciendo a menudo inútil el esfuerzo de mejorar el aislamiento en el resto del muro.”

3.5.2.3 *Aislamiento térmico*

“El aislamiento térmico persigue controlar el flujo de calor a través de la introducción de elementos específicos a tal efecto. Se pueden distinguir tres mecanismos en los que se basa el aislamiento térmico: aislamiento por reflexión, aislamiento por resistencia y aislamiento por capacidad térmica. La continuidad de los elementos aislantes y su correcta colocación es crítica para evitar las pérdidas puntuales a través de la envolvente.

El aislamiento por reflexión o reflectivo es aquel que se opone al flujo de calor por radiación. En este caso la emisividad (capacidad de emitir radiación infrarroja) y la absorbancia (la capacidad de absorber radiación) del elemento son determinantes. Una lámina de aluminio, por ejemplo, tiene una baja absorbancia y es a menudo usada como barrera para reducir ganancias de calor por radiación, en tanto esté enfrentando una cámara de aire.

El aislamiento por resistencia consiste en usar un elemento de alta resistencia térmica como complemento de las propiedades estructurales o de cerramiento. Los materiales de aislamiento de este tipo se basan en las bajas propiedades de conductividad del aire quieto, por lo que a menudo son espumas rígidas o

lanas minerales con pequeñas celdas de aire que ocupan las cavidades del cerramiento, evitando también la transmisión de calor por convección en el interior del elemento. Muchas de ellas son sensibles a la condensación, que se tiende a producir en su espesor por tener la mayor diferencia de temperatura.

El aislamiento por capacidad térmica caracteriza a los materiales masivos, que tienen una gran capacidad de almacenar calor y de demorar el flujo, dada su masa. Se conoce como inercia térmica la dificultad que ofrecen los cuerpos a cambiar de temperatura y depende de la masa, la densidad y el calor específico de los elementos analizados, (calor específico es la capacidad que tiene la materia para acumular energía por unidad de masa).

En la construcción, los materiales producidos específicamente como aislamiento térmico se presentan en forma de planchas o colchonetas conformadas (poliestireno, fibra mineral, a granel o soplados, fibras de vidrio o celulosa, espumas hechas in situ, poliuretano, rollos reflectivos).”

3.6 Evaluación de tipologías predominantes por zonas climático habitacionales del Ecuador

En este subcapítulo se describe la metodología empleada en la definición de los valores restrictivos de transmitancia térmica (U) de muros y techumbres para las 4 zonas térmicas de esta propuesta.

La ejecución y análisis del número total de simulaciones que representa el conjunto establecido de 15 tipologías de vivienda sobrepasan los recursos humanos disponibles para este estudio. Ante este limitante, se consideró evaluar el comportamiento térmico de la principal tipología constructiva del país, aquella con el mayor porcentaje de representación del conjunto determinado en 3.4 y presentado en la Tabla 3-19, correspondiente a la tipología N°1 Casa E-

HA 50-100 2P M-B C-HA: casa con estructura de hormigón armado, superficie en planta de 50 a 100 m², 2 pisos, muros de bloque y cubierta de hormigón armado.

Los resultados obtenidos, a pesar de no constituir el total de tipologías, son suficientes para establecer el desempeño energético del tipo de viviendas que mayormente se construyen en el país y cuya solución constructiva es de mayor tendencia en el sector residencial, por lo que representan datos confiables para la elaboración de la propuesta de reglamentación.

3.6.1 Determinación del comportamiento térmico de tipologías de vivienda

En la actualidad, la utilización de herramientas informáticas permite predecir de manera eficaz el comportamiento térmico y desempeño energético de una edificación. Las opciones son amplias y la elección depende en gran parte del criterio del investigador y de los recursos pecuniarios disponibles. A continuación se detallan los parámetros adoptados en este estudio.

3.6.1.1 *Software de análisis*

TAS es un programa de origen británico, perteneciente a la empresa Environmental Design Solutions Limited – EDSL, especializado en el desarrollo y ejecución de simulaciones térmicas dinámicas para la predicción del comportamiento térmico de edificios. Algunas de las principales aplicaciones del programa son la evaluación del desempeño ambiental, análisis de ventilación natural, predicción del consumo de energía y dimensionamiento de equipos de calefacción y/o refrigeración.

La simulación dinámica del programa considera la influencia de los diversos procesos térmicos que ocurren en el edificio (Figura 3-6), su ubicación y su interacción a través del tiempo, lo que permite realizar un seguimiento detallado del estado térmico del inmueble, otorgando una imagen clara y precisa de su desempeño.²⁵

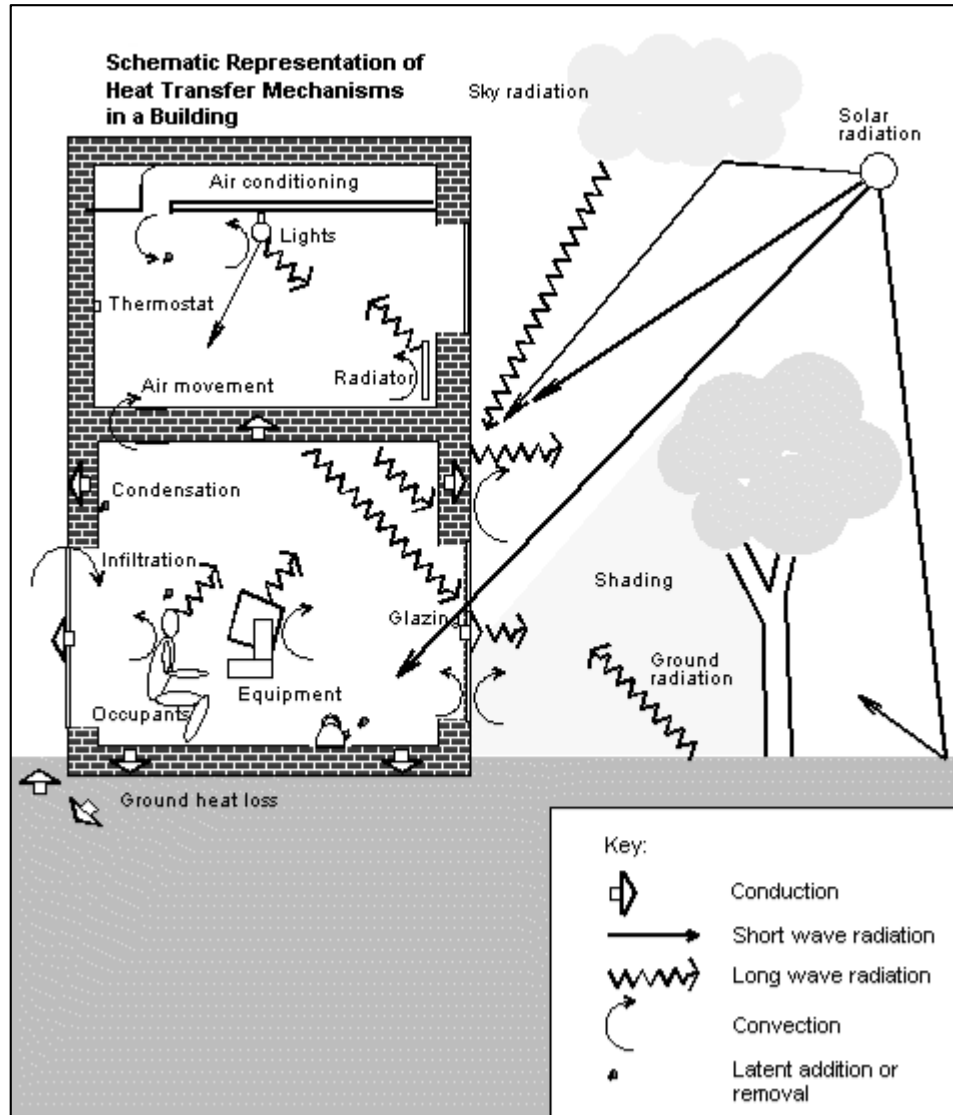
La adopción de este programa se debe a su disponibilidad por parte de la Escuela de Construcción Civil de la Pontificia Universidad Católica de Chile y al prestigio global en el área de la simulación térmica. García-Alvarado (*et al.*, 2014) compara diversos programas de análisis energético como muestra la Tabla 3-20, siendo Tas el preferido por especialistas.

Las ventajas y desventajas de Tas las explica García-Alvarado (*et al.*, 2014, p.7): “los programas con mayores capacidades, que podemos denominar más «completos», como ESP-r, TAS y DesignBuilder, se distinguen por su mayor nivel de detalle en la modelación, descripción de equipamientos, horarios, archivos climáticos, diversidad de análisis, comprobación de normativas y relación con otros *software*. Con una buena asistencia, modificación de datos y representación de resultados. Pero también por un precio más alto, requerir mayores equipos y conocimiento especializado, más antecedentes y tiempo de trabajo (varias horas o días para analizar una vivienda)”.

La versión utilizada del programa corresponde a la EDSL Tas 9.1.4.2.

²⁵ Fuente: TAS Building simulator manual (s.f.). Para mayor información remitirse al manual, disponible en <http://www.edsl.net/main/support/Documentation.aspx>.

Figura 3-6 Mecanismos de transferencia de calor en un edificio



Fuente: TAS Building simulator manual, (s.f.)

Tabla 3-20 Sistemas revisados de simulación energética (2012)

Nº	Programa/Servicio	Año de inicio	Proveedor	Costo (USD)	Características principales
1	ESP-R	1977	U. Strathclyde	0	Gran capacidad de cálculo y detalles avanzados, funciona en Windows, Mac y Linux
2	TAS	1984	EDSL	7000	Modelación precisa y análisis detallado, preferido por especialistas
3	IES-VE (VE-WARE)	1994	IESVE	61 a 9000	Buen cálculo hasta 5000 zonas, con distintas versiones, permite modelar con Sketchup
4	CASANOVA	2000	U. Siegen	0	Fácil de utilizar y cálculos rápidos, pero de una sola zona y volumen simple
5	HEED	2003	UCLA	0	Funcionamiento intuitivo, sin modelación, se enfoca en análisis costo-beneficio de viviendas
6	DESIGNBUILDER con E+	2005	DesignBuilder Co.	308 a 4187	Cálculos avanzados usando Energy Plus, con funcionamiento intuitivo y simple
7	ECOTECH	2008	Autodesk	800 a 1200	Fácil modelación, visualización y análisis, buena exportación y muy utilizado
8	GREEN BUILDING STUDIO	2008	Autodesk	400	Servicio de internet que permite ingresar archivos en formato gbxml y cálculos rápidos
9	OPEN STUDIO con E+	2008	NREL	0	Permite modelar con Sketchup, calcula con Energy Plus
10	VASARI	2010	Autodesk	0	Cálculos sencillos pero variados y específicos de distintos volúmenes, exporta desde Revit
11	BEOPT con E+	2011	NREL	0	Buen cálculo y asistencias, compara alternativas con análisis paramétrico
12	DESIGN ADVISOR	2012	MIT	0	Servicio de internet eficaz y completo

Fuente: García-Alvarado, *et al.*, 2014.

3.6.1.2 Base de datos climáticos

Para realizar la simulación térmica, Tas requiere registros climáticos horarios de los siguientes parámetros:

- Radiación global [W/m^2]
- Radiación difusa [W/m^2]
- Nubosidad [0-1]
- Temperatura de bulbo seco [$^{\circ}\text{C}$]
- Humedad relativa [%]
- Velocidad del viento [m/s]
- Dirección del viento [grados al este del norte]

El Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología - INAMHI no dispone de datos a este nivel de detalle, por lo que se acude al programa Meteonorm, recomendado por Tas.

Meteonorm, de la empresa suiza Meteotest, es un *software* especializado en la generación de archivos climáticos de cualquier lugar del mundo. Dispone de una amplia base de datos de estaciones meteorológicas alrededor del globo, mediante la cual, archivos climáticos son generados estocásticamente a partir de la interpolación de valores promedios mensuales. Los resultados representan un año promedio del período de tiempo climatológico seleccionado en base a la configuración especificada. Estos resultados no representan un año histórico verdadero pero sí un año hipotético que estadísticamente representa un año típico en la ubicación seleccionada.²⁶

La versión utilizada del programa corresponde a Meteonorm 5.1.

²⁶ Fuente: Meteonorm Handbook Part I: Software. Para mayor información remitirse al manual recuperado de <http://meteonorm.com/download/software/mn70/>.

3.6.1.3 *Proceso de modelación y simulación térmica*

La simulación en Tas requiere principalmente 3 elementos: un modelo geométrico de la estructura, datos climáticos de la zona de emplazamiento y parámetros ocupacionales o condiciones internas de la vivienda. Para abordarlos se establecieron las siguientes etapas:

3.6.1.3.1 Desarrollo del modelo geométrico

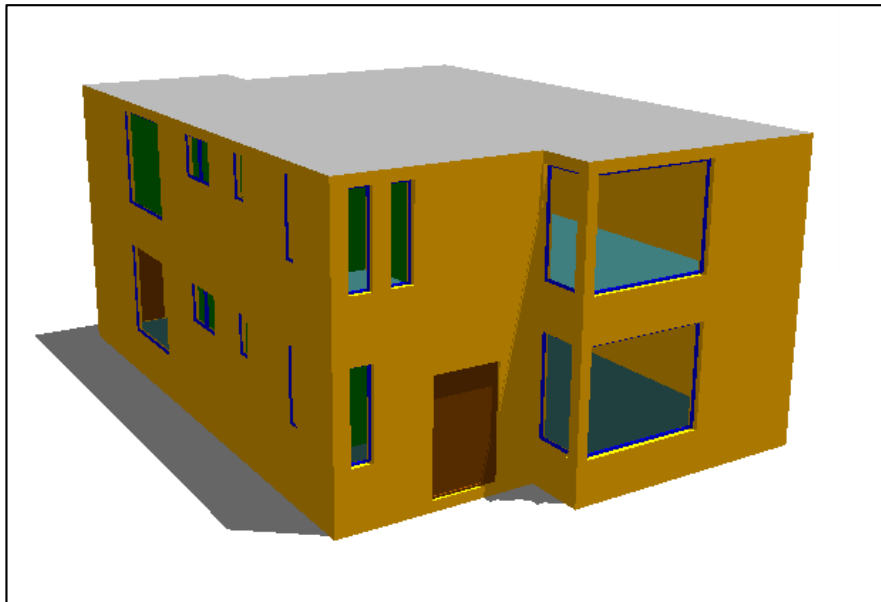
El modelo de la tipología seleccionada se realizó en base a planos arquitectónicos obtenidos gracias a profesionales particulares del rubro. Los planos abarcaron la totalidad de tipologías, por lo que se realizó un análisis comparativo de las características comunes de las viviendas con el fin de eliminar particularidades del plano correspondiente a la tipología 1. Se considera que los planos arquitectónicos obtenidos fueron realizados bajo adecuados conocimientos de arquitectura, por lo cual no se intervino en la geometría ni en la orientación de la vivienda.

Posteriormente, el plano estandarizado se empleó como base para la modelación dentro del subprograma Tas 3D Modeller. En este se ingresaron elementos constructivos y aperturas, sus dimensiones, su geometría y orientación de la vivienda de acuerdo al plano. Además se dividieron los ambientes de la vivienda en zonas térmicas, necesarias para la simulación del comportamiento térmico y energético. Las especificaciones adoptadas se detallan en el Anexo 3.

Finalmente, la vivienda se exporta para su posterior análisis en el subprograma Tas Building Simulator.

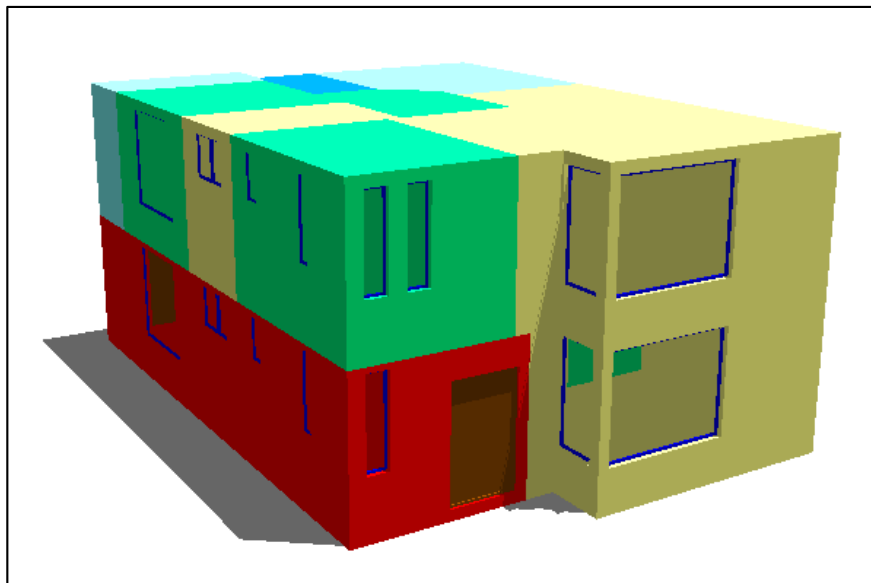
El modelo geométrico resultante se presenta en las siguientes imágenes:

Figura 3-7 Vista 3D - Tipología N° 1: Casa E-HA 50-100 2P M-B C-HA



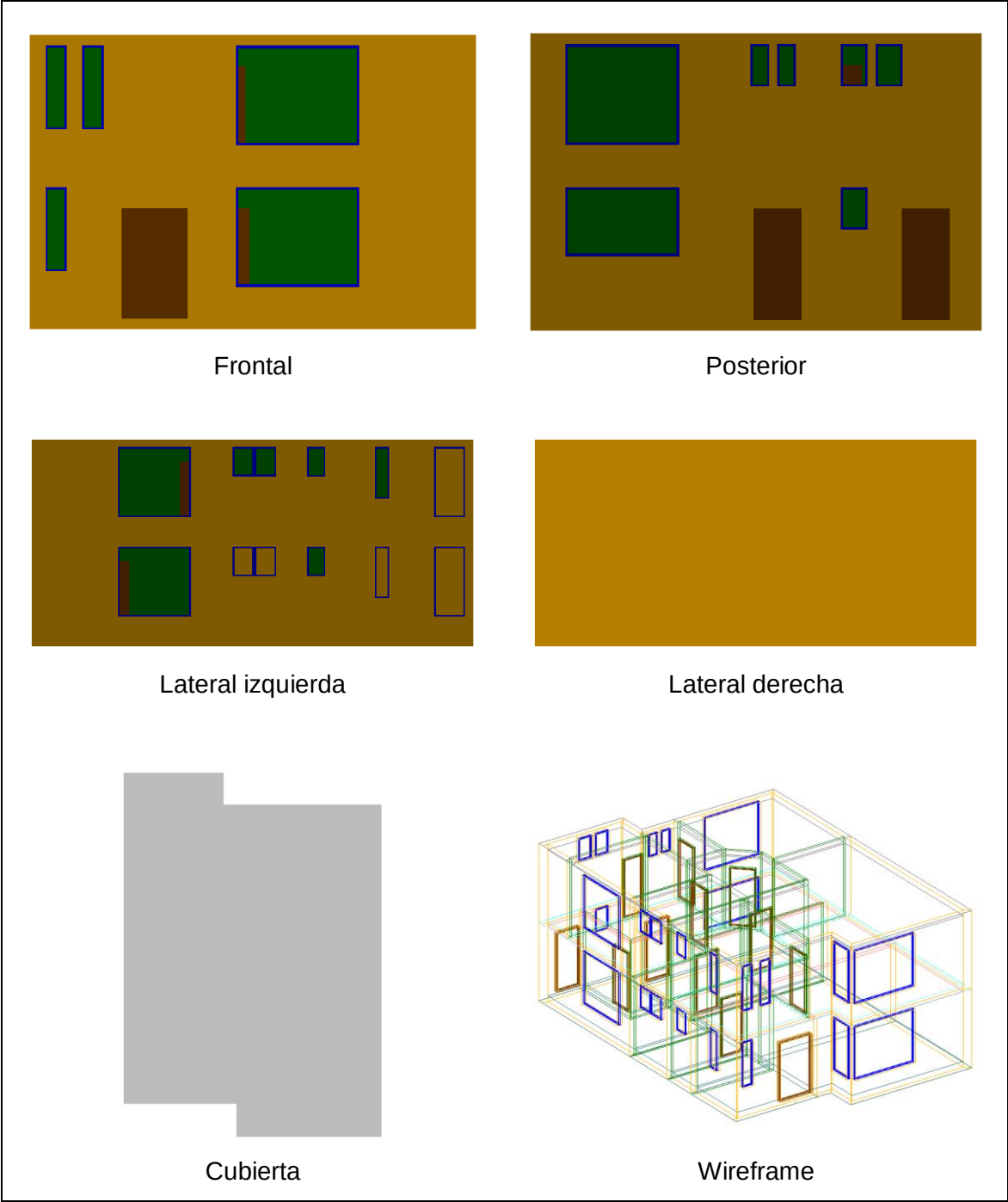
Elaboración propia

Figura 3-8 Vista 3D – Zonificación térmica de la vivienda por color



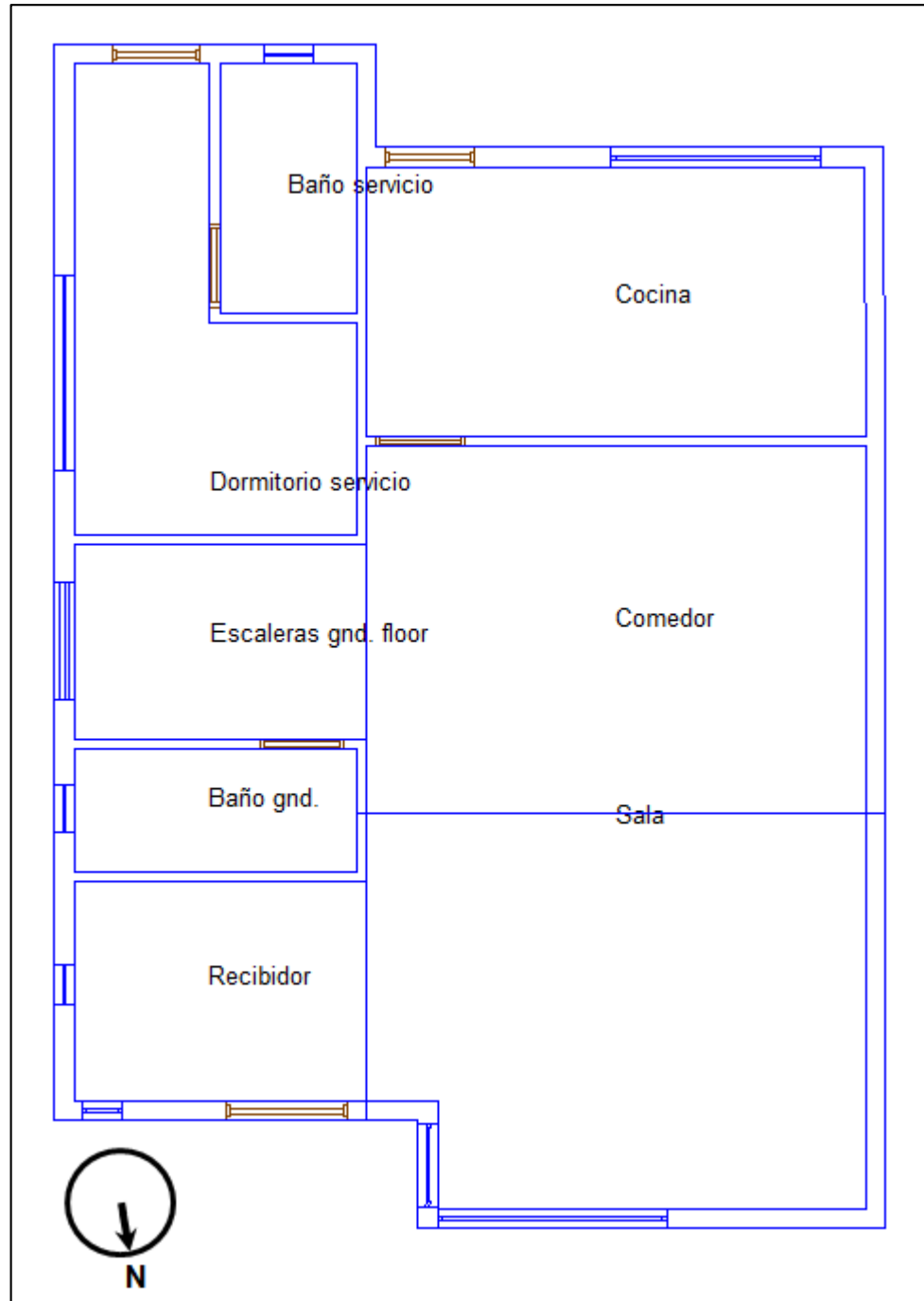
Elaboración propia

Figura 3-9 Fachadas - Tipología N° 1: Casa E-HA 50-100 2P M-B C-HA



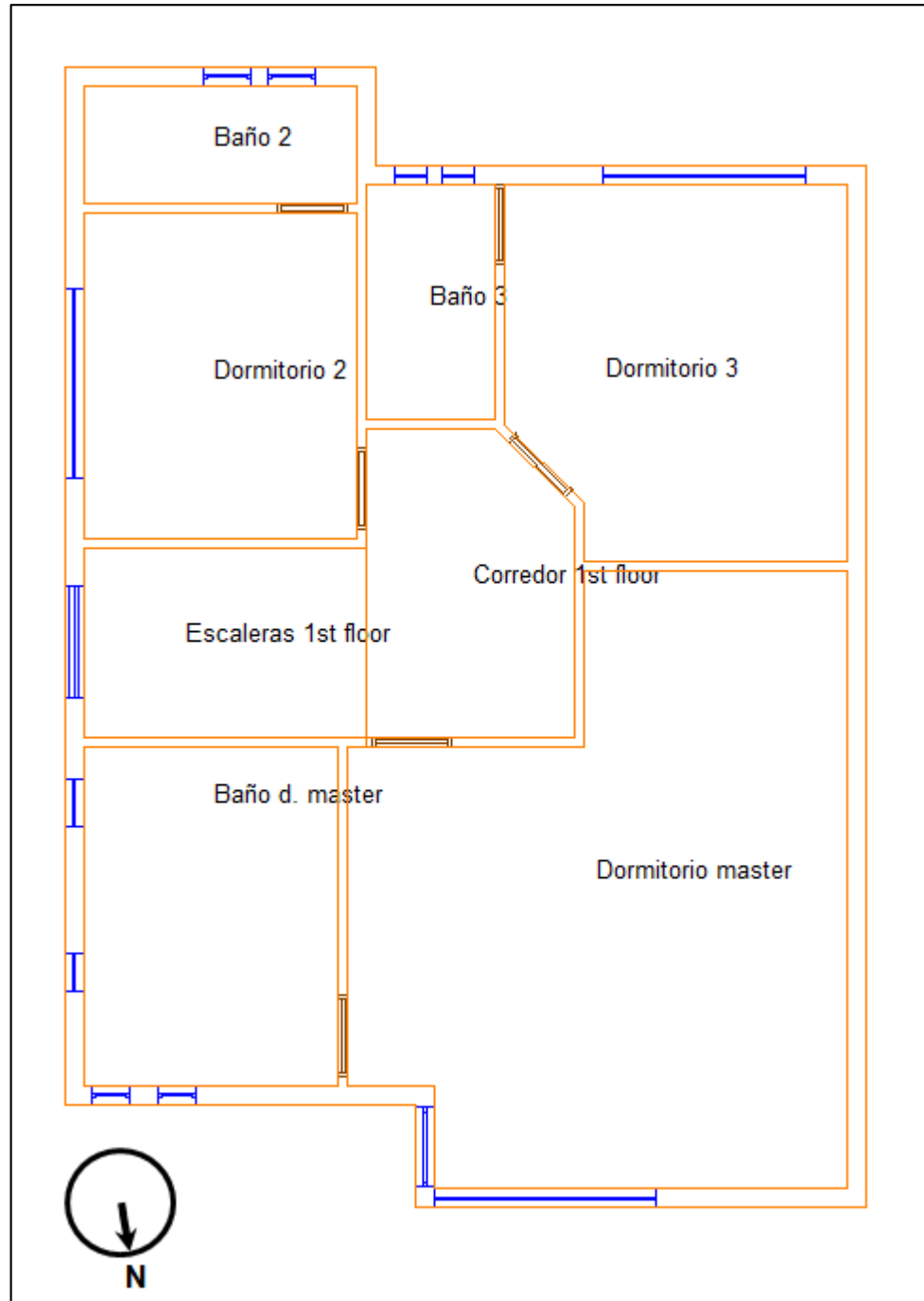
Elaboración propia

Figura 3-10 Vista en planta – Primer piso



Elaboración propia

Figura 3-11 Vista en planta – Segundo piso



Elaboración propia

3.6.1.3.2 Definición de parámetros de diseño

En el modelo importado a Tas Building Simulator se especifica la información correspondiente a características y clima de la zona de emplazamiento, elementos constructivos, parámetros ocupacionales entre otras propiedades que brindan un perfil preciso de la vivienda. Estos parámetros definen los resultados, por lo que su adopción representa la parte más sensible de la simulación.

En el Anexo 3 se especifican los parámetros globales de las simulaciones base realizadas; el detalle de los elementos esenciales para la simulación se describen a continuación:

Datos climáticos

De la base de datos de Meteonorm 5.1 se creó un archivo climático por ciudad representativa de cada zona térmica. Los 4 archivos fueron generados según las especificaciones descritas en la Tabla 3-21²⁷ y contienen datos horarios de radiación global, radiación difusa, nubosidad, temperatura de bulbo seco, humedad relativa, velocidad y dirección del viento correspondiente a un año tipo en cada zona.

Los valores promedio anuales de temperatura generados se compararon con los datos del proceso de zonificación térmica y se encontró que son similares en las ciudades de Guayaquil y Quito, mientras que para Machala y Ambato los valores son levemente mayores. En general los datos de temperatura media obtenidos de Meteonorm se encuentran dentro del rango de zonificación térmica establecido salvo la ciudad de Machala, donde la temperatura media generada es más severa. (Tabla 3-22)

²⁷ Conceptos y definiciones de estos parámetros disponibles en manuales de Meteonorm 5.1, 6.0 y 7. Manual descargable en <http://meteonorm.com/download/software/mn70/>.

Tabla 3-21 Detalle de archivos climáticos de ciudades representativas

Ciudad	Guayaquil	Machala	Quito	Ambato
Zona térmica	1	2	3	4
Tipo de sitio	WMO/OMM	Cities	WMO/OMM	Cities
Nombre sitio	Guayaquil Aer.	Machala EC	Quito Inamhi	Ambato EC
Altitud [m]	9	0	2812	3124
Longitud	-79.5298	-79.57	-78.2898	-78.39
Latitud	-2.09	-3.198	-0.1002	-1.18
Zona horaria	UTC-5	UTC-5	UTC-5	UTC-5
Situación	City	City	City	Open
Sistema de tiempo	Solar	Solar	Solar	Solar
Horizonte	Astronomic	Astronomic	Astronomic	Astronomic
Azimut	180	180	180	180
Albedo	Automatic	Automatic	Automatic	Automatic
Formato	TMY 2	TMY 2	TMY 2	TMY 2

Elaboración propia

Tabla 3-22 Cuadro comparativo entre temperaturas medias anuales
Meteonorm 5.1 - INAMHI

Ciudad	Meteonorm 5.1				INAMHI				ZT	Rango de temp.
	Sitio	Max	Med	Min	Estación	Max	Med	Min		
Guayaquil	Guayaquil Aer.	27.7	26.7	25.7	MA2V	30.8	26.3	22.5	1	T>25
Machala	Machala EC	27.3	26.3	25.3	M292	29.2	25.0	22.2	2	22 < T ≤ 25
Quito	Quito Inamhi	16.3	15.4	14.5	M024	21.5	15.0	9.9	3	14 < T ≤ 22
Ambato	Ambato EC	12.3	11.3	10.3	MA1Y	13.5	9.3	4.4	4	T≤14

Elaboración propia

Elementos constructivos

Se creó una base de datos de materiales para los diversos elementos constructivos disponibles. En su elaboración, se homologaron los materiales predeterminados en la base de datos del subprograma Tas Construction Database con los registrados en la NCh853-2007 bajo las propiedades de densidad y conductividad térmica (Tabla 3-23).

Los materiales adoptados corresponden a Tas Construction Database, excepto cuando había gran diferencia con la norma chilena, donde se priorizaban los valores de este último.

Una vez definidas las propiedades se asignó la materialidad a los diversos elementos constructivos según las características de la tipología.

Condiciones internas

Para las simulaciones fue necesario crear condiciones internas adaptadas a la realidad del Ecuador.

Tas Internal Condition Database dispone de una base de datos de cuatro fuentes: Tas Internal Conditions, NCM Activity v3.5, COMNET ASHRAE 90.1-2007 y COMNET California 2005. A partir de la combinación y adaptación de sus registros, considerando la densidad poblacional en la vivienda, el calendario y cronograma de actividades y sus hábitos ocupacionales, se establecieron las condiciones internas para cada recinto o zona térmica de la tipología bajo los parámetros de infiltración, ventilación, ganancia por iluminación, ganancia de calor sensible y latente por ocupantes y equipamiento, índice metabólico e iluminancia, utilizando como referencia diversa bibliografía y normativas, principalmente ASHRAE Standards y CIBSE Guide A: Environmental design.

Tabla 3-23 Homologación y selección de materiales para elementos constructivos

Tas Construction Database (TCD)			NCh853-2007			Observaciones
Material	Conductividad ²⁸ [W/m*°C]	Densidad [Kg/m³]	Material	Conductividad [W/m*K]	Densidad [Kg/m³]	
Concrete 3% m.c. 11 *3	1.83	2400	Hormigón armado (normal)	1.63	2400	Se adopta conductividad de NCh853-2007
Gravel aggregate *3	1.5	2130	Grava rodada o de machaqueo	0.81	1700	Se adopta conductividad y densidad de NCh853-2007
Hardwood 2 *4	0.15	700	Roble	0.157	800	Se adopta material de TCD. Se consideran como hardwood a madera Chanul y Roble, pertenecientes a la familia de las angiospermas
Ceramic tiles	1.3	2300	Azulejos	1.05	-	Se adopta material de TCD
Brick common 1 *3	0.65	1530	Ladrillo macizo hecho a máquina	0.60	1400	Se adopta material de TCD
Dense gravel & dense limestone block	1.1	2000	Mortero de cemento	1.40	2000	Se adopta material de TCD al acercarse más a valor especificado por el Código Técnico de la Edificación - CTE

²⁸ Las unidades de conductividad [W/m*K] y [W/m*°C] son equivalentes ya que los Kelvin y los grados Celsius se emplean en este concepto como diferencias de temperaturas y no como valores de escala. Debido a que el incremento de un grado Celsius coincide con el de un Kelvin la diferencia de temperatura unitaria es la misma para ambas unidades.

Tas Construction Database (TCD)			NCh853-2007			Observaciones
Material	Conductividad [W/m*°C]	Densidad [Kg/m³]	Material	Conductividad [W/m*K]	Densidad [Kg/m³]	
Polystyrene expanded sheet closed cell *4	0.04	16	Poliestireno expandido	0.0413	15	Se adopta material de TCD
Glasswool 1 *2	0.039	24	Lana de vidrio	-	-	Se adopta material de TCD
Asbestos cement, 10 mm	0.36	700	Fibro-cemento	0.22	920	Se adopta conductividad y densidad de NCh853-2007
Mineral wool, fill type *3	0.039	150	Lana mineral, colchoneta libre	0.042	120	Se adopta material de TCD
Cement rendering	1.18	1778	Mortero de cemento	1.40	2000	Se adopta material de TCD al acercarse más a valor especificado por el Código Técnico de la Edificación - CTE
4mm optifloat clear	1.0	-	Vidrio plano	1.2	2500	Se adopta material de TCD
Lightweight plaster 7 *4	0.22	720	Yeso - cartón	0.24	650	Se adopta material de TCD
Aluminium *3	204	2700	Aluminio	210	2700	Se adopta material de TCD

Elaboración propia

Definidos todos los parámetros de diseño se procedió a realizar simulaciones bajo diversos escenarios, modificando algunas veces condiciones internas o elementos constructivos, según las solicitudes del caso.

3.6.1.3.3 Análisis de sensibilidad

Con el fin de establecer la mejor alternativa de transmitancia se realizó un análisis de sensibilidad en base a 296 simulaciones, 74 por cada zona térmica, distribuidas en 4 simulaciones estándar sin considerar aislación y 70 considerando espesores de 0, 10, 20, 30, 40 y 50 [mm] de aislación interior y exterior en muros y cubierta. Este análisis pretende determinar la incidencia de la variación de espesor en la reducción de la demanda energética de calefacción o refrigeración.

Previo a la descripción de los escenarios de simulación se establecen las consideraciones bajo las cuales se realizó el análisis:

- Se considera un solo tipo de aislante en la determinación de los valores restrictivos de transmitancia térmica, adoptando para este propósito al poliestireno expandido (EPS), por ser un material común dentro del sector construcción y de fácil adquisición en el mercado.
- Para determinar la demanda de energía en calefacción y refrigeración se considera sistema de AC con rango de control de 18°C a 26°C. Se excluye del análisis la ventilación mecánica.
- No se incluyen voladizos dentro de las simulaciones al encontrarse prescindibles por su moderado impacto como elementos de protección

solar²⁹ y en algunos casos perjudiciales al movimiento de aire a través de ventanas³⁰.

- Se excluye la determinación del porcentaje máximo de superficie de ventanas al estar relacionado con ventilación, asoleamiento, entre otros conceptos necesarios para su correcta definición y que se encuentran fuera del alcance del estudio.
- No se considera aislación térmica en pisos en contacto con el terreno al encontrar, según investigación, que no representa un ahorro significativo en demanda energética³¹.

Ante lo señalado, se generaron 4 casos básicos con los cuales se busca establecer el desempeño térmico y energético de la vivienda previo a la utilización de aislantes:

Caso 1

Situación base. Esta simulación adopta las características básicas de una vivienda, donde se emplean elementos simples de protección solar (persianas), luminaria energéticamente ineficiente y de alta ganancia térmica. Esta corresponde a la situación más crítica para las zonas térmicas 1 y 2, al no existir sistema de refrigeración, por lo cual comúnmente se mantienen abiertas las ventanas la mayor parte del tiempo en la vivienda ocasionando sobrecalentamiento por mayores temperaturas externas.

Consideraciones:

²⁹ Fuente: IIT-Universidad de Concepción. Informe Etapa 4. Grupo de Estudios 1.

³⁰ La Universidad de Texas y el South Africa Building Research Station comprobaron que voladizos y salientes ubicados sobre ventanas impiden el adecuado movimiento del aire a través de ellas, debido a que estos originan bajo ellos un espacio de presión más baja, lo que genera que el aire entrante tienda a ascender hacia el techo y no ventile la parte baja del recinto. (García, 2004)

³¹ Ídem 29.

- Persianas de alta transmitancia solar
- Ventilación natural: apertura de ventanas desde los 18°C
- Utilización de focos incandescentes
- No se consideran sistema de AC ni ventilación mecánica
- No se considera aislación térmica

Caso 2

Comportamiento térmico con refrigeración: esta simulación adopta las características del caso 1, cambiando dos parámetros: se emplea sistema de AC y se modifican los horarios de apertura de ventanas cuando inicia este sistema. Esta simulación está destinada a establecer la demanda energética por acondicionamiento térmico para la situación base.

Consideraciones:

- Persianas de alta transmitancia solar
- Ventilación mixta: apertura de ventanas a los 18°C y cierre a los 26°C para dar paso al sistema de AC
- Utilización de focos incandescentes
- Se considera sistema de AC
- No se considera aislación térmica

Caso 3

Situación base con cambio en la forma de ocupación de la vivienda: enfocada a establecer las variaciones en el comportamiento térmico de la edificación que genera este cambio, tanto con la utilización de focos ahorradores, persianas de

baja transmitancia solar, así como con la apertura y cierre de puertas y ventanas para evitar el sobrecalentamiento por convección.

Consideraciones

- Persianas de baja transmitancia solar
- Ventilación natural: apertura de puertas y ventanas desde los 18 °C, excepto cuando temperatura exterior es mayor a la interior
- Utilización de focos fluorescentes
- No se consideran sistema de AC ni ventilación mecánica
- No se considera aislación térmica
- Cambio de horario de persianas de 8 a 18 horas

Caso 4.0

Influencia del hábito ocupacional en la demanda energética: se utiliza sistema de acondicionamiento térmico para determinar la influencia del cambio ocupacional del caso 3 en el ahorro energético. No se considera aislación térmica

Consideraciones:

- Persianas de baja transmitancia solar
- Ventilación mixta: apertura de puertas y ventanas a los 18°C y cierre a los 26°C para dar paso al sistema de AC
- Utilización de focos fluorescentes
- Se considera sistema de AC
- No se considera aislación térmica
- Cambio de horario de persianas de 8 a 18 horas

Los casos 4.1 y 4.2 corresponden al análisis de desempeño con la implementación de aislación térmica, abarcando 70 simulaciones:

Casos 4.1 y 4.2

Modificación en la vivienda: junto al cambio ocupacional, se establece la aplicación de aislamiento en elementos de muro y cubierta. Adicionalmente se utiliza sistema de acondicionamiento térmico para determinar la influencia de la aislación en el ahorro energético.

Consideraciones:

- Persianas de baja transmitancia solar
- Ventilación mixta: apertura de puertas y ventanas a los 18°C y cierre a los 26°C para dar paso al sistema de AC
- Utilización de focos fluorescentes
- Se considera sistema de AC
- Se considera aislación térmica
- Cambio de horario de persianas de 8 a 18 horas

El caso 4.1 corresponde a aislación exterior de muros y cubierta con espesores de 0, 10, 20, 30, 40 y 50 [mm], generando 35 combinaciones. El caso 4.2 corresponde a aislación interior de muros y cubierta con espesores de 0, 10, 20, 30, 40 y 50 [mm], generando 35 combinaciones. La combinación para espesor de 0 [mm] en muros y cubierta corresponde al caso 4.0.

3.6.1.4 Resultados parciales: situaciones base

En esta instancia se presentan los resultados de los 4 escenarios base para las 4 zonas térmicas, en torno al desempeño general de la vivienda,

comportamiento higrotérmico, demanda anual de energía y confort de sus ocupantes.

3.6.1.4.1 Zona térmica 1

Caso 1

Tabla 3-24 ZT1-C1 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m ² K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Descendente	2.594
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-25 ZT1-C1 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	35.99	°C	Cocina	53	13
Min Air Temp	20.90	°C	Baño d. master	221	6
Max humidity	97.38	%	Baño gnd.	1	8
Min humidity	36.01	%	Dormitorio 3	335	15
Max heating load	0.00	KW		0	0
Max cooling load	0.00	KW		0	0
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.00	KW		0	0
Max resultant temp	36.73	°C	Dormitorio 2	53	14
Min resultant temp	22.60	°C	Baño d. master	221	6
Max MRT	39.48	°C	Dormitorio 2	53	10
Min MRT	23.79	°C	Baño d. master	220	7
Max external temp	34.90	°C	External	284	14
Min external temp	18.60	°C	External	227	6
Max external humidity	95.00	%	External	49	6
Min external humidity	36.00	%	External	245	15

Elaboración propia.

Tabla 3-26 ZT1-C1 – Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	27.46	34.34	21.25	65.13	92.13	38.74
2	Sala	27.46	34.44	21.22	65.22	91.82	38.51
3	Comedor	27.71	34.25	21.76	64.30	91.43	38.89
4	Cocina	28.80	35.99	22.52	61.79	89.79	39.38
5	Dormitorio servicio	28.05	34.97	21.98	63.08	89.69	38.78
6	Dormitorio master	27.99	35.28	21.08	63.34	88.88	37.24
7	Dormitorio 2	28.25	35.61	21.84	62.41	87.78	37.75
8	Dormitorio 3	28.32	35.55	21.97	62.23	87.96	36.01
9	Baño gnd.	28.32	33.13	23.24	62.70	97.38	42.80
10	Baño servicio	28.49	33.44	22.99	62.08	95.60	42.09
11	Baño d. master	27.73	34.88	20.90	64.39	89.83	37.43
12	Baño 2	28.14	34.53	21.61	62.92	93.61	40.47
13	Baño 3	28.55	34.73	21.98	61.56	93.26	40.41
14	Escaleras gnd. Floor	27.73	34.42	21.11	64.17	91.31	37.77
15	Escaleras 1st floor	28.18	34.52	21.19	62.55	89.23	37.54
16	Corredor 1st floor	28.48	34.63	21.90	61.46	88.25	38.49
PROMEDIO		28.10	34.67	21.78	63.08	91.12	38.89

Elaboración propia.

Observaciones:

La temperatura media anual de la vivienda es de 28.10°C, cercano a los 26°C donde termina el rango de confort establecido. Sin embargo se aprecia una temperatura máxima de 35.99°C en la cocina debido a altas ganancias de calor por actividades inherentes al recinto. De igual forma altos niveles de humedad tanto en el interior (baño) como en el exterior, abriendo la posibilidad de condensación. El rango de humedad para un adecuado confort comúnmente es del 30% al 70%, por lo que no se observan problemas de sequedad, aunque globalmente la tipología no brinda confort a sus ocupantes. (Tabla 3-28)

No se presentan cargas anuales de energía para acondicionamiento térmico debido a que no se empleó ningún sistema para este fin.

Tabla 3-27 ZT1-C1 – Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]				DEMANDA POR m² [KWh/m²]					
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	0.00	0.00	0.00	475.56	24.88	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Sala	19.881	0.00	0.00	0.00	0.00	2147.79	229.89	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Comedor	19.135	0.00	0.00	0.00	0.00	409.46	309.05	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Cocina	14.075	0.00	0.00	0.00	0.00	1161.46	206.55	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	0.00	0.00	0.00	1812.39	106.17	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Dormitorio master	29.044	0.00	0.00	0.00	0.00	2495.52	309.53	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	0.00	0.00	0.00	1772.76	106.84	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	0.00	0.00	0.00	1721.95	145.06	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Baño gnd.	3.623	0.00	0.00	0.00	0.00	164.99	67.24	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Baño servicio	3.536	0.00	0.00	0.00	0.00	146.84	65.62	0.00	0.00	0.00	0.00
11	Baño d. master	9.720	0.00	0.00	0.00	0.00	807.55	180.40	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Baño 2	3.628	0.00	0.00	0.00	0.00	290.18	67.33	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Baño 3	3.403	0.00	0.00	0.00	0.00	184.88	63.17	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	0.00	0.00	0.00	360.25	58.74	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	0.00	0.00	0.00	200.42	58.82	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	0.00	0.00	0.00	93.74	67.97	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL		165.211	0.00	0.00	0.00	0.00	14245.74	2067.27	0.00	0.00	0.00	0.00
Peak			0.00	0.00	0.00	0.00	8.16	1.36				
Day			0	0	0	0	43	1				
Hour			0	0	0	0	9	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-28 ZT1-C1 – Análisis de confort en la vivienda

N°	ZONA	FRECUENCIA DE PMV												TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
		-3 ≤ PMV < -2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < -1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV ≤ 3			
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.2%	12.9%	24.6%	27.9%	22.4%	8.1%	0.8%	100.0%	40.7%	No aceptable
2	Sala	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	4.2%	24.4%	30.8%	14.8%	12.4%	8.1%	3.9%	1.1%	100.0%	74.3%	No aceptable
3	Comedor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.2%	24.8%	32.2%	16.1%	13.7%	7.8%	2.9%	0.4%	100.0%	75.2%	No aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.8%	15.2%	28.2%	30.1%	18.8%	4.9%	100.0%	18.0%	No aceptable
5	Dormitorio servicio	0.0%	0.0%	1.2%	4.3%	8.0%	24.6%	28.2%	12.0%	9.2%	6.4%	3.5%	2.6%	100.0%	72.7%	No aceptable
6	Dormitorio master	0.0%	0.3%	2.2%	4.8%	8.4%	21.1%	23.7%	11.0%	10.0%	8.0%	4.7%	5.5%	100.0%	64.3%	No aceptable
7	Dormitorio 2	0.0%	0.1%	1.6%	4.2%	7.5%	19.6%	23.7%	11.0%	10.4%	7.8%	6.0%	8.1%	100.0%	61.8%	No aceptable
8	Dormitorio 3	0.0%	0.1%	1.5%	4.1%	7.7%	20.9%	23.5%	11.3%	9.9%	8.1%	5.7%	7.2%	100.0%	63.4%	No aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	11.5%	26.3%	23.6%	22.6%	13.1%	2.8%	0.1%	100.0%	61.4%	No aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.4%	24.2%	22.3%	23.5%	14.8%	4.5%	0.3%	100.0%	57.0%	No aceptable
11	Baño d. master	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	16.0%	25.7%	16.7%	16.5%	14.2%	7.4%	3.3%	100.0%	58.6%	No aceptable
12	Baño 2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	14.2%	24.3%	17.5%	17.4%	15.2%	7.7%	3.5%	100.0%	56.2%	No aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	11.3%	22.3%	16.7%	18.5%	17.0%	9.5%	4.7%	100.0%	50.3%	No aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.8%	10.5%	23.1%	28.7%	24.5%	10.4%	1.0%	100.0%	35.4%	No aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.2%	9.4%	19.2%	25.2%	25.4%	15.3%	4.3%	100.0%	29.8%	No aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	7.8%	19.1%	24.1%	26.5%	17.1%	4.8%	100.0%	27.4%	No aceptable
PROMEDIO		0.0%	0.0%	0.4%	1.1%	2.4%	12.8%	20.5%	17.1%	18.6%	15.6%	8.0%	3.3%	100.0%	52.9%	No aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 2

Tabla 3-29 ZT1-C2 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m ² K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Descendente	2.594
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-30 ZT1-C2 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	26.00	°C	Recibidor	1	1
Min Air Temp	20.88	°C	Baño d. master	221	6
Max humidity	100.00	%	Baño servicio	208	9
Min humidity	49.25	%	Baño servicio	269	5
Max heating load	0.00	KW		0	0
Max cooling load	1.62	KW	Dormitorio master	126	20
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.38	KW	Cocina	1	13
Max resultant temp	31.12	°C	Dormitorio 2	55	10
Min resultant temp	22.55	°C	Baño d. master	221	6
Max MRT	36.24	°C	Dormitorio 2	55	10
Min MRT	23.79	°C	Baño d. master	220	7
Max external temp	34.90	°C	External	284	14
Min external temp	18.60	°C	External	227	6
Max external humidity	95.00	%	External	49	6
Min external humidity	36.00	%	External	245	15

Elaboración propia.

Tabla 3-31 ZT1-C2 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	25.66	26.00	21.24	72.57	100.00	50.40
2	Sala	25.65	26.00	21.16	76.29	100.00	50.85
3	Comedor	25.71	26.00	21.75	81.57	100.00	51.47
4	Cocina	25.91	26.00	22.47	88.55	100.00	50.84
5	Dormitorio servicio	25.76	26.00	21.96	79.48	100.00	51.70
6	Dormitorio master	25.68	26.00	21.06	79.54	100.00	51.54
7	Dormitorio 2	25.75	26.00	21.84	79.57	100.00	51.71
8	Dormitorio 3	25.77	26.00	21.96	79.90	100.00	51.54
9	Baño gnd.	25.94	26.00	23.20	85.33	100.00	49.55
10	Baño servicio	25.95	26.00	22.94	85.35	100.00	49.25
11	Baño d. master	25.61	26.00	20.88	82.36	100.00	51.51
12	Baño 2	25.76	26.00	21.58	83.40	100.00	51.46
13	Baño 3	25.85	26.00	21.94	84.15	100.00	51.83
14	Escaleras gnd. Floor	25.71	26.00	21.08	75.91	100.00	51.28
15	Escaleras 1st floor	25.78	26.00	21.14	75.24	100.00	51.17
16	Corredor 1st floor	25.83	26.00	21.87	75.36	100.00	51.36
PROMEDIO		25.77	26.00	21.75	80.29	100.00	51.09

Elaboración propia.

Observaciones:

La temperatura media anual de la vivienda es de 25.77°C, logrando la percepción de confort térmico debido a la utilización de AC. Sin embargo, la disminución de temperatura implica el incremento de humedad, generando en la vivienda condensación en algún momento. Según la Tabla 3-32, la demanda anual de energía por refrigeración es de 29346.58 [KWh]; bajo este parámetro se realiza la comparación de ahorro energético con las soluciones de aislación térmica.

Tabla 3-32 ZT1-C2 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]				DEMANDA POR m2 [KWh/m²]					
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	1016.22	0.00	0.42	475.56	24.88	0.00	151.47	0.00	0.06
2	Sala	19.881	0.00	2777.07	0.00	4.99	2147.79	229.89	0.00	139.68	0.00	0.25
3	Comedor	19.135	0.00	2150.75	0.00	40.02	409.46	309.05	0.00	112.40	0.00	2.09
4	Cocina	14.075	0.00	3034.64	0.00	398.93	1161.46	206.55	0.00	215.60	0.00	28.34
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	2181.32	0.00	5.32	1812.39	106.17	0.00	218.96	0.00	0.53
6	Dormitorio master	29.044	0.00	5071.44	0.00	15.51	2495.52	309.53	0.00	174.61	0.00	0.53
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	2229.87	0.00	5.35	1772.76	106.84	0.00	222.43	0.00	0.53
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	2865.99	0.00	7.31	1721.95	145.06	0.00	210.55	0.00	0.54
9	Baño gnd.	3.623	0.00	710.20	0.00	19.23	164.99	67.24	0.00	196.03	0.00	5.31
10	Baño servicio	3.536	0.00	772.68	0.00	18.86	146.84	65.62	0.00	218.52	0.00	5.33
11	Baño d. master	9.720	0.00	1874.51	0.00	40.90	807.55	180.40	0.00	192.85	0.00	4.21
12	Baño 2	3.628	0.00	1044.80	0.00	17.36	290.18	67.33	0.00	287.98	0.00	4.79
13	Baño 3	3.403	0.00	841.83	0.00	17.02	184.88	63.17	0.00	247.38	0.00	5.00
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	835.29	0.00	0.94	360.25	58.74	0.00	139.91	0.00	0.16
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	868.84	0.00	0.94	200.42	58.82	0.00	145.32	0.00	0.16
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	1071.13	0.00	1.09	93.74	67.97	0.00	155.03	0.00	0.16
TOTAL		165.211	0.00	29346.58	0.00	594.19	14245.74	2067.27	0.00	177.63	0.00	3.60
Peak			0.00	8.88	0.00	1.58	8.16	1.36				
Day			0	53	0	1	43	1				
Hour			0	14	0	8	9	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-33 ZT1-C2 - Análisis de confort en la vivienda

N°	ZONA	FRECUENCIA DE PMV												TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
		-3 ≤ PMV < -2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < -1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV < 3			
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.6%	10.6%	76.7%	9.1%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	90.9%	Aceptable
2	Sala	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	4.7%	60.1%	35.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	99.7%	Aceptable
3	Comedor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.6%	68.9%	28.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.6%	31.5%	64.9%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	35.1%	No aceptable
5	Dormitorio servicio	0.0%	0.0%	1.5%	5.3%	7.5%	35.7%	46.6%	3.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	93.2%	Aceptable
6	Dormitorio master	0.0%	0.3%	2.5%	5.3%	13.8%	31.9%	38.0%	8.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	91.9%	Aceptable
7	Dormitorio 2	0.0%	0.1%	1.9%	4.9%	11.5%	31.0%	43.2%	7.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	93.1%	Aceptable
8	Dormitorio 3	0.0%	0.1%	1.7%	4.8%	11.7%	34.2%	39.4%	8.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	93.3%	Aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	27.7%	72.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	25.6%	74.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
11	Baño d. master	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	18.5%	61.9%	19.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
12	Baño 2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	18.8%	66.7%	14.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	17.5%	75.1%	7.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.1%	10.1%	75.7%	12.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	88.0%	Aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.3%	10.1%	57.7%	30.9%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	69.1%	No aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	9.2%	66.2%	24.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	76.0%	No aceptable
PROMEDIO		0.0%	0.0%	0.5%	1.3%	3.3%	23.6%	39.0%	23.5%	8.8%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	89.4%	Aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 3

Tabla 3-34 ZT1-C3 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m ² K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Descendente	2.594
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana de baja TS	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-35 ZT1-C3 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	35.17	°C	Dormitorio master	101	15
Min Air Temp	19.94	°C	Baño 2	221	5
Max humidity	92.73	%	Baño gnd.	1	7
Min humidity	36.97	%	Dormitorio 3	335	16
Max heating load	0.00	KW		0	0
Max cooling load	0.00	KW		0	0
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.00	KW		0	0
Max resultant temp	35.87	°C	Dormitorio 2	53	15
Min resultant temp	21.78	°C	Baño 2	221	7
Max MRT	37.79	°C	Dormitorio 2	53	8
Min MRT	23.37	°C	Baño 2	221	7
Max external temp	34.90	°C	External	284	14
Min external temp	18.60	°C	External	227	6
Max external humidity	95.00	%	External	49	6
Min external humidity	36.00	%	External	245	15

Elaboración propia.

Tabla 3-36 ZT1-C3 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	27.27	34.18	20.74	65.97	92.65	41.17
2	Sala	27.27	34.35	20.56	66.10	92.31	40.66
3	Comedor	27.43	34.31	21.15	65.46	91.97	41.10
4	Cocina	28.26	34.73	22.29	63.18	90.45	39.43
5	Dormitorio servicio	27.72	34.54	21.47	64.29	90.78	38.32
6	Dormitorio master	27.93	35.17	20.64	63.56	89.31	39.14
7	Dormitorio 2	27.88	35.09	20.11	63.74	89.07	39.15
8	Dormitorio 3	27.86	35.01	20.08	63.80	89.00	36.97
9	Baño gnd.	27.53	33.37	21.06	65.15	92.73	42.98
10	Baño servicio	27.75	33.63	20.48	64.61	91.03	44.21
11	Baño d. master	27.96	34.97	20.48	63.63	89.98	39.74
12	Baño 2	27.90	34.64	19.94	63.70	89.63	39.30
13	Baño 3	28.12	34.73	20.30	62.93	88.29	38.82
14	Escaleras gnd. Floor	27.36	34.06	20.49	65.68	92.05	40.76
15	Escaleras 1st floor	27.46	34.70	20.26	65.26	90.79	39.33
16	Corredor 1st floor	27.58	34.74	20.40	64.80	89.96	38.99
PROMEDIO		27.71	34.51	20.65	64.49	90.62	40.01

Elaboración propia.

Observaciones:

Si comparamos los resultados del caso 1 y caso 3, la utilización de persianas de baja transmitancia solar, la implementación de focos fluorescentes y la apertura adecuada de puertas y ventanas disminuyen las ganancias solares, ganancias por iluminación y ventilan mejor la vivienda, incrementando el confort. Si bien la diferencia es modesta, denota la necesidad de una mejor ventilación natural, acompañada de la implementación de otras soluciones que disminuyan el aporte solar y así evitar el sobrecalentamiento.

Tabla 3-37 ZT1-C3 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m ²]	CARGAS ANUALES [KWh]				DEMANDA POR m ² [KWh/m ²]					
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	0.00	0.00	0.00	419.81	8.71	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Sala	19.881	0.00	0.00	0.00	0.00	2306.64	80.46	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Comedor	19.135	0.00	0.00	0.00	0.00	194.74	108.16	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Cocina	14.075	0.00	0.00	0.00	0.00	1104.36	72.30	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	0.00	0.00	0.00	1720.11	37.16	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Dormitorio master	29.044	0.00	0.00	0.00	0.00	2410.28	108.33	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	0.00	0.00	0.00	1712.66	37.39	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	0.00	0.00	0.00	1666.91	50.77	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Baño gnd.	3.623	0.00	0.00	0.00	0.00	164.99	23.53	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Baño servicio	3.536	0.00	0.00	0.00	0.00	146.84	22.97	0.00	0.00	0.00	0.00
11	Baño d. master	9.720	0.00	0.00	0.00	0.00	782.29	63.14	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Baño 2	3.628	0.00	0.00	0.00	0.00	290.18	23.57	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Baño 3	3.403	0.00	0.00	0.00	0.00	184.88	22.11	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	0.00	0.00	0.00	343.41	20.56	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	0.00	0.00	0.00	195.96	20.59	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	0.00	0.00	0.00	91.76	23.79	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL		165.211	0.00	0.00	0.00	0.00	13735.81	723.53	0.00	0.00	0.00	0.00
Peak			0.00	0.00	0.00	0.00	7.49	0.48				
Day			0	0	0	0	43	1				
Hour			0	0	0	0	9	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-38 ZT1-C3 - Análisis de confort en la vivienda

N°	ZONA	FRECUENCIA DE PMV												TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
		-3 ≤ PMV < -2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < -1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV ≤ 3			
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.4%	14.3%	26.6%	27.9%	20.0%	6.4%	0.5%	100.0%	45.2%	No aceptable
2	Sala	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	5.2%	26.2%	32.5%	14.2%	11.4%	6.5%	2.6%	0.6%	100.0%	78.2%	No aceptable
3	Comedor	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	3.9%	27.0%	34.4%	15.4%	11.4%	5.8%	1.7%	0.2%	100.0%	80.7%	Aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	5.1%	19.7%	31.8%	28.5%	13.2%	1.6%	100.0%	24.9%	No aceptable
5	Dormitorio servicio	0.0%	0.2%	2.1%	6.1%	10.6%	26.6%	28.4%	10.8%	7.9%	4.1%	2.2%	1.0%	100.0%	76.4%	No aceptable
6	Dormitorio master	0.0%	0.4%	2.6%	5.6%	9.4%	22.6%	24.6%	10.9%	9.4%	6.8%	4.0%	3.8%	100.0%	67.5%	No aceptable
7	Dormitorio 2	0.1%	0.5%	2.9%	5.7%	9.2%	22.7%	23.4%	10.9%	9.4%	6.9%	4.3%	4.1%	100.0%	66.2%	No aceptable
8	Dormitorio 3	0.1%	0.7%	3.0%	6.2%	9.2%	22.5%	23.7%	10.5%	9.2%	6.7%	4.2%	4.1%	100.0%	65.9%	No aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	17.8%	33.0%	21.8%	17.9%	7.9%	1.4%	0.1%	100.0%	72.6%	No aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	16.1%	30.0%	21.5%	19.3%	10.5%	2.3%	0.2%	100.0%	67.7%	No aceptable
11	Baño d. master	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	15.8%	25.4%	17.4%	16.7%	14.6%	6.8%	3.0%	100.0%	58.8%	No aceptable
12	Baño 2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.6%	16.8%	25.0%	17.1%	16.7%	14.0%	7.0%	2.8%	100.0%	59.5%	No aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	14.9%	24.5%	17.5%	17.2%	15.4%	7.4%	3.0%	100.0%	57.1%	No aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.4%	13.0%	25.6%	28.2%	21.7%	7.5%	0.5%	100.0%	42.1%	No aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.6%	12.4%	23.0%	25.9%	22.2%	10.4%	2.5%	100.0%	39.0%	No aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.3%	12.6%	22.6%	25.7%	22.9%	10.8%	2.3%	100.0%	38.4%	No aceptable
PROMEDIO		0.0%	0.1%	0.7%	1.5%	3.1%	15.2%	22.7%	17.8%	17.9%	13.4%	5.8%	1.9%	100.0%	58.8%	No aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 4.0

Tabla 3-39 ZT1-C4.0 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m²K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm con aislación de EPS	220	Horizontal	2.712
Aislación exterior	EPS (densidad 16 [Kg/m³], conductividad 0.04 [W/m. °C])	0		
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm con aislación de EPS	210	Descendente	2.594
Aislación exterior	EPS (densidad 16 [Kg/m³], conductividad 0.04 [W/m. °C])	0		
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana de baja TS	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-40 ZT1-C4.0 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	25.62	26.00	20.73	73.04	100.00	50.32
2	Sala	25.60	26.00	20.54	76.63	100.00	50.44
3	Comedor	25.66	26.00	21.15	81.28	100.00	51.41
4	Cocina	25.87	26.00	22.24	87.77	100.00	51.53
5	Dormitorio servicio	25.70	26.00	21.42	79.45	100.00	51.68
6	Dormitorio master	25.69	26.00	20.62	79.55	100.00	51.73
7	Dormitorio 2	25.67	26.00	20.08	79.39	100.00	51.65
8	Dormitorio 3	25.66	26.00	20.07	79.32	100.00	51.56
9	Baño gnd.	25.73	26.00	21.04	82.49	100.00	51.42
10	Baño servicio	25.74	26.00	20.46	82.92	100.00	51.48
11	Baño d. master	25.69	26.00	20.45	82.71	100.00	51.50
12	Baño 2	25.65	26.00	19.93	82.01	100.00	51.37
13	Baño 3	25.72	26.00	20.29	82.43	100.00	51.48
14	Escaleras gnd. Floor	25.64	26.00	20.48	76.39	100.00	51.41
15	Escaleras 1st floor	25.65	26.00	20.24	76.30	100.00	51.43
16	Corredor 1st floor	25.65	26.00	20.38	76.70	100.00	51.47
PROMEDIO		25.68	26.00	20.63	79.90	100.00	51.37

Elaboración propia.

Tabla 3-41 ZT1-C4.0 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]						DEMANDA POR m² [KWh/m²]			
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	986.75	0.00	0.43	419.81	8.71	0.00	147.08	0.00	0.06
2	Sala	19.881	0.00	2856.60	0.00	4.93	2306.64	80.46	0.00	143.69	0.00	0.25
3	Comedor	19.135	0.00	1942.10	0.00	37.23	194.74	108.16	0.00	101.49	0.00	1.95
4	Cocina	14.075	0.00	2910.79	0.00	375.81	1104.36	72.30	0.00	206.81	0.00	26.70
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	2116.64	0.00	5.31	1720.11	37.16	0.00	212.47	0.00	0.53
6	Dormitorio master	29.044	0.00	4979.94	0.00	15.28	2410.28	108.33	0.00	171.46	0.00	0.53
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	2183.42	0.00	5.14	1712.66	37.39	0.00	217.80	0.00	0.51
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	2762.15	0.00	6.97	1666.91	50.77	0.00	202.92	0.00	0.51
9	Baño gnd.	3.623	0.00	608.59	0.00	16.03	164.99	23.53	0.00	167.98	0.00	4.42
10	Baño servicio	3.536	0.00	660.70	0.00	16.54	146.84	22.97	0.00	186.85	0.00	4.68
11	Baño d. master	9.720	0.00	1846.68	0.00	44.11	782.29	63.14	0.00	189.99	0.00	4.54
12	Baño 2	3.628	0.00	967.14	0.00	15.28	290.18	23.57	0.00	266.58	0.00	4.21
13	Baño 3	3.403	0.00	732.76	0.00	15.25	184.88	22.11	0.00	215.33	0.00	4.48
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	761.32	0.00	0.94	343.41	20.56	0.00	127.53	0.00	0.16
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	791.64	0.00	0.95	195.96	20.59	0.00	132.40	0.00	0.16
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	942.23	0.00	1.12	91.76	23.79	0.00	136.38	0.00	0.16
TOTAL		165.211	0.00	28049.48	0.00	561.32	13735.81	723.53	0.00	169.78	0.00	3.40
Peak			0.00	8.55	0.00	1.58	7.49	0.48				
Day			0	53	0	1	43	1				
Hour			0	14	0	8	9	20				

Elaboración propia.

Observaciones:

Los cambios realizados en el caso 3: utilización de persianas de baja transmitancia solar, la implementación de focos fluorescentes y apertura adecuada de puertas y ventanas generan una disminución energética de 1297.10 [KWh] anuales al contrastarlo con el caso 2. Este ahorro puede ser aún mayor si consideramos el efecto sinérgico que genera combinar una adecuada cultura energética con la implementación de aislación térmica en elementos de envolvente.

Conclusiones:

Para la zona térmica 1, la tipología de vivienda no tiene un buen desempeño. Las elevadas temperaturas y humedad tanto al exterior como al interior, generan ausencia de confort higrotérmico. Sin embargo, la adopción de cambios simples en hábitos ocupacionales produce una modesta mejora, la cual puede ser potenciada con la adición de aislantes. Además, es clara la necesidad de un mejor diseño de ventilación, que puede acompañarse con soluciones tipo pérgolas o postigos para evitar sobrecalentamiento.

Cabe mencionar las ventajas que representa la inercia térmica de los materiales cementicios, sean estos bloques o elementos estructurales de hormigón, los cuales, junto a un ambiente térmico interior adecuado, mantienen el recinto fresco durante más tiempo en el día y durante la noche liberan el calor acumulado, complementando el trabajo del aislante para evitar sobrecalentamiento. Su influencia se refleja en el desempeño energético detallado más adelante.

3.6.1.4.2 Zona térmica 2

Caso 1

Tabla 3-42 ZT2-C1 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m ² K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Descendente	2.594
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-43 ZT2-C1 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	35.67	°C	Cocina	53	13
Min Air Temp	20.54	°C	Sala	223	5
Max humidity	94.24	%	Baño servicio	226	7
Min humidity	33.21	%	Dormitorio master	233	15
Max heating load	0.00	KW		0	0
Max cooling load	0.00	KW		0	0
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.00	KW		0	0
Max resultant temp	36.04	°C	Dormitorio 2	53	15
Min resultant temp	21.90	°C	Baño d. master	220	4
Max MRT	38.49	°C	Dormitorio 2	58	10
Min MRT	22.94	°C	Baño 2	261	5
Max external temp	34.40	°C	External	1	15
Min external temp	17.80	°C	External	234	6
Max external humidity	95.00	%	External	201	18
Min external humidity	33.00	%	External	233	14

Elaboración propia.

Tabla 3-44 ZT2-C1 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	26.99	33.94	20.63	65.84	88.29	33.79
2	Sala	27.00	34.11	20.54	65.87	88.28	33.62
3	Comedor	27.23	34.02	21.07	65.01	86.63	33.98
4	Cocina	28.32	35.67	21.89	62.52	84.34	35.00
5	Dormitorio servicio	27.57	34.52	21.30	63.78	86.02	34.26
6	Dormitorio master	27.43	34.60	20.76	64.37	89.63	33.21
7	Dormitorio 2	27.75	35.29	21.30	63.19	87.47	33.27
8	Dormitorio 3	27.81	35.36	21.40	63.01	87.04	33.86
9	Baño gnd.	27.81	32.79	22.39	63.48	92.97	37.69
10	Baño servicio	27.99	33.09	22.27	62.85	94.24	36.86
11	Baño d. master	27.18	34.35	20.59	65.36	90.96	33.41
12	Baño 2	27.57	34.26	21.18	63.97	92.75	35.39
13	Baño 3	27.95	34.38	21.45	62.68	92.33	35.24
14	Escaleras gnd. Floor	27.22	34.03	20.96	65.01	88.76	33.52
15	Escaleras 1st floor	27.62	34.24	20.93	63.52	89.13	33.57
16	Corredor 1st floor	27.90	34.30	21.42	62.50	87.34	34.22
PROMEDIO		27.58	34.31	21.25	63.94	89.13	34.43

Elaboración propia.

Observaciones:

El ambiente interior en la zona térmica 2 es igual de severo que en la zona 1. Los valores elevados de temperatura y humedad no generan confort, siendo solo un 5.6% más aceptable que el confort de su contraparte. Igualmente existe riesgo de condensación, por lo que se prevé la necesidad de incluir barreras de vapor a las soluciones constructivas tanto para la zona térmica 1 como para la zona 2.

Tabla 3-45 ZT2-C1 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]				DEMANDA POR m² [KWh/m²]					
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	0.00	0.00	0.00	450.28	24.88	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Sala	19.881	0.00	0.00	0.00	0.00	2027.17	229.89	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Comedor	19.135	0.00	0.00	0.00	0.00	386.44	309.05	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Cocina	14.075	0.00	0.00	0.00	0.00	1097.26	206.55	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	0.00	0.00	0.00	1716.28	106.17	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Dormitorio master	29.044	0.00	0.00	0.00	0.00	2359.70	309.53	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	0.00	0.00	0.00	1678.62	106.84	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	0.00	0.00	0.00	1629.03	145.06	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Baño gnd.	3.623	0.00	0.00	0.00	0.00	156.02	67.24	0.00	0.00	0.00	0.00
10	Baño servicio	3.536	0.00	0.00	0.00	0.00	138.54	65.62	0.00	0.00	0.00	0.00
11	Baño d. master	9.720	0.00	0.00	0.00	0.00	764.63	180.40	0.00	0.00	0.00	0.00
12	Baño 2	3.628	0.00	0.00	0.00	0.00	273.82	67.33	0.00	0.00	0.00	0.00
13	Baño 3	3.403	0.00	0.00	0.00	0.00	174.29	63.17	0.00	0.00	0.00	0.00
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	0.00	0.00	0.00	341.26	58.74	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	0.00	0.00	0.00	188.87	58.82	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	0.00	0.00	0.00	87.83	67.97	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL		165.211	0.00	0.00	0.00	0.00	13470.06	2067.27	0.00	0.00	0.00	0.00
Peak			0.00	0.00	0.00	0.00	7.95	1.36				
Day			0	0	0	0	39	1				
Hour			0	0	0	0	9	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-46 ZT2-C1 - Análisis de confort en la vivienda

N°	ZONA	FRECUENCIA DE PMV												TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
		-3 ≤ PMV < -2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < -1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV ≤ 3			
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.0%	17.0%	25.6%	25.5%	18.4%	6.1%	0.4%	100.0%	49.5%	No aceptable
2	Sala	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%	8.3%	25.8%	31.4%	12.7%	10.5%	6.6%	2.4%	0.8%	100.0%	78.2%	No aceptable
3	Comedor	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	6.4%	27.7%	32.4%	14.2%	11.4%	5.5%	1.8%	0.2%	100.0%	80.7%	Aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	7.6%	18.7%	28.4%	26.6%	15.1%	3.3%	100.0%	26.6%	No aceptable
5	Dormitorio servicio	0.0%	0.4%	4.1%	7.0%	10.1%	24.8%	26.1%	10.1%	7.8%	5.1%	2.8%	1.7%	100.0%	71.1%	No aceptable
6	Dormitorio master	0.1%	2.1%	5.8%	7.0%	9.2%	21.4%	22.7%	9.5%	8.2%	6.6%	4.1%	3.3%	100.0%	62.8%	No aceptable
7	Dormitorio 2	0.0%	1.2%	5.0%	6.2%	8.8%	20.3%	21.9%	9.5%	8.3%	7.3%	5.4%	5.9%	100.0%	60.5%	No aceptable
8	Dormitorio 3	0.0%	1.1%	4.9%	6.5%	8.8%	20.5%	22.9%	9.6%	8.5%	7.1%	4.7%	5.2%	100.0%	61.9%	No aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	15.3%	33.2%	20.7%	19.8%	9.2%	1.9%	0.0%	100.0%	69.2%	No aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	14.1%	31.2%	19.9%	20.4%	11.2%	3.0%	0.1%	100.0%	65.2%	No aceptable
11	Baño d. master	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.0%	21.4%	27.2%	15.8%	14.2%	11.7%	5.7%	2.0%	100.0%	66.4%	No aceptable
12	Baño 2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.2%	20.3%	26.9%	15.4%	15.5%	12.2%	6.4%	2.1%	100.0%	63.8%	No aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	16.7%	26.8%	14.7%	16.4%	14.3%	7.7%	3.1%	100.0%	58.5%	No aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.4%	15.1%	24.3%	26.6%	20.7%	7.4%	0.7%	100.0%	44.7%	No aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	4.8%	14.2%	20.8%	23.3%	22.0%	12.3%	2.6%	100.0%	39.8%	No aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.7%	13.3%	20.3%	22.6%	23.6%	13.3%	3.1%	100.0%	37.3%	No aceptable
	PROMEDIO	0.0%	0.3%	1.2%	1.8%	3.4%	15.6%	23.1%	16.4%	16.7%	13.0%	6.3%	2.2%	100.0%	58.5%	No aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 2

Tabla 3-47 ZT2-C2 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m ² K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Descendente	2.594
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-48 ZT2-C2 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	26.00	°C	Recibidor	1	1
Min Air Temp	20.54	°C	Sala	223	5
Max humidity	100.00	%	Baño 2	202	8
Min humidity	46.03	%	Recibidor	233	15
Max heating load	0.00	KW		0	0
Max cooling load	1.60	KW	Dormitorio master	59	20
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.38	KW	Cocina	77	20
Max resultant temp	31.01	°C	Dormitorio 2	58	10
Min resultant temp	21.90	°C	Baño d. master	220	4
Max MRT	36.01	°C	Dormitorio 2	58	10
Min MRT	22.94	°C	Baño 2	261	5
Max external temp	34.40	°C	External	1	15
Min external temp	17.80	°C	External	234	6
Max external humidity	95.00	%	External	201	18
Min external humidity	33.00	%	External	233	14

Elaboración propia.

Tabla 3-49 ZT2-C2 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	25.45	26.00	20.63	72.23	100.00	46.03
2	Sala	25.44	26.00	20.54	75.58	100.00	46.41
3	Comedor	25.52	26.00	21.07	80.35	100.00	46.80
4	Cocina	25.81	26.00	21.88	87.22	100.00	46.92
5	Dormitorio servicio	25.60	26.00	21.30	78.34	100.00	46.85
6	Dormitorio master	25.47	26.00	20.75	78.43	100.00	46.85
7	Dormitorio 2	25.57	26.00	21.30	78.55	100.00	47.01
8	Dormitorio 3	25.60	26.00	21.39	78.78	100.00	46.86
9	Baño gnd.	25.82	26.00	22.40	83.29	100.00	47.15
10	Baño servicio	25.84	26.00	22.27	83.39	100.00	47.26
11	Baño d. master	25.38	26.00	20.58	81.20	100.00	46.82
12	Baño 2	25.54	26.00	21.18	82.15	100.00	46.83
13	Baño 3	25.65	26.00	21.45	82.56	100.00	46.86
14	Escaleras gnd. Floor	25.51	26.00	20.96	75.11	100.00	46.80
15	Escaleras 1st floor	25.60	26.00	20.93	74.47	100.00	46.79
16	Corredor 1st floor	25.66	26.00	21.41	74.54	100.00	46.25
PROMEDIO		25.59	26.00	21.25	79.14	100.00	46.78

Elaboración propia.

Observaciones:

Al igual que en el caso 2 de la zona térmica 1, la disminución de temperatura por el sistema de AC genera mayor riesgo de condensación en la vivienda, por lo que es necesario implementar de barreras de vapor en los elementos de envolvente.

Con respecto a la demanda anual de energía por refrigeración, su valor es 24606.73 [KWh], 4739.85 [KWh] menos que la demanda de su contraparte en la zona 1, debido a las características propias del clima de esta zona térmica. Sin embargo, se considera igualmente alta por lo que es válido adoptar soluciones con aislación.

Tabla 3-50 ZT2-C2 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]						DEMANDA POR m² [KWh/m²]			
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	819.58	0.00	0.12	450.28	24.88	0.00	122.16	0.00	0.02
2	Sala	19.881	0.00	2297.57	0.00	3.07	2027.17	229.89	0.00	115.57	0.00	0.15
3	Comedor	19.135	0.00	1766.15	0.00	32.27	386.44	309.05	0.00	92.30	0.00	1.69
4	Cocina	14.075	0.00	2609.40	0.00	374.09	1097.26	206.55	0.00	185.39	0.00	26.58
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	1836.23	0.00	2.96	1716.28	106.17	0.00	184.32	0.00	0.30
6	Dormitorio master	29.044	0.00	4268.70	0.00	8.60	2359.70	309.53	0.00	146.97	0.00	0.30
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	1912.53	0.00	2.98	1678.62	106.84	0.00	190.78	0.00	0.30
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	2431.71	0.00	4.09	1629.03	145.06	0.00	178.64	0.00	0.30
9	Baño gnd.	3.623	0.00	577.24	0.00	16.70	156.02	67.24	0.00	159.33	0.00	4.61
10	Baño servicio	3.536	0.00	633.90	0.00	16.42	138.54	65.62	0.00	179.27	0.00	4.64
11	Baño d. master	9.720	0.00	1568.56	0.00	34.08	764.63	180.40	0.00	161.37	0.00	3.51
12	Baño 2	3.628	0.00	876.32	0.00	14.77	273.82	67.33	0.00	241.54	0.00	4.07
13	Baño 3	3.403	0.00	706.80	0.00	14.74	174.29	63.17	0.00	207.70	0.00	4.33
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	678.63	0.00	0.33	341.26	58.74	0.00	113.67	0.00	0.06
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	729.28	0.00	0.33	188.87	58.82	0.00	121.97	0.00	0.06
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	894.15	0.00	0.39	87.83	67.97	0.00	129.42	0.00	0.06
TOTAL		165.211	0.00	24606.73	0.00	525.95	13470.06	2067.27	0.00	148.94	0.00	3.18
Peak			0.00	8.45	0.00	1.29	7.95	1.36				
Day			0	59	0	78	39	1				
Hour			0	20	0	7	9	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-51 ZT2-C2 - Análisis de confort en la vivienda

N°	ZONA	FRECUENCIA DE PMV												TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
		-3 ≤ PMV < -2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < -1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV < 3			
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.4%	14.6%	71.7%	6.3%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	93.7%	Aceptable
2	Sala	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%	8.7%	53.0%	36.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	98.3%	Aceptable
3	Comedor	0.0%	0.0%	0.0%	0.4%	7.1%	61.2%	31.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	99.6%	Aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	8.4%	37.7%	53.6%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	46.4%	No aceptable
5	Dormitorio servicio	0.0%	0.5%	4.4%	7.9%	9.6%	37.6%	37.2%	2.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	87.2%	Aceptable
6	Dormitorio master	0.1%	2.2%	6.2%	7.6%	13.9%	30.2%	32.4%	7.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	84.0%	Aceptable
7	Dormitorio 2	0.0%	1.3%	5.3%	6.8%	12.0%	32.9%	34.9%	6.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	86.5%	Aceptable
8	Dormitorio 3	0.0%	1.2%	5.4%	7.0%	12.9%	33.9%	32.1%	7.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	86.5%	Aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	34.3%	65.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	32.3%	67.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
11	Baño d. master	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.1%	25.1%	57.1%	15.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
12	Baño 2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.2%	26.3%	60.9%	11.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.3%	25.9%	68.2%	5.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.7%	14.4%	71.1%	8.8%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	91.2%	Aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5.2%	14.7%	55.1%	25.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	75.0%	No aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	3.9%	15.1%	61.8%	19.1%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	80.9%	Aceptable
	PROMEDIO	0.0%	0.3%	1.3%	2.0%	4.2%	25.9%	37.0%	22.2%	7.1%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	89.3%	Aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 3

Tabla 3-52 ZT2-C3 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m ² K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Descendente	2.594
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana de baja TS	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-53 ZT2-C3 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	35.05	°C	Dormitorio 3	1	15
Min Air Temp	19.53	°C	Baño 2	223	5
Max humidity	100.00	%	Baño gnd.	202	8
Min humidity	33.43	%	Dormitorio servicio	233	14
Max heating load	0.00	KW		0	0
Max cooling load	0.00	KW		0	0
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.15	KW	Baño d. master	202	7
Max resultant temp	35.17	°C	Dormitorio 3	53	16
Min resultant temp	21.35	°C	Baño 2	223	6
Max MRT	36.30	°C	Dormitorio 2	54	8
Min MRT	22.56	°C	Baño 2	220	7
Max external temp	34.40	°C	External	1	15
Min external temp	17.80	°C	External	234	6
Max external humidity	95.00	%	External	201	18
Min external humidity	33.00	%	External	233	14

Elaboración propia.

Tabla 3-54 ZT2-C3 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	26.83	33.82	19.98	66.56	89.51	36.48
2	Sala	26.83	34.05	19.88	66.65	89.61	35.82
3	Comedor	26.98	33.99	20.40	66.09	88.50	35.76
4	Cocina	27.77	34.75	21.29	63.92	91.86	35.22
5	Dormitorio servicio	27.23	34.14	20.79	65.06	90.00	33.43
6	Dormitorio master	27.36	34.58	20.20	64.62	92.43	35.81
7	Dormitorio 2	27.30	34.68	20.03	64.84	92.41	35.68
8	Dormitorio 3	27.25	35.05	19.65	65.04	92.48	35.37
9	Baño gnd.	27.05	33.23	20.82	65.93	100.00	39.98
10	Baño servicio	27.15	32.69	19.93	65.91	100.00	42.14
11	Baño d. master	27.36	34.45	20.00	64.92	100.00	36.57
12	Baño 2	27.22	34.10	19.53	65.23	100.00	35.55
13	Baño 3	27.46	34.29	19.82	64.39	100.00	37.26
14	Escaleras gnd. Floor	26.89	33.95	20.34	66.36	89.03	36.58
15	Escaleras 1st floor	26.97	34.47	20.11	66.02	90.31	36.05
16	Corredor 1st floor	27.06	34.53	19.85	65.70	90.06	35.61
PROMEDIO		27.17	34.17	20.16	65.45	93.51	36.46

Elaboración propia.

Observaciones:

Al comparar las cifras de los casos 1 y 3, observamos que el efecto de aplicar persianas de baja transmitancia solar, focos fluorescentes y una apertura idónea de puertas y ventanas genera leves beneficios sobre el confort y disminución de ganancias solares, muy similares a los obtenidos en la zona térmica 1. Sin embargo, no se descarta su adopción puesto que complementan la acción de aislantes como se aprecia más adelante.

Tabla 3-55 ZT2-C3 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m ²]	CARGAS ANUALES [KWh]				DEMANDA POR m ² [KWh/m ²]					
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	0.00	0.00	0.00	397.48	8.71	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Sala	19.881	0.00	0.00	0.00	0.00	2177.61	80.46	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Comedor	19.135	0.00	0.00	0.00	0.00	183.69	108.16	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Cocina	14.075	0.00	0.00	0.00	0.00	1043.84	72.30	0.00	0.00	0.00	0.00
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	0.00	0.00	0.00	1627.91	37.16	0.00	0.00	0.00	0.00
6	Dormitorio master	29.044	0.00	0.00	0.00	0.00	2279.41	108.33	0.00	0.00	0.00	0.00
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	0.00	0.00	0.00	1621.25	37.39	0.00	0.00	0.00	0.00
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	0.00	0.00	0.00	1577.85	50.77	0.00	0.00	0.00	0.00
9	Baño gnd.	3.623	0.00	0.00	0.00	0.07	156.02	23.53	0.00	0.00	0.00	0.02
10	Baño servicio	3.536	0.00	0.00	0.00	0.07	138.54	22.97	0.00	0.00	0.00	0.02
11	Baño d. master	9.720	0.00	0.00	0.00	0.20	740.64	63.14	0.00	0.00	0.00	0.02
12	Baño 2	3.628	0.00	0.00	0.00	0.08	273.82	23.57	0.00	0.00	0.00	0.02
13	Baño 3	3.403	0.00	0.00	0.00	0.08	174.29	22.11	0.00	0.00	0.00	0.02
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	0.00	0.00	0.00	325.40	20.56	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	0.00	0.00	0.00	184.64	20.59	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	0.00	0.00	0.00	86.02	23.79	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL		165.211	0.00	0.00	0.00	0.50	12988.40	723.53	0.00	0.00	0.00	0.00
Peak			0.00	0.00	0.00	0.37	7.33	0.48				
Day			0	0	0	202	212	1				
Hour			0	0	0	7	9	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-56 ZT2-C3 - Análisis de confort en la vivienda

FRECUENCIA DE PMV																
N°	ZONA	-3 ≤ PMV < - 2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < - 1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV ≤ 3	TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.4%	19.1%	26.6%	25.3%	16.6%	4.7%	0.2%	100.0%	53.1%	No aceptable
2	Sala	0.0%	0.0%	0.1%	2.7%	8.7%	27.9%	32.2%	12.2%	9.2%	4.9%	1.8%	0.3%	100.0%	81.0%	Aceptable
3	Comedor	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%	8.5%	28.9%	33.7%	13.6%	8.8%	4.0%	1.2%	0.1%	100.0%	84.8%	Aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	11.3%	22.3%	30.3%	24.7%	9.5%	1.1%	100.0%	34.3%	No aceptable
5	Dormitorio servicio	0.0%	1.2%	6.2%	8.2%	11.6%	26.4%	25.8%	9.4%	5.9%	3.3%	1.3%	0.7%	100.0%	73.2%	No aceptable
6	Dormitorio master	0.3%	2.4%	6.3%	7.6%	10.0%	22.9%	22.4%	9.3%	8.0%	5.2%	3.2%	2.2%	100.0%	64.7%	No aceptable
7	Dormitorio 2	0.5%	2.9%	6.1%	7.7%	10.1%	22.4%	21.5%	9.5%	7.7%	5.6%	3.5%	2.6%	100.0%	63.5%	No aceptable
8	Dormitorio 3	0.7%	3.0%	6.4%	7.8%	10.6%	22.1%	21.8%	9.5%	7.4%	5.1%	3.2%	2.6%	100.0%	63.9%	No aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	24.1%	34.5%	20.0%	14.1%	5.9%	0.9%	0.0%	100.0%	79.1%	No aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.0%	22.7%	32.8%	19.4%	15.4%	7.4%	1.4%	0.0%	100.0%	75.9%	No aceptable
11	Baño d. master	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.1%	21.5%	27.5%	15.6%	14.6%	11.5%	5.3%	1.9%	100.0%	66.7%	No aceptable
12	Baño 2	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.9%	22.5%	27.2%	15.7%	14.0%	10.9%	5.2%	1.6%	100.0%	68.3%	No aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.8%	21.1%	27.5%	15.5%	15.2%	11.6%	5.4%	1.9%	100.0%	65.9%	No aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.1%	17.5%	26.3%	25.6%	17.8%	5.4%	0.3%	100.0%	50.9%	No aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.5%	16.9%	23.5%	23.3%	19.0%	8.2%	1.6%	100.0%	47.9%	No aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	7.4%	16.9%	23.2%	23.6%	19.1%	8.2%	1.6%	100.0%	47.5%	No aceptable
	PROMEDIO	0.1%	0.6%	1.6%	2.2%	4.2%	18.3%	24.3%	17.0%	15.5%	10.8%	4.3%	1.2%	100.0%	63.8%	No aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 4.0

Tabla 3-57 ZT2-C4.0 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m²K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm con aislación de EPS	220	Horizontal	2.712
Aislación exterior	EPS (densidad 16 [Kg/m³], conductividad 0.04 [W/m. °C])	0		
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm con aislación de EPS	210	Descendente	2.594
Aislación exterior	EPS (densidad 16 [Kg/m³], conductividad 0.04 [W/m. °C])	0		
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana de baja TS	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-58 ZT2-C4.0 - Desempeño de la vivienda

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	25.40	26.00	19.98	72.70	100.00	46.01
2	Sala	25.39	26.00	19.88	75.98	100.00	46.02
3	Comedor	25.46	26.00	20.40	80.11	100.00	46.98
4	Cocina	25.72	26.00	21.29	86.24	100.00	47.07
5	Dormitorio servicio	25.51	26.00	20.79	78.30	100.00	46.83
6	Dormitorio master	25.47	26.00	20.19	78.38	100.00	46.84
7	Dormitorio 2	25.44	26.00	20.03	78.29	100.00	46.84
8	Dormitorio 3	25.42	26.00	19.65	78.22	100.00	46.83
9	Baño gnd.	25.53	26.00	20.82	81.08	100.00	46.82
10	Baño servicio	25.53	26.00	19.93	81.41	100.00	46.83
11	Baño d. master	25.46	26.00	20.00	81.40	100.00	46.83
12	Baño 2	25.39	26.00	19.53	80.75	100.00	46.79
13	Baño 3	25.48	26.00	19.81	81.09	100.00	46.82
14	Escaleras gnd. Floor	25.43	26.00	20.35	75.67	100.00	46.83
15	Escaleras 1st floor	25.42	26.00	20.11	75.63	100.00	46.83
16	Corredor 1st floor	25.41	26.00	19.85	76.04	100.00	46.83
PROMEDIO		25.47	26.00	20.16	78.83	100.00	46.75

Elaboración propia.

Tabla 3-59 ZT2-C4.0 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]						DEMANDA POR m² [KWh/m²]			
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	792.88	0.00	0.12	397.48	8.71	0.00	118.18	0.00	0.02
2	Sala	19.881	0.00	2362.23	0.00	3.02	2177.61	80.46	0.00	118.82	0.00	0.15
3	Comedor	19.135	0.00	1572.93	0.00	30.55	183.69	108.16	0.00	82.20	0.00	1.60
4	Cocina	14.075	0.00	2474.72	0.00	343.59	1043.84	72.30	0.00	175.82	0.00	24.41
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	1765.94	0.00	2.95	1627.91	37.16	0.00	177.27	0.00	0.30
6	Dormitorio master	29.044	0.00	4172.52	0.00	8.41	2279.41	108.33	0.00	143.66	0.00	0.29
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	1854.60	0.00	2.80	1621.25	37.39	0.00	185.00	0.00	0.28
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	2321.17	0.00	3.82	1577.85	50.77	0.00	170.52	0.00	0.28
9	Baño gnd.	3.623	0.00	487.90	0.00	13.38	156.02	23.53	0.00	134.67	0.00	3.69
10	Baño servicio	3.536	0.00	532.56	0.00	13.55	138.54	22.97	0.00	150.61	0.00	3.83
11	Baño d. master	9.720	0.00	1539.14	0.00	36.18	740.64	63.14	0.00	158.35	0.00	3.72
12	Baño 2	3.628	0.00	804.41	0.00	12.21	273.82	23.57	0.00	221.72	0.00	3.36
13	Baño 3	3.403	0.00	608.75	0.00	12.50	174.29	22.11	0.00	178.89	0.00	3.67
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	611.44	0.00	0.34	325.40	20.56	0.00	102.42	0.00	0.06
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	658.61	0.00	0.34	184.64	20.59	0.00	110.15	0.00	0.06
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	777.61	0.00	0.42	86.02	23.79	0.00	112.55	0.00	0.06
TOTAL		165.211	0.00	23337.43	0.00	484.18	12988.40	723.53	0.00	141.26	0.00	2.93
Peak			0.00	7.95	0.00	1.29	7.33	0.48				
Day			0	59	0	78	212	1				
Hour			0	20	0	7	9	20				

Elaboración propia.

Observaciones:

Los cambios ocupacionales generan un ahorro energético de 1269.3 [KWh] anuales, similar al ahorro obtenido en el caso 4.0 de la zona 1, por lo que se puede estandarizar la influencia de estas acciones en la demanda energética para las zonas cálidas.

Conclusiones:

Al igual que en la zona térmica 1, la vivienda no muestra un desempeño aceptable. Las medidas adoptadas generan resultados en ahorro energético y confort similares para las 2 zonas, los cuales pueden ser mejorados con estrategias sostenibles, arquitectónicas e ingenieriles.

En ambas zonas se presentaron situaciones de condensación, por lo que incorporar de barreras de vapor sería justificable; aunque cabe destacar, que en la zona térmica 2 existen regiones con humedad relativa baja, que de acuerdo a la zonificación higrotérmica no requieren barreras de vapor. Esto demanda una investigación complementaria sobre humedad, ya que si bien en este estudio se demuestra la existencia de condensación, no se establece la frecuencia del evento, lo cual apoya incluir o no esta protección.

3.6.1.4.3 Zona térmica 3

Caso 1

Tabla 3-60 ZT3-C1 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m ² K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Ascendente	3.169
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-61 ZT3-C1 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	24.64	°C	Dormitorio master	230	15
Min Air Temp	15.04	°C	Baño 2	188	9
Max humidity	100.00	%	Baño servicio	167	8
Min humidity	29.27	%	Escaleras 1st floor	237	15
Max heating load	0.00	KW		0	0
Max cooling load	0.00	KW		0	0
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.20	KW	Cocina	44	7
Max resultant temp	24.74	°C	Dormitorio 3	3	15
Min resultant temp	15.26	°C	Baño 2	44	5
Max MRT	27.90	°C	Dormitorio 2	55	9
Min MRT	15.25	°C	Baño 2	188	7
Max external temp	25.10	°C	External	231	14
Min external temp	6.10	°C	External	277	6
Max external humidity	99.00	%	External	110	6
Min external humidity	28.00	%	External	237	15

Elaboración propia.

Tabla 3-62 ZT3-C1 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	18.96	24.08	15.86	61.10	98.69	31.20
2	Sala	19.08	24.24	15.96	60.68	97.84	31.05
3	Comedor	19.18	24.06	16.18	60.48	97.08	31.17
4	Cocina	19.56	24.22	16.10	68.50	100.00	34.73
5	Dormitorio servicio	19.47	23.59	16.33	66.51	100.00	30.87
6	Dormitorio master	19.48	24.64	15.80	64.37	100.00	29.65
7	Dormitorio 2	19.81	24.33	15.76	62.38	100.00	29.75
8	Dormitorio 3	19.48	24.35	15.69	64.87	100.00	30.97
9	Baño gnd.	19.18	22.24	16.82	75.98	100.00	35.70
10	Baño servicio	19.03	21.80	16.56	76.49	100.00	36.87
11	Baño d. master	19.11	24.61	15.34	71.76	100.00	29.79
12	Baño 2	18.66	23.03	15.04	75.75	100.00	34.12
13	Baño 3	19.57	23.34	16.06	68.92	100.00	33.05
14	Escaleras gnd. Floor	19.14	24.47	16.25	60.53	97.78	29.91
15	Escaleras 1st floor	19.56	24.54	16.14	58.58	98.41	29.27
16	Corredor 1st floor	19.65	24.19	16.20	58.28	98.62	29.96
PROMEDIO		19.31	23.86	16.01	65.95	99.28	31.75

Elaboración propia.

Observaciones:

Las condiciones climáticas son inocuas en relación a las zonas vistas anteriormente, lo cual permite obtener al interior de la vivienda una temperatura media anual de 19.31°C y humedad relativa de 65.95%, colocándola dentro de la zona de confort. Sin embargo, la Tabla 3-64 muestra total ausencia de comodidad en los dormitorios, a pesar de tener las mayores ganancias solares de la tipología. Las razones pueden ser tanto a nivel del usuario como de ambiente, recordando que el confort de los ocupantes se define, según ASHRAE, por el índice metabólico, indumentaria, temperatura del aire, temperatura radiante, velocidad del aire y humedad.

Tabla 3-63 ZT3-C1 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]				DEMANDA POR m² [KWh/m²]					
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	0.00	0.00	0.00	510.35	24.88	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Sala	19.881	0.00	0.00	0.00	0.00	2290.91	229.89	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Comedor	19.135	0.00	0.00	0.00	0.00	451.28	309.05	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Cocina	14.075	0.00	0.00	0.00	16.38	1145.75	206.55	0.00	0.00	0.00	1.16
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	0.00	0.00	0.07	1942.61	106.17	0.00	0.00	0.00	0.01
6	Dormitorio master	29.044	0.00	0.00	0.00	0.53	2702.67	309.53	0.00	0.00	0.00	0.02
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	0.00	0.00	0.15	1907.19	106.84	0.00	0.00	0.00	0.02
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	0.00	0.00	0.28	1705.98	145.06	0.00	0.00	0.00	0.02
9	Baño gnd.	3.623	0.00	0.00	0.00	12.98	174.24	67.24	0.00	0.00	0.00	3.58
10	Baño servicio	3.536	0.00	0.00	0.00	14.61	143.81	65.62	0.00	0.00	0.00	4.13
11	Baño d. master	9.720	0.00	0.00	0.00	40.75	853.36	180.40	0.00	0.00	0.00	4.19
12	Baño 2	3.628	0.00	0.00	0.00	19.17	284.52	67.33	0.00	0.00	0.00	5.28
13	Baño 3	3.403	0.00	0.00	0.00	10.43	180.47	63.17	0.00	0.00	0.00	3.07
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	0.00	0.00	0.00	375.41	58.74	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	0.00	0.00	0.00	223.79	58.82	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	0.00	0.00	0.00	101.53	67.97	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL		165.211	0.00	0.00	0.00	115.36	14993.87	2067.27	0.00	0.00	0.00	0.70
Peak			0.00	0.00	0.00	0.67	9.06	1.36				
Day			0	0	0	112	193	1				
Hour			0	0	0	7	9	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-64 ZT3-C1 - Análisis de confort en la vivienda

N°	ZONA	FRECUENCIA DE PMV												TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
		-3 ≤ PMV < -2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < -1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV < 3			
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	46.3%	53.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
2	Sala	0.0%	0.0%	13.3%	50.2%	35.2%	1.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	36.4%	No aceptable
3	Comedor	0.0%	0.0%	7.3%	58.5%	34.0%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	34.2%	No aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	40.0%	59.7%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
5	Dormitorio servicio	5.1%	32.6%	49.1%	12.8%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.4%	No aceptable
6	Dormitorio master	7.6%	27.9%	51.4%	12.1%	1.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	1.0%	No aceptable
7	Dormitorio 2	3.8%	20.0%	50.3%	22.1%	3.8%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	3.9%	No aceptable
8	Dormitorio 3	9.3%	27.8%	47.5%	14.2%	1.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	1.3%	No aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	43.2%	56.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	99.9%	Aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	48.0%	51.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	99.3%	Aceptable
11	Baño d. master	0.0%	0.0%	0.0%	2.9%	39.0%	56.5%	1.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	97.1%	Aceptable
12	Baño 2	0.0%	0.0%	0.0%	7.4%	49.4%	42.8%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	92.6%	Aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.0%	0.0%	0.5%	28.0%	69.8%	1.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	99.5%	Aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	50.0%	50.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	50.9%	49.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	50.4%	49.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
PROMEDIO		1.6%	6.8%	13.7%	11.3%	17.7%	32.3%	16.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	66.6%	No aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 2

Tabla 3-65 ZT3-C2 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m ² K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Ascendente	3.169
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-66 ZT3-C2 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	24.35	°C	Dormitorio 3	3	15
Min Air Temp	18.00	°C	Baño d. master	1	1
Max humidity	100.00	%	Baño 2	9	7
Min humidity	31.56	%	Dormitorio master	185	16
Max heating load	0.44	KW	Dormitorio master	46	7
Max cooling load	0.00	KW		0	0
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.19	KW	Baño d. master	352	7
Max resultant temp	24.75	°C	Dormitorio 3	3	15
Min resultant temp	16.97	°C	Baño 2	188	7
Max MRT	27.90	°C	Dormitorio 2	55	9
Min MRT	15.94	°C	Baño 2	188	7
Max external temp	25.10	°C	External	231	14
Min external temp	6.10	°C	External	277	6
Max external humidity	99.00	%	External	110	6
Min external humidity	28.00	%	External	237	15

Elaboración propia.

Tabla 3-67 ZT3-C2 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	19.08	22.91	18.00	60.53	97.60	34.23
2	Sala	19.19	23.06	18.00	60.33	96.88	33.92
3	Comedor	19.27	22.84	18.00	60.20	96.11	34.43
4	Cocina	19.64	24.22	18.00	68.26	100.00	37.35
5	Dormitorio servicio	19.53	23.25	18.00	66.22	100.00	34.28
6	Dormitorio master	19.57	23.89	18.00	63.96	100.00	31.56
7	Dormitorio 2	19.86	24.07	18.00	62.04	100.00	32.02
8	Dormitorio 3	19.58	24.35	18.00	64.35	100.00	34.27
9	Baño gnd.	19.22	21.38	18.00	76.18	100.00	37.35
10	Baño servicio	19.10	21.74	18.00	76.47	100.00	38.50
11	Baño d. master	19.25	23.44	18.00	71.63	100.00	33.45
12	Baño 2	18.94	22.28	18.00	75.18	100.00	35.12
13	Baño 3	19.63	22.58	18.00	68.95	100.00	33.67
14	Escaleras gnd. Floor	19.22	22.97	18.00	60.31	97.05	34.12
15	Escaleras 1st floor	19.61	23.01	18.00	58.45	98.09	33.67
16	Corredor 1st floor	19.69	23.06	18.00	58.13	98.22	33.09
PROMEDIO		19.40	23.07	18.00	65.70	99.00	34.44

Elaboración propia.

Observaciones:

Con el funcionamiento del sistema AC, se logra una temperatura mínima constante de 18°C; a pesar de esto, no se aprecia mayor variación en los valores de temperatura media anual y humedad relativa con respecto al caso 1. El confort en los dormitorios sigue siendo nulo, por lo que se puede descartar la temperatura y humedad como las posibles causas, al encontrarse estas dentro de valores admisibles. Tanto en los dormitorios, como en la sala y comedor, el índice metabólico es bajo (0.8 - 1.0), por lo cual la baja actividad realizada en estos amplios ambientes genera la sensación de frío en relación al resto de recintos.

Tabla 3-68 ZT3-C2 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]				DEMANDA POR m² [KWh/m²]					
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	72.54	0.00	0.00	0.00	510.35	24.88	10.81	0.00	0.00	0.00
2	Sala	19.881	119.06	0.00	0.00	0.00	2290.91	229.89	5.99	0.00	0.00	0.00
3	Comedor	19.135	5.33	0.00	0.00	0.00	451.28	309.05	0.28	0.00	0.00	0.00
4	Cocina	14.075	48.92	0.00	0.00	11.36	1145.75	206.55	3.48	0.00	0.00	0.81
5	Dormitorio servicio	9.962	31.11	0.00	0.00	0.02	1942.61	106.17	3.12	0.00	0.00	0.00
6	Dormitorio master	29.044	119.13	0.00	0.00	0.13	2702.67	309.53	4.10	0.00	0.00	0.00
7	Dormitorio 2	10.025	22.66	0.00	0.00	0.03	1907.19	106.84	2.26	0.00	0.00	0.00
8	Dormitorio 3	13.612	82.18	0.00	0.00	0.06	1705.98	145.06	6.04	0.00	0.00	0.00
9	Baño gnd.	3.623	2.89	0.00	0.00	12.74	174.24	67.24	0.80	0.00	0.00	3.52
10	Baño servicio	3.536	11.61	0.00	0.00	14.32	143.81	65.62	3.28	0.00	0.00	4.05
11	Baño d. master	9.720	82.62	0.00	0.00	38.27	853.36	180.40	8.50	0.00	0.00	3.94
12	Baño 2	3.628	90.41	0.00	0.00	17.26	284.52	67.33	24.92	0.00	0.00	4.76
13	Baño 3	3.403	8.03	0.00	0.00	10.05	180.47	63.17	2.36	0.00	0.00	2.95
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	9.40	0.00	0.00	0.00	375.41	58.74	1.58	0.00	0.00	0.00
15	Escaleras 1st floor	5.979	19.10	0.00	0.00	0.00	223.79	58.82	3.20	0.00	0.00	0.00
16	Corredor 1st floor	6.909	6.86	0.00	0.00	0.00	101.53	67.97	0.99	0.00	0.00	0.00
TOTAL		165.211	731.84	0.00	0.00	104.25	14993.87	2067.27	4.43	0.00	0.00	0.63
Peak			2.23	0.00	0.00	0.62	9.06	1.36				
Day			46	0	0	112	193	1				
Hour			6	0	0	7	9	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-69 ZT3-C2 - Análisis de confort en la vivienda

N°	ZONA	FRECUENCIA DE PMV												TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
		-3 ≤ PMV < -2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < -1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV < 3			
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	41.0%	59.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
2	Sala	0.0%	0.0%	8.9%	53.9%	36.3%	0.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	37.2%	No aceptable
3	Comedor	0.0%	0.0%	1.3%	64.2%	34.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	34.6%	No aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	41.6%	58.1%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
5	Dormitorio servicio	1.5%	34.9%	50.5%	12.6%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.4%	No aceptable
6	Dormitorio master	3.2%	31.4%	52.6%	12.0%	0.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.8%	No aceptable
7	Dormitorio 2	1.3%	21.1%	51.2%	22.5%	3.8%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	3.8%	No aceptable
8	Dormitorio 3	4.5%	31.4%	48.6%	14.3%	1.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	1.2%	No aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	41.0%	59.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	47.8%	52.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
11	Baño d. master	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	40.7%	57.8%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
12	Baño 2	0.0%	0.0%	0.0%	0.2%	55.3%	44.2%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	99.8%	Aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	27.1%	71.1%	1.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	48.8%	51.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	50.1%	49.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	50.3%	49.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
PROMEDIO		0.7%	7.4%	13.3%	11.2%	18.1%	32.3%	17.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	67.4%	No aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 3

Tabla 3-70 ZT3-C3 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m²K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Ascendente	3.169
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana de baja TS	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-71 ZT3-C3 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	23.71	°C	Cocina	53	13
Min Air Temp	14.85	°C	Baño 2	188	9
Max humidity	100.00	%	Baño gnd.	16	8
Min humidity	32.40	%	Dormitorio master	185	15
Max heating load	0.00	KW		0	0
Max cooling load	0.00	KW		0	0
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.20	KW	Baño d. master	112	7
Max resultant temp	23.51	°C	Dormitorio 3	3	15
Min resultant temp	15.07	°C	Baño 2	46	7
Max MRT	26.74	°C	Dormitorio 2	55	8
Min MRT	15.03	°C	Baño 2	188	7
Max external temp	25.10	°C	External	231	14
Min external temp	6.10	°C	External	277	6
Max external humidity	99.00	%	External	110	6
Min external humidity	28.00	%	External	237	15

Elaboración propia.

Tabla 3-72 ZT3-C3 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	18.32	22.41	15.61	59.62	95.64	34.85
2	Sala	18.42	22.72	15.70	59.32	94.90	34.70
3	Comedor	18.51	22.79	15.91	59.19	94.26	34.96
4	Cocina	18.75	23.71	15.76	62.84	100.00	34.07
5	Dormitorio servicio	18.61	23.11	15.95	63.04	100.00	33.63
6	Dormitorio master	18.74	23.35	15.52	61.64	100.00	32.40
7	Dormitorio 2	18.86	23.20	15.53	60.75	100.00	33.73
8	Dormitorio 3	18.61	23.69	15.40	61.81	100.00	34.23
9	Baño gnd.	18.42	21.55	16.61	64.70	100.00	36.59
10	Baño servicio	18.34	21.09	16.18	67.89	100.00	40.55
11	Baño d. master	18.49	23.30	15.14	64.84	100.00	33.26
12	Baño 2	18.26	23.00	14.85	63.52	100.00	34.45
13	Baño 3	18.72	22.93	15.79	62.54	100.00	34.66
14	Escaleras gnd. Floor	18.43	22.63	16.00	59.41	94.95	34.75
15	Escaleras 1st floor	18.71	22.95	15.95	58.91	95.55	33.84
16	Corredor 1st floor	18.79	23.13	15.99	58.58	95.65	34.13
PROMEDIO		18.56	22.85	15.74	61.79	98.18	34.68

Elaboración propia.

Observaciones:

La limitación de ganancias solares y de iluminación a través de persianas de baja transmitancia solar y el cambio de focos incandescentes a fluorescentes han reducido levemente la temperatura y humedad relativa de la vivienda, manteniéndola aún dentro de los rangos de confort.

A diferencia de las zonas cálidas, la aplicación de estos cambios resulta inconveniente. Sin embargo, la transición de focos incandescentes a ahorradores se encuentra incluida dentro de las estrategias de eficiencia energética en el Ecuador, por lo que es prudente considerar este efecto.

Tabla 3-73 ZT3-C3 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m ²]	CARGAS ANUALES [KWh]				DEMANDA POR m ² [KWh/m ²]					
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	0.00	0.00	0.00	446.40	8.71	0.00	0.00	0.00	0.00
2	Sala	19.881	0.00	0.00	0.00	0.00	2491.33	80.46	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Comedor	19.135	0.00	0.00	0.00	0.00	216.21	108.16	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Cocina	14.075	0.00	0.00	0.00	0.70	1093.58	72.30	0.00	0.00	0.00	0.05
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	0.00	0.00	0.09	1852.41	37.16	0.00	0.00	0.00	0.01
6	Dormitorio master	29.044	0.00	0.00	0.00	0.54	2616.14	108.33	0.00	0.00	0.00	0.02
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	0.00	0.00	0.19	1844.28	37.39	0.00	0.00	0.00	0.02
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	0.00	0.00	0.32	1653.46	50.77	0.00	0.00	0.00	0.02
9	Baño gnd.	3.623	0.00	0.00	0.00	3.52	174.24	23.53	0.00	0.00	0.00	0.97
10	Baño servicio	3.536	0.00	0.00	0.00	5.16	143.81	22.97	0.00	0.00	0.00	1.46
11	Baño d. master	9.720	0.00	0.00	0.00	21.50	827.15	63.14	0.00	0.00	0.00	2.21
12	Baño 2	3.628	0.00	0.00	0.00	9.57	284.52	23.57	0.00	0.00	0.00	2.64
13	Baño 3	3.403	0.00	0.00	0.00	4.77	180.47	22.11	0.00	0.00	0.00	1.40
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	0.00	0.00	0.00	354.94	20.56	0.00	0.00	0.00	0.00
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	0.00	0.00	0.00	218.21	20.59	0.00	0.00	0.00	0.00
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	0.00	0.00	0.00	99.15	23.79	0.00	0.00	0.00	0.00
TOTAL		165.211	0.00	0.00	0.00	46.36	14496.29	723.53	0.00	0.00	0.00	0.28
Peak			0.00	0.00	0.00	0.49	8.84	0.48				
Day			0	0	0	112	55	1				
Hour			0	0	0	7	8	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-74 ZT3-C3 - Análisis de confort en la vivienda

N°	ZONA	FRECUENCIA DE PMV												TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
		-3 ≤ PMV < -2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < -1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV ≤ 3			
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	28.4%	71.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
2	Sala	0.0%	0.4%	24.7%	64.8%	10.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	10.1%	No aceptable
3	Comedor	0.0%	0.0%	18.7%	74.6%	6.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	6.7%	No aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	45.1%	54.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
5	Dormitorio servicio	16.9%	64.9%	16.4%	1.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
6	Dormitorio master	17.0%	57.9%	21.1%	3.9%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.1%	No aceptable
7	Dormitorio 2	11.1%	55.5%	27.6%	5.5%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.2%	No aceptable
8	Dormitorio 3	20.3%	57.4%	18.3%	3.8%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.2%	No aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	0.0%	0.7%	90.6%	8.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	99.3%	Aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.0%	0.0%	2.4%	88.5%	9.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	97.6%	Aceptable
11	Baño d. master	0.0%	0.0%	0.0%	6.6%	72.7%	20.2%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	93.4%	Aceptable
12	Baño 2	0.0%	0.0%	0.0%	12.7%	70.9%	16.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	87.3%	Aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.0%	0.0%	1.7%	72.9%	25.1%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	98.3%	Aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	24.1%	75.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	31.5%	68.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	33.1%	66.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
PROMEDIO		4.1%	14.8%	7.9%	11.2%	25.8%	15.1%	21.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	62.1%	No aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 4.0

Tabla 3-75 ZT3-C4.0 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m²K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm con aislación de EPS	220	Horizontal	2.712
<i>Aislación exterior</i>	<i>EPS (densidad 16 [Kg/m³], conductividad 0.04 [W/m. °C])</i>	0		
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm con aislación de EPS	210	Ascendente	3.169
<i>Aislación exterior</i>	<i>EPS (densidad 16 [Kg/m³], conductividad 0.04 [W/m. °C])</i>	0		
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana de baja TS	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-76 ZT3-C4.0 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	18.54	22.42	18.00	58.30	90.35	34.46
2	Sala	18.62	22.72	18.00	58.43	90.38	34.34
3	Comedor	18.68	22.79	18.00	58.41	89.90	34.82
4	Cocina	18.90	23.71	18.00	61.96	100.00	34.00
5	Dormitorio servicio	18.73	23.11	18.00	62.28	100.00	33.59
6	Dormitorio master	18.86	23.35	18.00	60.88	100.00	32.31
7	Dormitorio 2	18.96	23.20	18.00	60.03	100.00	33.71
8	Dormitorio 3	18.76	23.72	18.00	60.90	100.00	34.23
9	Baño gnd.	18.51	21.55	18.00	63.48	100.00	36.16
10	Baño servicio	18.50	21.09	18.00	66.65	100.00	40.14
11	Baño d. master	18.71	23.30	18.00	63.77	100.00	33.13
12	Baño 2	18.58	23.00	18.00	62.30	100.00	34.45
13	Baño 3	18.83	22.93	18.00	61.88	100.00	34.66
14	Escaleras gnd. Floor	18.59	22.63	18.00	58.71	90.37	34.43
15	Escaleras 1st floor	18.82	22.96	18.00	58.37	90.99	33.80
16	Corredor 1st floor	18.90	23.14	18.00	58.02	91.02	33.97
PROMEDIO		18.72	22.85	18.00	60.90	96.44	34.51

Elaboración propia.

Tabla 3-77 ZT3-C4.0 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]				DEMANDA POR m² [KWh/m²]					
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	109.64	0.00	0.00	0.00	446.40	8.71	16.34	0.00	0.00	0.00
2	Sala	19.881	198.20	0.00	0.00	0.00	2491.33	80.46	9.97	0.00	0.00	0.00
3	Comedor	19.135	19.38	0.00	0.00	0.00	216.21	108.16	1.01	0.00	0.00	0.00
4	Cocina	14.075	95.35	0.00	0.00	0.53	1093.58	72.30	6.77	0.00	0.00	0.04
5	Dormitorio servicio	9.962	67.33	0.00	0.00	0.00	1852.41	37.16	6.76	0.00	0.00	0.00
6	Dormitorio master	29.044	152.07	0.00	0.00	0.00	2616.14	108.33	5.24	0.00	0.00	0.00
7	Dormitorio 2	10.025	45.40	0.00	0.00	0.00	1844.28	37.39	4.53	0.00	0.00	0.00
8	Dormitorio 3	13.612	111.54	0.00	0.00	0.01	1653.46	50.77	8.19	0.00	0.00	0.00
9	Baño gnd.	3.623	10.87	0.00	0.00	1.85	174.24	23.53	3.00	0.00	0.00	0.51
10	Baño servicio	3.536	31.07	0.00	0.00	3.58	143.81	22.97	8.79	0.00	0.00	1.01
11	Baño d. master	9.720	109.29	0.00	0.00	16.29	827.15	63.14	11.24	0.00	0.00	1.68
12	Baño 2	3.628	103.52	0.00	0.00	7.14	284.52	23.57	28.53	0.00	0.00	1.97
13	Baño 3	3.403	20.20	0.00	0.00	3.64	180.47	22.11	5.94	0.00	0.00	1.07
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	24.64	0.00	0.00	0.00	354.94	20.56	4.13	0.00	0.00	0.00
15	Escaleras 1st floor	5.979	38.05	0.00	0.00	0.00	218.21	20.59	6.36	0.00	0.00	0.00
16	Corredor 1st floor	6.909	15.12	0.00	0.00	0.00	99.15	23.79	2.19	0.00	0.00	0.00
TOTAL		165.211	1151.67	0.00	0.00	33.05	14496.29	723.53	6.97	0.00	0.00	0.20
Peak			2.53	0.00	0.00	0.45	8.84	0.48				
Day			46	0	0	329	55	1				
Hour			6	0	0	7	8	20				

Elaboración propia.

Observaciones:

Como se mencionó anteriormente, la aplicación de las medidas del caso 3 no son convenientes en esta zona térmica; la demanda anual de energía en calefacción subió de 731.84 [KWh] a 1151.67 [KWh], por lo que representa un gasto adicional. Esto denota una somera desventaja en la implementación de focos ahorradores, algo que se puede compensar con estrategias adecuadas de arquitectura bioclimática.

Conclusiones:

En relación al confort de los ocupantes: la vestimenta, el índice metabólico y la velocidad del viento inciden en los resultados obtenidos³². Estos se encuentran a nivel de usuario y arquitectónico, por lo cual usar correcta indumentaria y una adecuada arquitectura corrigen la sensación de confort en ambientes fríos.

En este primer alcance, no se aprecia la necesidad de implementar soluciones de aislación en la zona térmica 3. La demanda de calefacción es pequeña debido a que las condiciones climáticas favorecen la cercanía a la zona de confort. Las cargas anuales de deshumidificación son mucho menores que en las zonas 1 y 2, por lo que, si bien existe riesgo de condensación, este es despreciable. Un análisis posterior con aislación podrá establecer la rentabilidad de aplicar dicha estrategia en esta zona.

³² La dirección <http://smap.cbe.berkeley.edu/comforttool> ofrece una herramienta útil para determinar el confort térmico. En esta se testearon los valores obtenidos para sostener el enunciado.

3.6.1.4.4 Zona térmica 4

Caso 1

Tabla 3-78 ZT4-C1 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m ² K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Ascendente	3.169
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-79 ZT4-C1 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	21.82	°C	Dormitorio 3	352	17
Min Air Temp	10.75	°C	Baño 2	188	9
Max humidity	100.00	%	Dormitorio master	1	5
Min humidity	45.56	%	Corredor 1st floor	249	6
Max heating load	0.00	KW		0	0
Max cooling load	0.00	KW		0	0
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.31	KW	Cocina	86	20
Max resultant temp	22.91	°C	Dormitorio 2	5	9
Min resultant temp	10.86	°C	Baño 2	188	9
Max MRT	26.04	°C	Dormitorio 2	5	9
Min MRT	10.94	°C	Baño 2	188	5
Max external temp	20.70	°C	External	210	15
Min external temp	1.20	°C	External	219	6
Max external humidity	100.00	%	External	1	6
Min external humidity	39.00	%	External	226	15

Elaboración propia

Tabla 3-80 ZT4-C1 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	15.02	19.32	11.78	80.95	100.00	52.88
2	Sala	15.17	19.70	11.87	80.30	100.00	52.62
3	Comedor	15.25	19.85	12.06	80.03	99.56	52.37
4	Cocina	15.94	21.07	12.05	91.24	100.00	56.94
5	Dormitorio servicio	15.62	19.85	12.05	86.38	100.00	53.43
6	Dormitorio master	15.72	20.31	11.55	85.78	100.00	51.21
7	Dormitorio 2	16.15	21.33	11.69	83.73	100.00	49.29
8	Dormitorio 3	15.69	21.82	11.52	85.93	100.00	46.58
9	Baño gnd.	15.17	18.12	12.84	90.14	100.00	54.40
10	Baño servicio	15.07	18.40	12.41	90.33	100.00	55.16
11	Baño d. master	15.13	20.14	11.31	90.06	100.00	53.73
12	Baño 2	14.64	19.63	10.75	90.96	100.00	54.74
13	Baño 3	15.72	20.20	12.03	88.51	100.00	49.67
14	Escaleras gnd. Floor	15.21	19.59	12.11	80.15	100.00	52.13
15	Escaleras 1st floor	15.66	20.37	12.06	76.97	100.00	46.03
16	Corredor 1st floor	15.71	20.49	12.19	76.62	100.00	45.56
PROMEDIO		15.43	20.01	11.89	84.88	99.97	51.67

Elaboración propia.

Observaciones:

Las condiciones exteriores en esta zona térmica son severas; presenta una temperatura máxima registrada de 20.7°C, una mínima de 1.2°C y humedad relativa que llegó al 100%. Estas condiciones generan una temperatura media anual del recinto de 15.43°C y humedad relativa alta de 84.88% por lo que no se encuentra dentro de los rangos de confort y facilitan la existencia condensación en toda la vivienda.

Tabla 3-81 ZT4-C1 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]						DEMANDA POR m² [KWh/m²]			
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	0.00	0.00	3.63	511.31	24.88	0.00	0.00	0.00	0.54
2	Sala	19.881	0.00	0.00	0.00	0.01	2286.29	229.89	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Comedor	19.135	0.00	0.00	0.00	0.00	455.92	309.05	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Cocina	14.075	0.00	0.00	0.00	442.82	1168.92	206.55	0.00	0.00	0.00	31.46
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	0.00	0.00	5.93	2004.07	106.17	0.00	0.00	0.00	0.60
6	Dormitorio master	29.044	0.00	0.00	0.00	14.38	2698.91	309.53	0.00	0.00	0.00	0.50
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	0.00	0.00	4.34	1967.42	106.84	0.00	0.00	0.00	0.43
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	0.00	0.00	7.38	1745.37	145.06	0.00	0.00	0.00	0.54
9	Baño gnd.	3.623	0.00	0.00	0.00	35.19	179.32	67.24	0.00	0.00	0.00	9.71
10	Baño servicio	3.536	0.00	0.00	0.00	35.13	145.91	65.62	0.00	0.00	0.00	9.93
11	Baño d. master	9.720	0.00	0.00	0.00	95.45	862.15	180.40	0.00	0.00	0.00	9.82
12	Baño 2	3.628	0.00	0.00	0.00	39.82	288.61	67.33	0.00	0.00	0.00	10.98
13	Baño 3	3.403	0.00	0.00	0.00	29.74	182.79	63.17	0.00	0.00	0.00	8.74
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	0.00	0.00	0.09	380.43	58.74	0.00	0.00	0.00	0.01
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	0.00	0.00	1.96	227.24	58.82	0.00	0.00	0.00	0.33
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	0.00	0.00	1.32	107.12	67.97	0.00	0.00	0.00	0.19
TOTAL		165.211	0.00	0.00	0.00	717.18	15211.79	2067.27	0.00	0.00	0.00	4.34
Peak			0.00	0.00	0.00	0.78	9.41	1.36				
Day			0	0	0	348	227	1				
Hour			0	0	0	8	9	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-82 ZT4-C1 - Análisis de confort en la vivienda

		FRECUENCIA DE PMV														
N°	ZONA	-3 ≤ PMV < -2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < -1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV ≤ 3	TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	21.7%	73.5%	4.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
2	Sala	16.9%	49.1%	29.9%	4.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
3	Comedor	11.5%	55.8%	29.5%	3.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	1.6%	67.5%	30.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
5	Dormitorio servicio	92.6%	7.0%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
6	Dormitorio master	88.3%	9.7%	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
7	Dormitorio 2	78.0%	16.9%	4.8%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
8	Dormitorio 3	86.0%	11.2%	2.7%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	22.6%	70.5%	6.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	6.8%	No aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.0%	29.6%	62.0%	8.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	8.4%	No aceptable
11	Baño d. master	0.0%	1.4%	30.4%	50.4%	16.7%	1.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	17.8%	No aceptable
12	Baño 2	0.0%	4.9%	40.1%	42.6%	11.9%	0.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	12.4%	No aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.1%	19.9%	51.9%	26.1%	2.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	28.1%	No aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.8%	79.5%	7.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	12.6%	73.0%	14.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	10.6%	73.3%	16.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
PROMEDIO		23.3%	9.8%	13.2%	17.8%	8.1%	23.2%	4.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	35.9%	No aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 2

Tabla 3-83 ZT4-C2 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m ² K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Ascendente	3.169
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-84 ZT4-C2 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	22.04	°C	Dormitorio 3	352	17
Min Air Temp	18.00	°C	Recibidor	1	1
Max humidity	100.00	%	Cocina	13	20
Min humidity	35.76	%	Recibidor	227	7
Max heating load	1.14	KW	Dormitorio master	214	6
Max cooling load	0.00	KW		0	0
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.30	KW	Cocina	329	20
Max resultant temp	23.16	°C	Dormitorio 2	5	9
Min resultant temp	15.85	°C	Baño 2	188	5
Max MRT	26.30	°C	Dormitorio 2	5	9
Min MRT	13.69	°C	Baño 2	188	5
Max external temp	20.70	°C	External	210	15
Min external temp	1.20	°C	External	219	6
Max external humidity	100.00	%	External	1	6
Min external humidity	39.00	%	External	226	15

Elaboración propia.

Tabla 3-85 ZT4-C2 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	18.02	19.64	18.00	62.85	100.00	35.76
2	Sala	18.05	20.01	18.00	67.33	100.00	36.53
3	Comedor	18.06	20.18	18.00	70.62	100.00	38.04
4	Cocina	18.36	21.73	18.00	84.59	100.00	40.39
5	Dormitorio servicio	18.08	20.22	18.00	74.47	100.00	48.02
6	Dormitorio master	18.16	20.42	18.00	73.95	100.00	48.02
7	Dormitorio 2	18.28	21.46	18.00	73.41	100.00	46.60
8	Dormitorio 3	18.19	22.04	18.00	73.76	100.00	44.61
9	Baño gnd.	18.00	18.60	18.00	82.11	100.00	40.78
10	Baño servicio	18.00	18.88	18.00	82.11	100.00	40.78
11	Baño d. master	18.05	20.17	18.00	81.89	100.00	40.78
12	Baño 2	18.02	19.92	18.00	82.04	100.00	40.78
13	Baño 3	18.11	20.25	18.00	81.65	100.00	40.78
14	Escaleras gnd. Floor	18.03	19.93	18.00	67.77	100.00	37.82
15	Escaleras 1st floor	18.09	20.49	18.00	64.15	99.50	37.62
16	Corredor 1st floor	18.11	20.64	18.00	63.75	98.84	37.62
PROMEDIO		18.10	20.29	18.00	74.15	99.90	40.93

Elaboración propia.

Observaciones:

El sistema de AC mantiene la temperatura media anual en 18°C, reduciendo la humedad relativa de 84.88% a 74.15%, por lo que se comprueba que el problema de humedad se aborda logrando mayores temperaturas al interior.

La demanda anual de energía en calefacción es aproximadamente 22 veces mayor que en el caso 2 de la zona térmica 3, por lo que se hace evidente la necesidad de adoptar soluciones de aislación para reducir el consumo energético.

Tabla 3-86 ZT4-C2 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]						DEMANDA POR m² [KWh/m²]			
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	1093.91	0.00	0.00	0.10	511.31	24.88	163.05	0.00	0.00	0.01
2	Sala	19.881	1878.20	0.00	0.00	0.04	2286.29	229.89	94.47	0.00	0.00	0.00
3	Comedor	19.135	879.98	0.00	0.00	0.37	455.92	309.05	45.99	0.00	0.00	0.02
4	Cocina	14.075	1212.67	0.00	0.00	334.81	1168.92	206.55	86.16	0.00	0.00	23.79
5	Dormitorio servicio	9.962	1044.58	0.00	0.00	0.01	2004.07	106.17	104.86	0.00	0.00	0.00
6	Dormitorio master	29.044	2634.35	0.00	0.00	0.00	2698.91	309.53	90.70	0.00	0.00	0.00
7	Dormitorio 2	10.025	783.17	0.00	0.00	0.00	1967.42	106.84	78.12	0.00	0.00	0.00
8	Dormitorio 3	13.612	1521.77	0.00	0.00	0.00	1745.37	145.06	111.80	0.00	0.00	0.00
9	Baño gnd.	3.623	444.07	0.00	0.00	18.31	179.32	67.24	122.57	0.00	0.00	5.05
10	Baño servicio	3.536	565.59	0.00	0.00	17.85	145.91	65.62	159.95	0.00	0.00	5.05
11	Baño d. master	9.720	1358.90	0.00	0.00	48.50	862.15	180.40	139.80	0.00	0.00	4.99
12	Baño 2	3.628	1005.88	0.00	0.00	18.20	288.61	67.33	277.25	0.00	0.00	5.02
13	Baño 3	3.403	372.20	0.00	0.00	16.77	182.79	63.17	109.37	0.00	0.00	4.93
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	500.71	0.00	0.00	0.04	380.43	58.74	83.87	0.00	0.00	0.01
15	Escaleras 1st floor	5.979	627.38	0.00	0.00	0.00	227.24	58.82	104.93	0.00	0.00	0.00
16	Corredor 1st floor	6.909	396.17	0.00	0.00	0.00	107.12	67.97	57.34	0.00	0.00	0.00
TOTAL		165.211	16319.50	0.00	0.00	454.98	15211.79	2067.27	98.78	0.00	0.00	2.75
Peak			6.18	0.00	0.00	0.65	9.41	1.36				
Day			215	0	0	77	227	1				
Hour			6	0	0	7	9	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-87 ZT4-C2 - Análisis de confort en la vivienda

N°	ZONA	FRECUENCIA DE PMV												TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
		-3 ≤ PMV < -2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < -1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV ≤ 3			
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	67.5%	32.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
2	Sala	0.0%	0.2%	75.9%	23.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
3	Comedor	0.0%	0.0%	77.0%	23.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.1%	No aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	22.4%	77.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
5	Dormitorio servicio	66.6%	31.5%	1.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
6	Dormitorio master	66.7%	29.2%	4.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
7	Dormitorio 2	43.0%	43.6%	12.8%	0.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
8	Dormitorio 3	64.3%	29.8%	5.7%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	0.0%	3.0%	97.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	97.0%	Aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.0%	0.0%	6.4%	93.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	93.6%	Aceptable
11	Baño d. master	0.0%	0.0%	0.0%	11.6%	85.6%	2.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	88.4%	Aceptable
12	Baño 2	0.0%	0.0%	0.0%	17.9%	80.6%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	82.1%	Aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.0%	0.0%	3.3%	90.8%	5.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	96.7%	Aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	32.9%	67.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	40.1%	59.9%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	30.3%	69.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
PROMEDIO		15.0%	8.4%	11.1%	5.6%	28.0%	12.7%	19.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	59.9%	No aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 3

Tabla 3-88 ZT4-C3 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m²K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm	220	Horizontal	2.712
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm	210	Ascendente	3.169
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana de baja TS	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-89 ZT4-C3 - Desempeño de la vivienda

PARÁMETRO	VALOR	UNIDAD	ZONA	DÍA	HORA
Max Air Temp	21.16	°C	Dormitorio 3	352	17
Min Air Temp	10.60	°C	Baño 2	188	9
Max humidity	100.00	%	Dormitorio 2	1	8
Min humidity	44.16	%	Dormitorio servicio	227	10
Max heating load	0.00	KW		0	0
Max cooling load	0.00	KW		0	0
Max latent addition	0.00	KW		0	0
Max latent removal	0.31	KW	Cocina	162	20
Max resultant temp	21.35	°C	Dormitorio 2	5	8
Min resultant temp	10.71	°C	Baño 2	188	9
Max MRT	24.44	°C	Dormitorio 2	5	8
Min MRT	10.74	°C	Baño 2	188	6
Max external temp	20.70	°C	External	210	15
Min external temp	1.20	°C	External	219	6
Max external humidity	100.00	%	External	1	6
Min external humidity	39.00	%	External	226	15

Elaboración propia.

Tabla 3-90 ZT4-C3 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	14.91	18.45	11.63	81.29	100.00	50.61
2	Sala	15.05	18.67	11.71	80.66	100.00	49.99
3	Comedor	15.09	18.71	11.90	80.59	99.70	51.04
4	Cocina	15.69	20.10	11.85	89.67	100.00	53.58
5	Dormitorio servicio	15.50	19.40	11.88	86.13	100.00	44.16
6	Dormitorio master	15.58	20.18	11.53	85.49	100.00	51.49
7	Dormitorio 2	15.98	20.27	11.47	83.51	100.00	46.58
8	Dormitorio 3	15.53	21.16	11.33	85.77	100.00	47.56
9	Baño gnd.	14.91	17.79	12.63	90.56	100.00	54.66
10	Baño servicio	14.76	17.84	12.19	90.93	100.00	56.60
11	Baño d. master	14.97	20.11	11.10	89.78	100.00	50.27
12	Baño 2	14.46	19.22	10.60	89.59	100.00	51.19
13	Baño 3	15.38	20.11	11.82	87.66	100.00	46.54
14	Escaleras gnd. Floor	15.02	18.58	11.93	80.85	100.00	51.97
15	Escaleras 1st floor	15.40	20.03	11.87	77.89	100.00	46.97
16	Corredor 1st floor	15.44	20.09	11.99	77.61	100.00	46.51
PROMEDIO		15.23	19.42	11.71	84.87	99.98	49.98

Elaboración propia.

Observaciones:

Con las medidas ocupacionales no se aprecian mayores cambios en la temperatura media anual y humedad relativa de este caso. Si observamos las cargas de deshumidificación del caso 1 y 3 veremos que se reduce un 12.32% debido al cambio en la apertura de ventanas y puertas.

No hay sensación de confort en los principales ambientes de la vivienda, la elevada humedad y bajas temperaturas, acompañada de la velocidad del aire, indumentaria y el bajo índice metabólico de esos recintos generan una sensación de frío extremo. Se debe mejorar el diseño arquitectónico, en especial con la ventilación, pues si bien se requieren corrientes de aire para disminuir la humedad, la sobreventilación produce un ambiente bastante frío.

Tabla 3-91 ZT4-C3 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m ²]	CARGAS ANUALES [KWh]				DEMANDA POR m ² [KWh/m ²]					
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	0.00	0.00	0.00	6.25	448.41	8.71	0.00	0.00	0.00	0.93
2	Sala	19.881	0.00	0.00	0.00	0.08	2482.40	80.46	0.00	0.00	0.00	0.00
3	Comedor	19.135	0.00	0.00	0.00	0.00	224.95	108.16	0.00	0.00	0.00	0.00
4	Cocina	14.075	0.00	0.00	0.00	329.23	1117.87	72.30	0.00	0.00	0.00	23.39
5	Dormitorio servicio	9.962	0.00	0.00	0.00	8.57	1911.99	37.16	0.00	0.00	0.00	0.86
6	Dormitorio master	29.044	0.00	0.00	0.00	18.44	2613.44	108.33	0.00	0.00	0.00	0.63
7	Dormitorio 2	10.025	0.00	0.00	0.00	6.02	1903.25	37.39	0.00	0.00	0.00	0.60
8	Dormitorio 3	13.612	0.00	0.00	0.00	9.65	1694.80	50.77	0.00	0.00	0.00	0.71
9	Baño gnd.	3.623	0.00	0.00	0.00	37.45	179.32	23.53	0.00	0.00	0.00	10.34
10	Baño servicio	3.536	0.00	0.00	0.00	37.70	145.91	22.97	0.00	0.00	0.00	10.66
11	Baño d. master	9.720	0.00	0.00	0.00	99.06	836.04	63.14	0.00	0.00	0.00	10.19
12	Baño 2	3.628	0.00	0.00	0.00	40.02	288.61	23.57	0.00	0.00	0.00	11.03
13	Baño 3	3.403	0.00	0.00	0.00	31.40	182.79	22.11	0.00	0.00	0.00	9.23
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	0.00	0.00	0.00	0.25	360.36	20.56	0.00	0.00	0.00	0.04
15	Escaleras 1st floor	5.979	0.00	0.00	0.00	2.84	221.75	20.59	0.00	0.00	0.00	0.47
16	Corredor 1st floor	6.909	0.00	0.00	0.00	1.86	104.79	23.79	0.00	0.00	0.00	0.27
TOTAL		165.211	0.00	0.00	0.00	628.81	14716.70	723.53	0.00	0.00	0.00	3.81
Peak			0.00	0.00	0.00	0.80	8.75	0.48				
Day			0	0	0	47	227	1				
Hour			0	0	0	8	9	20				

Elaboración propia.

Tabla 3-92 ZT4-C3 - Análisis de confort en la vivienda

FRECUENCIA DE PMV																
N°	ZONA	-3 ≤ PMV < -2.5	-2.5 ≤ PMV < -2	-2 ≤ PMV < -1.5	-1.5 ≤ PMV < -1	-1 ≤ PMV < -0.5	-0.5 ≤ PMV < 0	0 ≤ PMV < 0.5	0.5 ≤ PMV < 1	1 ≤ PMV < 1.5	1.5 ≤ PMV < 2	2 ≤ PMV < 2.5	2.5 ≤ PMV ≤ 3	TOTAL	-1 ≤ PMV ≤ 1	OBSERVACIÓN (*)
1	Recibidor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	26.8%	70.5%	2.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
2	Sala	22.1%	52.6%	23.8%	1.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
3	Comedor	16.6%	58.8%	23.4%	1.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
4	Cocina	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	2.8%	65.6%	31.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
5	Dormitorio servicio	97.6%	2.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
6	Dormitorio master	92.6%	7.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
7	Dormitorio 2	86.5%	13.0%	0.4%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
8	Dormitorio 3	91.1%	8.6%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	0.0%	No aceptable
9	Baño gnd.	0.0%	0.0%	32.9%	64.2%	3.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	3.0%	No aceptable
10	Baño servicio	0.0%	0.1%	40.4%	55.9%	3.5%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	3.5%	No aceptable
11	Baño d. master	0.0%	2.4%	36.2%	48.2%	13.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	13.2%	No aceptable
12	Baño 2	0.0%	6.6%	44.1%	40.3%	9.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	9.0%	No aceptable
13	Baño 3	0.0%	0.4%	26.4%	53.4%	19.7%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	19.8%	No aceptable
14	Escaleras gnd. Floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	17.0%	78.4%	4.6%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
15	Escaleras 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	16.1%	73.1%	10.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
16	Corredor 1st floor	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	14.4%	73.8%	11.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	100.0%	Aceptable
PROMEDIO		25.4%	9.5%	14.3%	16.5%	7.8%	22.6%	3.8%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	100.0%	34.3%	No aceptable

Elaboración propia.

(*) Basado en ASHRAE Standard, se considera aceptable un porcentaje mayor o igual al 80% de satisfacción de sus ocupantes.

Caso 4.0

Tabla 3-93 ZT4-C4.0 - Propiedades de envolvente

ELEMENTO	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m²K]
Pared exterior	Pared exterior bloque 20 cm con aislación de EPS	220	Horizontal	2.712
Aislación exterior	EPS (densidad 16 [Kg/m³], conductividad 0.04 [W/m. °C])	0		
Cubierta	Cubierta de hormigón armado 20 cm con aislación de EPS	210	Ascendente	3.169
Aislación exterior	EPS (densidad 16 [Kg/m³], conductividad 0.04 [W/m. °C])	0		
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm	4	Horizontal	5.798
Ventanas	Vidrio monolítico 4 mm con persiana de baja TS	15	Horizontal	3.006

Elaboración propia.

Tabla 3-94 ZT4-C4.0 - Comportamiento higrotérmico

N°	ZONA	T BULBO SECO ANUAL [°C]			HUMEDAD RELATIVA [%]		
		Media	Máxima	Mínima	Media	Máxima	Mínima
1	Recibidor	18.01	19.06	18.00	60.50	99.37	35.62
2	Sala	18.03	19.28	18.00	65.92	100.00	36.11
3	Comedor	18.03	19.30	18.00	70.42	100.00	38.16
4	Cocina	18.14	20.26	18.00	79.54	100.00	40.39
5	Dormitorio servicio	18.04	19.96	18.00	73.14	100.00	40.82
6	Dormitorio master	18.05	20.27	18.00	72.94	100.00	46.05
7	Dormitorio 2	18.12	20.35	18.00	72.05	100.00	41.97
8	Dormitorio 3	18.07	21.43	18.00	72.87	100.00	45.26
9	Baño gnd.	18.00	18.27	18.00	81.81	100.00	40.78
10	Baño servicio	18.00	18.28	18.00	82.08	100.00	40.78
11	Baño d. master	18.02	20.20	18.00	80.76	100.00	40.78
12	Baño 2	18.01	19.46	18.00	77.20	100.00	40.78
13	Baño 3	18.04	20.47	18.00	78.60	100.00	40.78
14	Escaleras gnd. Floor	18.01	19.10	18.00	66.66	100.00	38.01
15	Escaleras 1st floor	18.04	20.16	18.00	63.22	97.95	37.13
16	Corredor 1st floor	18.05	20.20	18.00	63.12	94.39	36.98
PROMEDIO		18.04	19.75	18.00	72.55	99.48	40.03

Elaboración propia.

Tabla 3-95 ZT4-C4.0 - Demanda anual de energía

N°	ZONA	ÁREA [m²]	CARGAS ANUALES [KWh]				DEMANDA POR m² [KWh/m²]					
			Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.	Solar	Lighting	Heating	Cooling	Humidify	Dehumid.
1	Recibidor	6.709	1145.40	0.00	0.00	0.00	448.41	8.71	170.73	0.00	0.00	0.00
2	Sala	19.881	1858.50	0.00	0.00	0.14	2482.40	80.46	93.48	0.00	0.00	0.01
3	Comedor	19.135	1052.33	0.00	0.00	1.22	224.95	108.16	55.00	0.00	0.00	0.06
4	Cocina	14.075	1335.79	0.00	0.00	110.41	1117.87	72.30	94.91	0.00	0.00	7.84
5	Dormitorio servicio	9.962	1122.34	0.00	0.00	0.00	1911.99	37.16	112.66	0.00	0.00	0.00
6	Dormitorio master	29.044	2657.98	0.00	0.00	0.00	2613.44	108.33	91.52	0.00	0.00	0.00
7	Dormitorio 2	10.025	796.60	0.00	0.00	0.00	1903.25	37.39	79.46	0.00	0.00	0.00
8	Dormitorio 3	13.612	1550.63	0.00	0.00	0.00	1694.80	50.77	113.92	0.00	0.00	0.00
9	Baño gnd.	3.623	508.00	0.00	0.00	18.02	179.32	23.53	140.22	0.00	0.00	4.97
10	Baño servicio	3.536	651.16	0.00	0.00	17.82	145.91	22.97	184.15	0.00	0.00	5.04
11	Baño d. master	9.720	1413.62	0.00	0.00	47.58	836.04	63.14	145.43	0.00	0.00	4.90
12	Baño 2	3.628	1058.63	0.00	0.00	16.99	288.61	23.57	291.80	0.00	0.00	4.68
13	Baño 3	3.403	435.46	0.00	0.00	16.12	182.79	22.11	127.96	0.00	0.00	4.74
14	Escaleras gnd. Floor	5.970	567.54	0.00	0.00	0.02	360.36	20.56	95.07	0.00	0.00	0.00
15	Escaleras 1st floor	5.979	697.21	0.00	0.00	0.00	221.75	20.59	116.61	0.00	0.00	0.00
16	Corredor 1st floor	6.909	467.23	0.00	0.00	0.00	104.79	23.79	67.63	0.00	0.00	0.00
TOTAL		165.211	17318.42	0.00	0.00	228.33	14716.70	723.53	104.83	0.00	0.00	1.38
Peak			6.41	0.00	0.00	0.61	8.75	0.48				
Day			215	0	0	86	227	1				
Hour			6	0	0	7	9	20				

Elaboración propia.

Observaciones:

Mantener el ambiente interior a 18°C disminuye la carga anual de deshumidificación de 628.81 [KWh] (caso 3) a 228.33 [KWh]. Sin embargo, el efecto de los cambios ocupacionales elevan de demanda anual de energía de 16319.50 [KWh] a 17318.42 [KWh], por lo que se torna contraproducente adoptar estos parámetros como se mencionó en la zona térmica 3. Esto denota la interrelación que existe entre el ambiente exterior, interior y la forma de ocupar la vivienda, por lo que para estos casos, la adopción individual de soluciones no basta.

Conclusiones:

Es clara la necesidad de aislar los elementos de envolvente como muros y cubierta con el fin de mantener la temperatura interior y disminuir la humedad en el ambiente. Un mejor acondicionamiento térmico se consigue con la utilización de elementos vidriados de menor transmitancia como el doble vidriado hermético (DVH) que potencian los efectos de la aislación.

En esta zona, al igual que en las anteriores, es obligatorio un correcto diseño arquitectónico, que complemente la acción de restringir la transmitancia térmica de la envolvente, ya que como se ha comprobado, todas las variables participan de un modelo holístico que debe ser abordado en conjunto.

Las simulaciones sin contar con aislación térmica revelaron la necesidad de mejorar las condiciones interiores para todas las zonas con excepción de la zona térmica 3. El análisis de desempeño energético y rentabilidad económica definirán los valores apropiados de transmitancia térmica para las cuatro zonas disponibles.

3.6.2 Análisis del desempeño energético de la vivienda a partir de la implementación de aislación térmica

Los resultados del análisis de sensibilidad se presentan tabular y gráficamente para su evaluación, divididos en zonas térmicas y en función de la ubicación del aislante con respecto a la envolvente. Los valores de transmitancia se establecen para cada uno de los resultados obtenidos en cada cuadro.

3.6.2.1 Zona térmica 1: Demanda energética anual de refrigeración

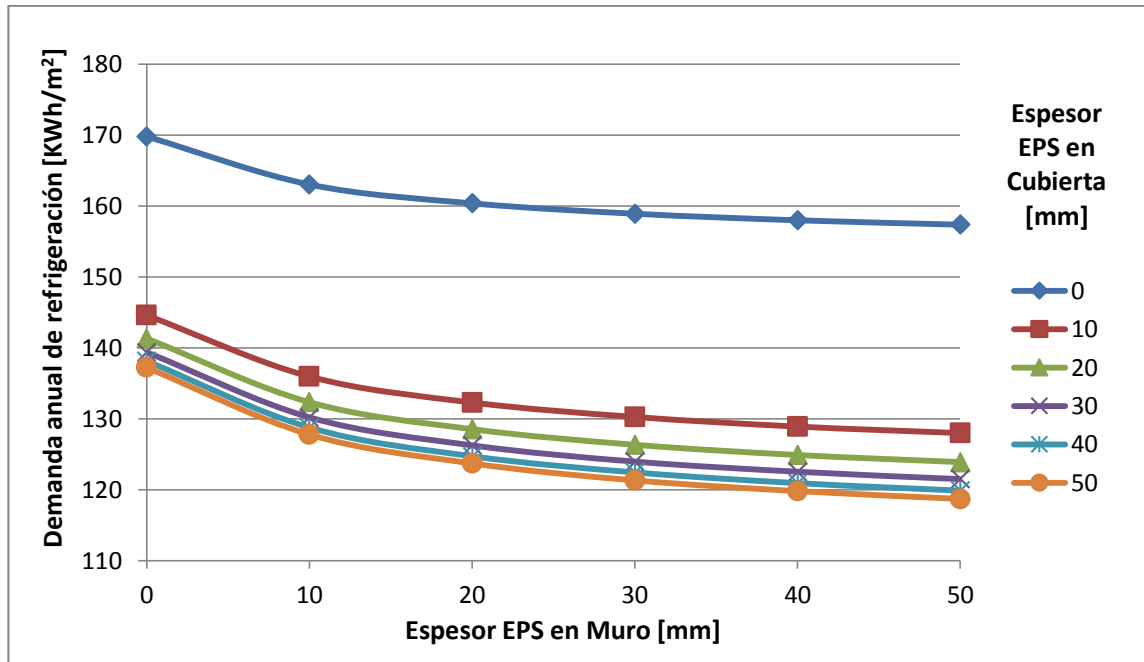
Solución con aislante exterior

Tabla 3-96 ZT1 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m²] – Aislación exterior

Annual loads Cooling [KWh/m²]		Cubierta							
		EPS - Aislación exterior [mm]							
		0	10	20	30	40	50		
Muro	EPS - Aislación exterior [mm]	U [W/m²K]	2.594	1.553	1.119	0.874	0.717	0.608	
		0	2.712	169.78	144.58	141.29	139.36	138.12	137.20
		10	1.616	163.02	135.94	132.32	130.19	128.75	127.76
		20	1.151	160.37	132.28	128.52	126.24	124.70	123.69
		30	0.894	158.90	130.24	126.32	123.94	122.42	121.30
		40	0.731	157.98	128.88	124.88	122.52	120.91	119.78
		50	0.618	157.36	127.96	123.88	121.48	119.85	118.69

Elaboración propia.

Figura 3-12 ZT1 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m²] – Aislación exterior

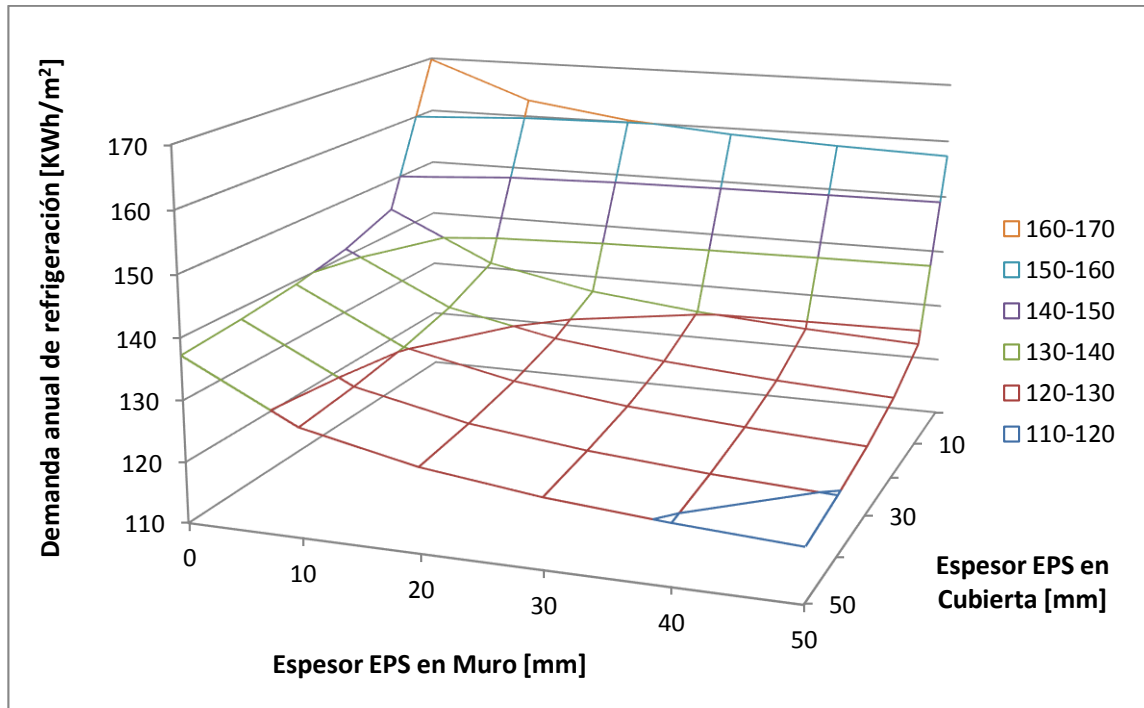


Elaboración propia.

La demanda anual por refrigeración disminuye notoriamente al agregar 10 [mm] de EPS en muros y cubierta. A partir de los 20 [mm] de aislante en estos elementos, la demanda tiende a estabilizarse por lo que no representa mayor ahorro energético.

En la Figura 3-13 se puede apreciar la variación de la demanda energética en función de las 2 variables simultáneamente. El espesor de 20 [mm] el muro y cubierta es el punto de partida de la planicie donde la demanda se encuentra por debajo de los 130 [KWh/m²] que denota la mejor opción para obtener los valores de transmitancia.

Figura 3-13 ZT1 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m²] – Aislación exterior – Análisis por superficie



Elaboración propia.

Solución con aislante interior

Según cifras de la Tabla 3-97, los resultados son similares al caso con aislación exterior. Sin embargo, al contrastar ambas soluciones se observa que la demanda energética con aislación interior es levemente mayor (Figura 3-14).

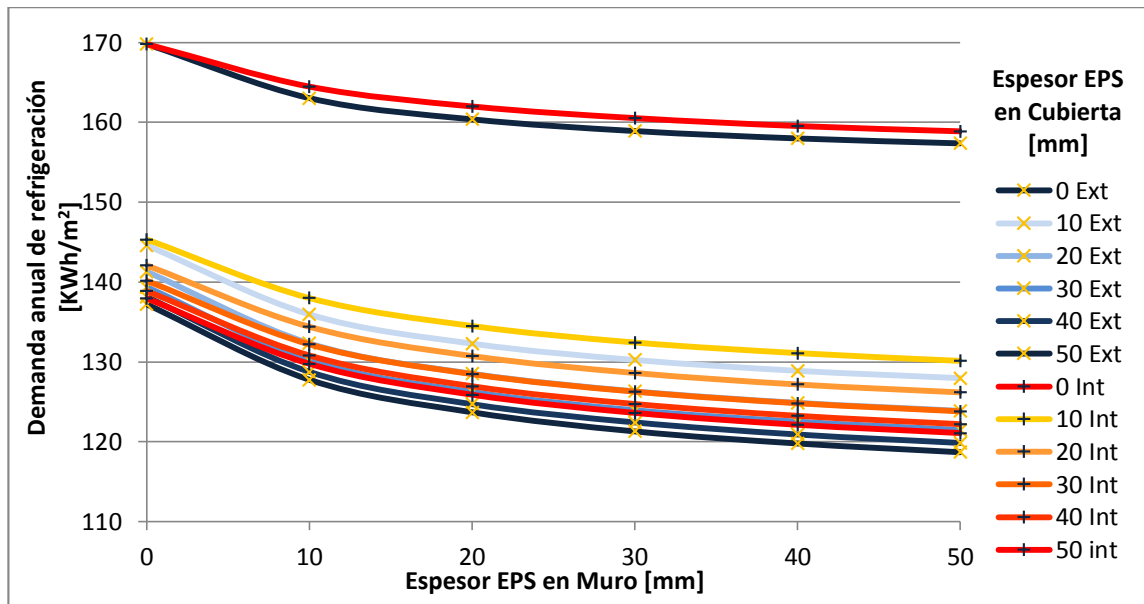
Desde el punto de vista de ahorro energético, se recomienda aislación exterior para elementos de muro y cubierta en esta zona térmica.

Tabla 3-97 ZT1 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m²] – Aislación interior

Annual loads Cooling [KWh/m ²]		Cubierta							
		EPS - Aislación interior [mm]							
		0	10	20	30	40	50		
Muro	EPS - Aislación interior [mm]	U [W/m2K]	2.594	1.553	1.119	0.874	0.717	0.608	
		0	2.712	169.78	145.32	142.08	140.15	138.86	137.95
		10	1.616	164.46	137.99	134.39	132.19	130.80	129.76
		20	1.151	161.98	134.50	130.73	128.47	126.95	125.89
		30	0.894	160.52	132.43	128.61	126.27	124.73	123.62
		40	0.731	159.53	131.10	127.17	124.83	123.25	122.13
		50	0.618	158.87	130.12	126.18	123.81	122.20	121.09

Elaboración propia.

Figura 3-14 ZT1 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m²] – Aislación exterior vs interior



Elaboración propia.

3.6.2.2 Zona térmica 2: Demanda energética anual de refrigeración

Solución con aislante exterior

Tabla 3-98 ZT2 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m²] – Aislación exterior

Annual loads Cooling [KWh/m ²]		Cubierta						
		EPS - Aislación exterior [mm]						
		0	10	20	30	40	50	
Muro		U [W/m ² K]	2.594	1.553	1.119	0.874	0.717	0.608
	0	2.712	141.26	120.10	117.40	115.77	114.74	114.00
	10	1.616	135.50	112.73	109.68	107.93	106.76	105.94
	20	1.151	133.21	109.71	106.51	104.63	103.38	102.49
	30	0.894	131.94	108.01	104.70	102.75	101.47	100.57
	40	0.731	131.18	106.92	103.53	101.53	100.25	99.35
	50	0.618	130.65	106.15	102.72	100.70	99.42	98.49

Elaboración propia.

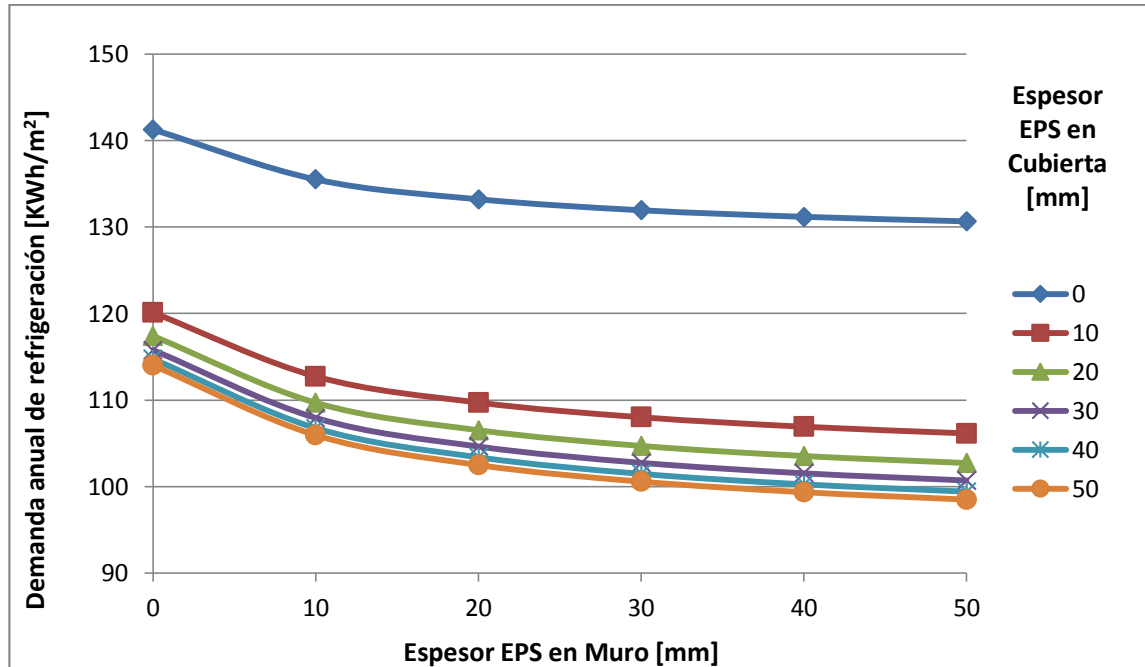
Al igual que en la zona térmica 1, el ahorro de energía tiende a decrecer a partir de los 20 [mm] de aislación en muros y cubierta (Figura 3-15); pero la reducción energética más notoria se da cuando se aísla térmicamente la cubierta.

Al observar la Figura 3-16, se aprecia que la mayor demanda energética se produce cuando no se aísla la cubierta, independientemente de los espesores

de aislación en muros, mientras que aislando solo la techumbre, la demanda de energía es mucho más baja. Esto se debe a que en Ecuador, los rayos solares inciden perpendicularmente sobre la superficie, calentando la cubierta durante doce horas del día, y al ser de hormigón, por su inercia térmica, retiene el calor por largo tiempo; no aislar esta superficie permite que la temperatura interior se eleve tanto de día como de noche. Una adecuada aislación de la cubierta evita su sobrecalentamiento, manteniendo el interior fresco.

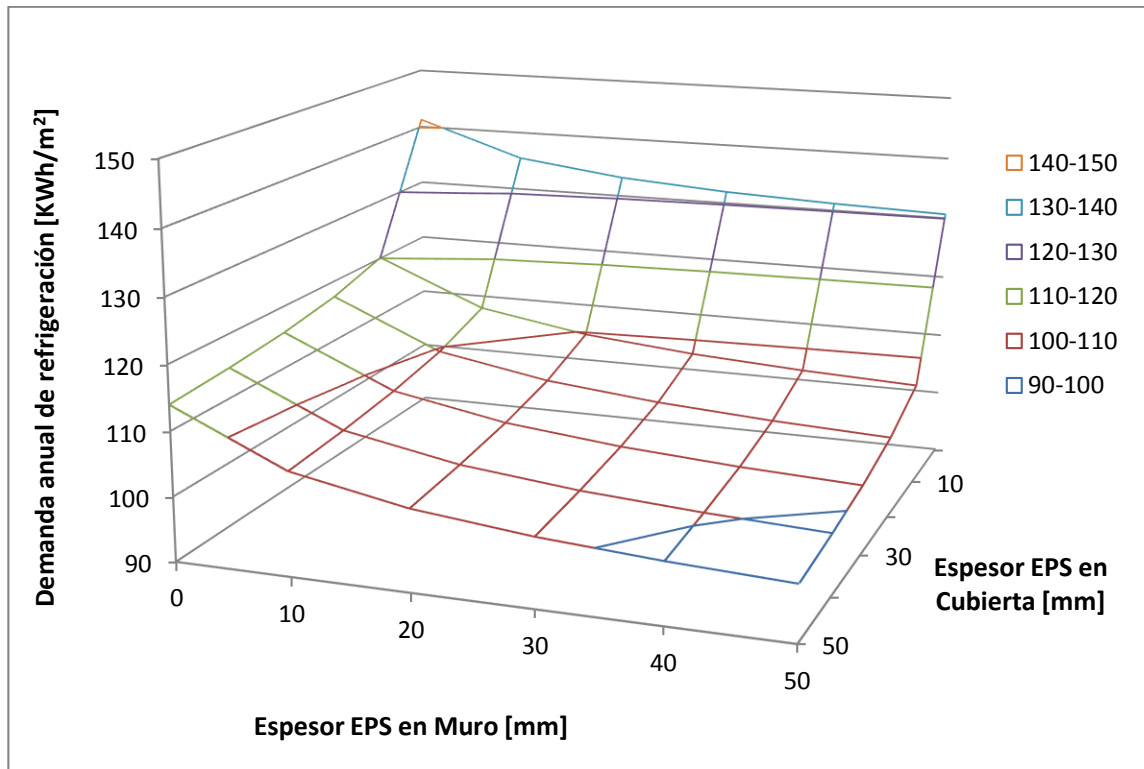
Para este caso, los valores de transmitancia favorables corresponden a las soluciones con 20 [mm] de aislación en muros y cubierta.

Figura 3-15 ZT2 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m²] – Aislación exterior



Elaboración propia.

Figura 3-16 ZT2 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m²] – Aislación exterior – Análisis por superficie



Elaboración propia.

Solución con aislante interior

Los valores de la Tabla 3-99 muestran ser levemente mayores en comparación a los valores de aislación exterior.

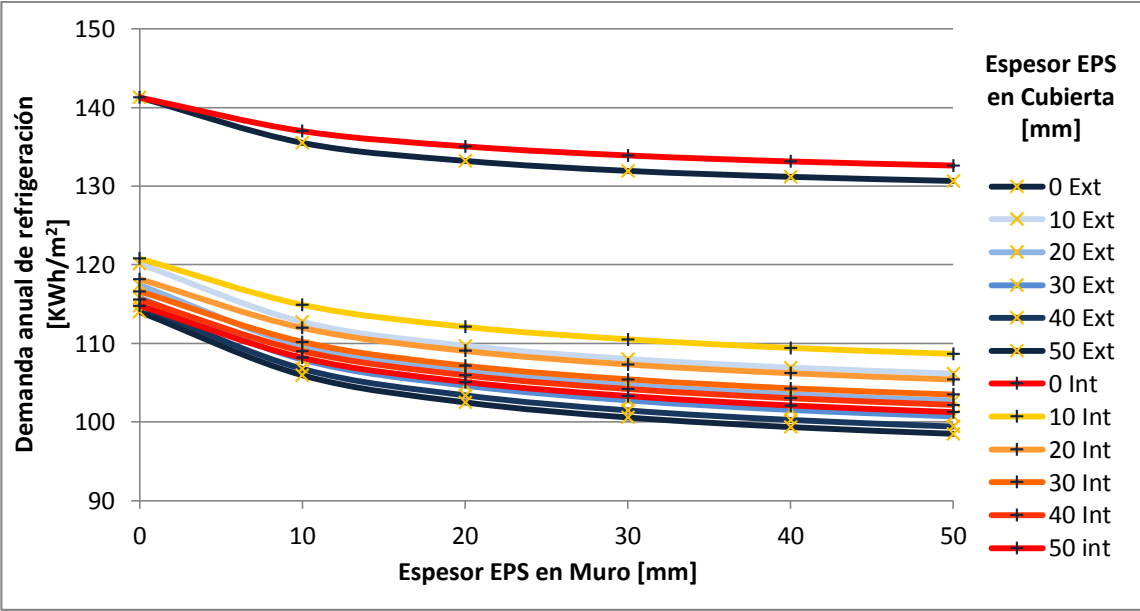
La Figura 3-17 revela que mejores resultados en ahorro energético se logra con aislación exterior en muros y cubierta para esta zona térmica.

Tabla 3-99 ZT2 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m²] – Aislación interior

Annual loads Cooling [KWh/m ²]		Cubierta							
		EPS - Aislación interior [mm]							
		0	10	20	30	40	50		
Muro	EPS - Aislación interior [mm]	U [W/m2K]	2.594	1.553	1.119	0.874	0.717	0.608	
		0	2.712	141.26	120.78	118.16	116.60	115.57	114.79
		10	1.616	136.99	114.89	111.96	110.18	109.01	108.16
		20	1.151	135.05	112.10	109.04	107.15	105.95	105.09
		30	0.894	133.90	110.52	107.31	105.42	104.19	103.30
		40	0.731	133.13	109.42	106.19	104.28	103.02	102.10
		50	0.618	132.62	108.66	105.39	103.49	102.18	101.25

Elaboración propia.

Figura 3-17 ZT2 - Demanda anual de refrigeración [KWh/m²] – Aislación exterior vs interior



Elaboración propia.

3.6.2.3 Zona térmica 3: Demanda energética anual de calefacción

Solución con aislante exterior

Tabla 3-100 ZT3 - Demanda anual de calefacción [KWh/m²] – Aislación exterior

Annual loads Heating [KWh/m2]		Cubierta							
		EPS - Aislación exterior [mm]							
		0	10	20	30	40	50		
Muro	EPS - Aislación exterior [mm]	U [W/m2K]	3.169	1.742	1.214	0.931	0.755	0.635	
		0	2.712	6.97	8.20	7.72	7.48	7.33	7.23
		10	1.616	3.54	4.42	4.03	3.84	3.72	3.63
		20	1.151	2.53	3.18	2.85	2.68	2.57	2.50
		30	0.894	2.04	2.56	2.26	2.11	2.01	1.95
		40	0.731	1.75	2.19	1.91	1.77	1.69	1.63
		50	0.618	1.56	1.95	1.68	1.56	1.48	1.43

Elaboración propia.

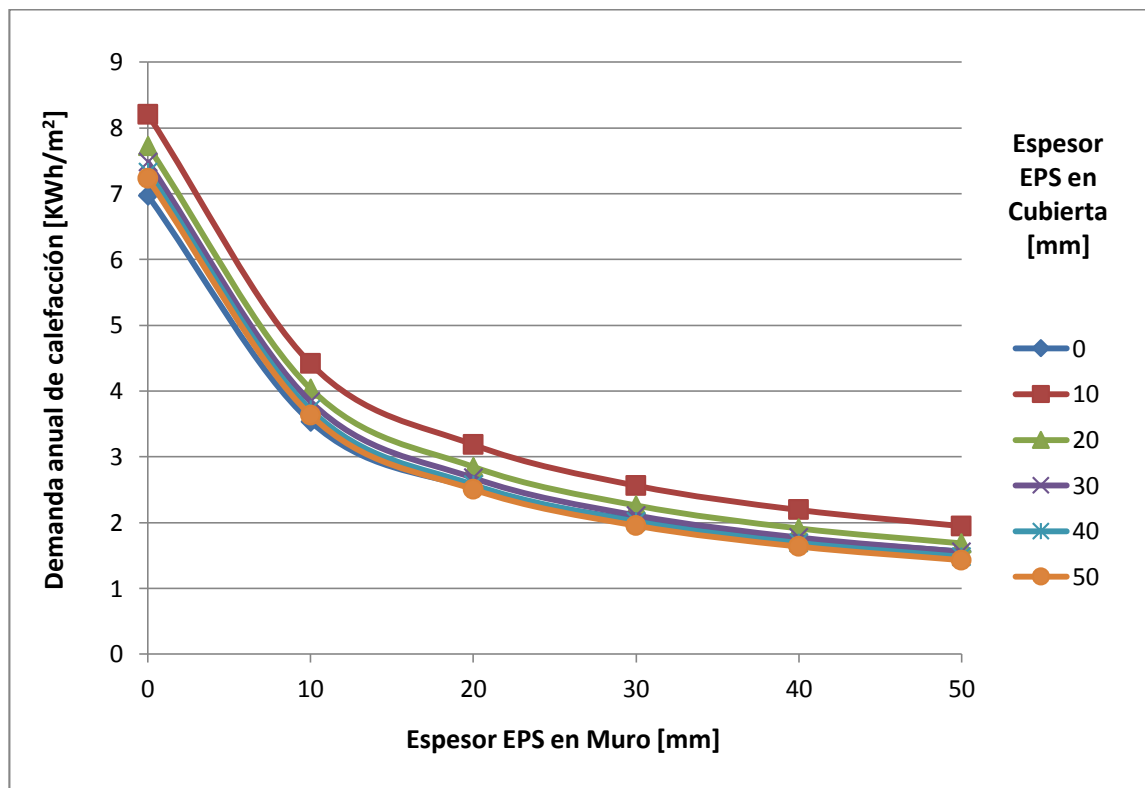
En la zona térmica 3, los ahorros energéticos alcanzados al emplear aislante son muy pequeños.

De los resultados obtenidos en la Figura 3-18, podemos observar que no es recomendable aislar la cubierta. Al contrario de lo que ocurre en las zonas térmicas 1 y 2, resulta contraproducente la aislación de este elemento,

obteniendo inclusive la mayor demanda energética cuando se adicionan 10 [mm] de EPS.

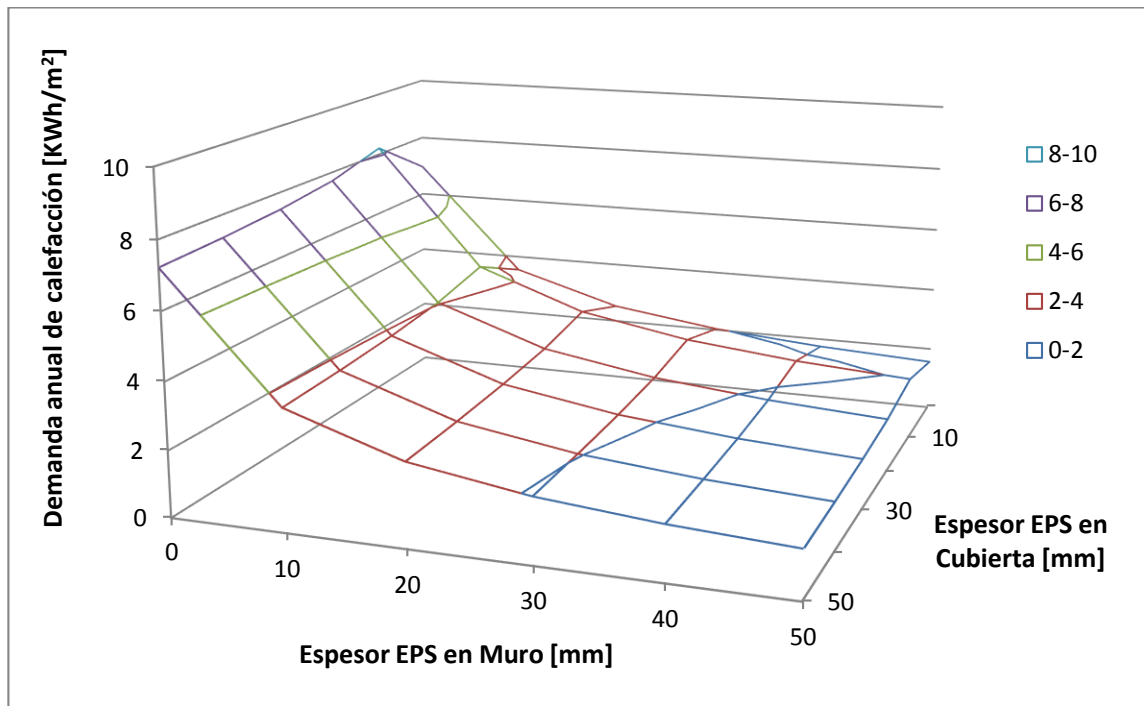
El mejor ahorro de energía se consigue cuando se coloca EPS en muros y se evita intervenir en la cubierta, pues en esta última, los ahorros son iguales o mejores con 0 [mm] de aislante que con 50 [mm] (Figura 3-19). Esto se debe a que el sol calienta la techumbre como se describió en el caso anterior, lo cual puede ser perjudicial en climas cálidos pero favorable en climas fríos. Al aislar la cubierta, se disipa el efecto de la inercia térmica del hormigón del techo, impidiendo transferir el calor acumulado hacia el interior de la vivienda.

Figura 3-18 ZT3 - Demanda anual de calefacción [KWh/m²] – Aislación exterior



Elaboración propia.

Figura 3-19 ZT3 - Demanda anual de calefacción [KWh/m²] – Aislación exterior – Análisis por superficie



Elaboración propia.

Solución con aislante interior

Según la Figura 3-20, aislar el interior de muros y cubierta genera mayor demanda de energía que hacerlo por el exterior. Si bien los valores con los que se realiza la comparación son pequeños, basta para demostrar la influencia de la ubicación del aislante en la envolvente.

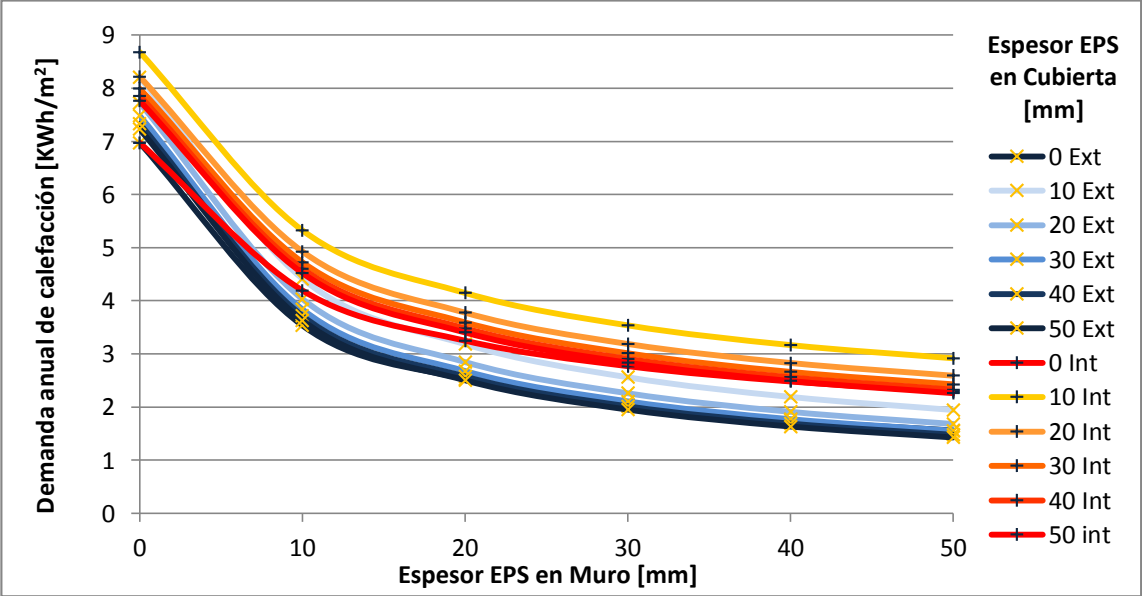
La demanda energética anual de calefacción es ínfima en comparación con los valores de las zonas térmicas 1 y 2. Esto denota que el clima en la zona 3 es lo suficientemente inocuo para prescindir de aislación en elementos de envolvente. Un análisis económico posterior definirá la rentabilidad de esta solución y la posibilidad o no de adoptarla.

Tabla 3-101 ZT3 - Demanda anual de calefacción [KWh/m²] – Aislación interior

Annual loads Heating [KWh/m2]		Cubierta							
		EPS - Aislación interior [mm]							
		0	10	20	30	40	50		
Muro	EPS - Aislación interior [mm]	0	U [W/m2K]	3.169	1.742	1.214	0.931	0.755	0.635
		0	2.712	6.97	8.68	8.22	7.99	7.85	7.76
		10	1.616	4.19	5.32	4.93	4.72	4.60	4.52
		20	1.151	3.25	4.15	3.78	3.59	3.48	3.40
		30	0.894	2.77	3.54	3.19	3.01	2.91	2.83
		40	0.731	2.48	3.17	2.83	2.66	2.56	2.49
		50	0.618	2.29	2.92	2.59	2.43	2.33	2.26

Elaboración propia.

Figura 3-20 ZT3 - Demanda anual de calefacción [KWh/m²] – Aislación exterior vs interior



Elaboración propia.

3.6.2.4 Zona térmica 4: Demanda energética anual de calefacción

Solución con aislante exterior

Tabla 3-102 ZT4 - Demanda anual de calefacción [KWh/m²] – Aislación exterior

Annual loads Heating [KWh/m2]		Cubierta EPS - Aislación exterior [mm]						
		0	10	20	30	40	50	
Muro EPS - Aislación exterior [mm]	U [W/m2K]	3.169	1.742	1.214	0.931	0.755	0.635	
	0	2.712	104.83	108.18	103.48	100.85	99.17	98.00
	10	1.616	79.37	81.88	76.78	73.93	72.12	70.86
	20	1.151	68.39	70.16	64.92	62.00	60.15	58.87
	30	0.894	62.26	63.52	58.22	55.29	53.43	52.15
	40	0.731	58.37	59.27	53.94	51.01	49.16	47.88
	50	0.618	55.69	56.31	50.98	48.05	46.20	44.93

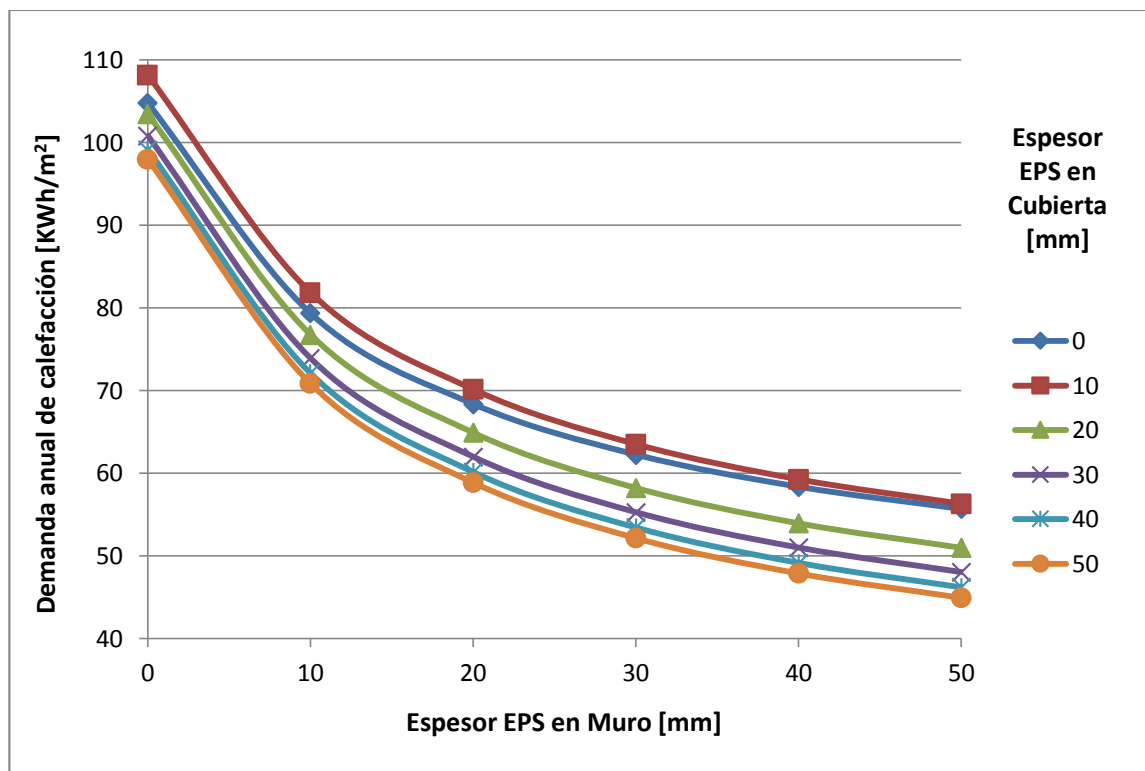
Elaboración propia.

Al igual que en caso anterior, aislar 10 [mm] la cubierta resulta en mayores demandas de energía y aislar principalmente muros es la solución más conveniente. Sin embargo, a partir de los 20 [mm] de aislación en cubierta se ven mejoras en los ahorros energéticos.

Los diferentes espesores generan considerables disminuciones de demanda. A diferencia del resto de zonas en este no se aprecia una tendencia horizontal en las curvas de la Figura 3-21, aunque para espesores mayores a 40 [mm] la diferencia se encuentra entre 2 y 3 [KWh/m²] de ahorro anual.

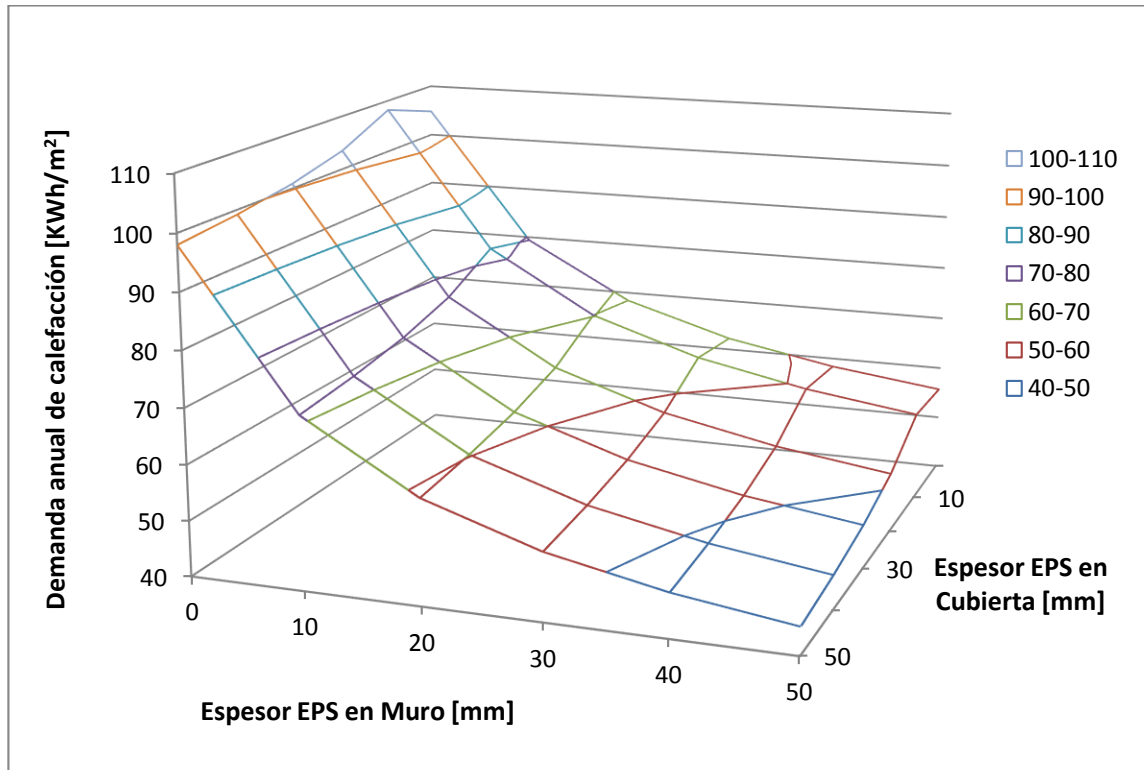
De acuerdo a la Figura 3-22, una de las mejores opciones corresponde a la solución 20 [mm] en cubierta y 50 [mm] en muros; el análisis económico definirá la mejor solución para los valores de transmitancia térmica de estos dos elementos.

Figura 3-21 ZT4 - Demanda anual de calefacción [KWh/m²] – Aislación exterior



Elaboración propia.

Figura 3-22 ZT4 - Demanda anual de calefacción [KWh/m²] – Aislación exterior – Análisis por superficie



Elaboración propia.

Solución con aislante interior

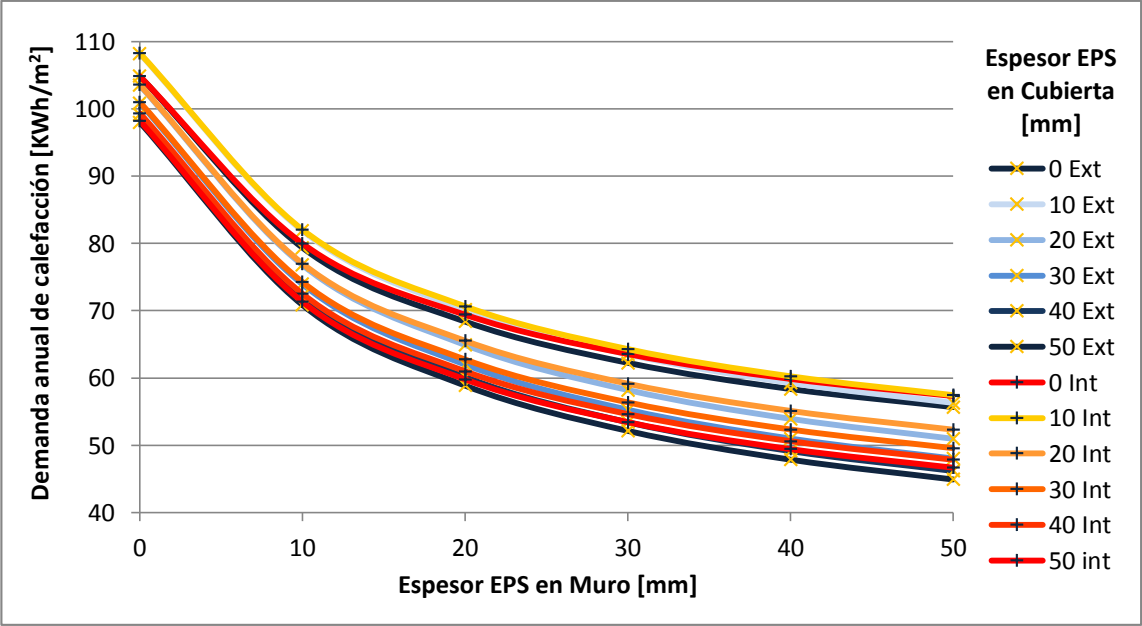
Al comparar la demanda de energía que genera el aislante interior versus el exterior no se encuentran mayores diferencias antes de los 10 [mm] de EPS en muros y cubierta. Posterior a esta cifra se aprecia una leve ventaja de la aislación exterior como indica la Figura 3-23. Ante este modesto ahorro de energía se recomienda ubicar el aislante al exterior de la envolvente en esta zona térmica.

Tabla 3-103 ZT4 - Demanda anual de calefacción [KWh/m²] – Aislación interior

Annual loads Heating [KWh/m2]		Cubierta							
		EPS - Aislación interior [mm]							
		0	10	20	30	40	50		
Muro	EPS - Aislación interior [mm]	0	U [W/m2K]	3.169	1.742	1.214	0.931	0.755	0.635
		0	2.712	104.83	108.26	103.56	100.98	99.34	98.21
		10	1.616	79.98	82.04	77.00	74.25	72.52	71.32
		20	1.151	69.41	70.65	65.53	62.75	61.01	59.81
		30	0.894	63.57	64.30	59.16	56.39	54.65	53.45
		40	0.731	59.88	60.26	55.12	52.36	50.63	49.44
		50	0.618	57.33	57.46	52.33	49.59	47.87	46.69

Elaboración propia.

Figura 3-23 ZT4 - Demanda anual de calefacción [KWh/m²] – Aislación exterior vs interior



Elaboración propia.

3.6.3 Evaluación económica

El costo de implementar las soluciones de aislación junto con la rentabilidad obtenida constituyen la etapa final del proceso para establecer los valores de transmitancia térmica.

En este análisis, los costos asociados se plantean igual para las 4 zonas así como los parámetros base para la obtención de la rentabilidad mediante el Valor Actual Neto. Bajo estas consideraciones se desarrollan las siguientes fases.

3.6.3.1 Determinación de costos de implementación

El presupuesto correspondiente a la implementación de aislación térmica se realizó mediante precios unitarios para los cinco espesores utilizados en las simulaciones. Se consideraron costos indirectos, mano de obra, materiales y equipo según disposiciones salariales y precios actualizados hasta abril del 2014.

Los precios de materiales se obtuvieron de proformas solicitadas a diversos centros ferreteros de la ciudad de Quito, mientras que los salarios fueron consultados a profesionales del rubro de la construcción y comparados con los salarios mínimos por ley establecidos por la Contraloría General del Estado y vigentes a partir de enero de 2014. Para las cantidades de obra, se realizaron cubicaciones tanto para aislación interior como para exterior.

A continuación se presentan cuadros resumen con los costos asociados al mejoramiento térmico de la vivienda. El desglose del presupuesto general se encuentra en el Anexo 4.

Tabla 3-104 Resumen de presupuestos de mejoramiento térmico a través de aislante EPS

CASO	ELEMENTO	ESPEJOR AISLANTE [mm]	COD.	RUBRO	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNIT. [USD]	SUBTOTAL [USD]	IVA (12%)	TOTAL [USD]
4.1	Muro	10	001	Instalación EPS 10 mm	m ²	190.16	9.18	1745.92	209.51	1955.43
4.1	Muro	20	002	Instalación EPS 20 mm	m ²	190.16	10.79	2051.83	246.22	2298.05
4.1	Muro	30	003	Instalación EPS 30 mm	m ²	190.16	12.40	2357.74	282.93	2640.67
4.1	Muro	40	004	Instalación EPS 40 mm	m ²	190.16	14.01	2663.65	319.64	2983.29
4.1	Muro	50	005	Instalación EPS 50 mm	m ²	190.16	15.62	2969.56	356.35	3325.91
4.1	Cubierta	10	001	Instalación EPS 10 mm	m ²	93.29	9.18	856.55	102.79	959.33
4.1	Cubierta	20	002	Instalación EPS 20 mm	m ²	93.29	10.79	1006.63	120.80	1127.42
4.1	Cubierta	30	003	Instalación EPS 30 mm	m ²	93.29	12.40	1156.71	138.80	1295.51
4.1	Cubierta	40	004	Instalación EPS 40 mm	m ²	93.29	14.01	1306.79	156.81	1463.60
4.1	Cubierta	50	005	Instalación EPS 50 mm	m ²	93.29	15.62	1456.87	174.82	1631.69
4.2	Muro	10	001	Instalación EPS 10 mm	m ²	157.44	9.18	1445.50	173.46	1618.96
4.2	Muro	20	002	Instalación EPS 20 mm	m ²	157.44	10.79	1698.77	203.85	1902.62
4.2	Muro	30	003	Instalación EPS 30 mm	m ²	157.44	12.40	1952.04	234.25	2186.29
4.2	Muro	40	004	Instalación EPS 40 mm	m ²	157.44	14.01	2205.32	264.64	2469.95
4.2	Muro	50	005	Instalación EPS 50 mm	m ²	157.44	15.62	2458.59	295.03	2753.62
4.2	Cubierta	10	001	Instalación EPS 10 mm	m ²	85.21	9.18	782.36	93.88	876.24
4.2	Cubierta	20	002	Instalación EPS 20 mm	m ²	85.21	10.79	919.44	110.33	1029.77
4.2	Cubierta	30	003	Instalación EPS 30 mm	m ²	85.21	12.40	1056.52	126.78	1183.30
4.2	Cubierta	40	004	Instalación EPS 40 mm	m ²	85.21	14.01	1193.60	143.23	1336.84
4.2	Cubierta	50	005	Instalación EPS 50 mm	m ²	85.21	15.62	1330.69	159.68	1490.37

Elaboración propia.

Tabla 3-105 Costo de soluciones de aislación exterior [USD]

Costo de implementar EPS [USD]		Cubierta							
		EPS - Aislación exterior [mm]							
		0	10	20	30	40	50		
Muro	EPS - Aislación exterior [mm]	U [W/m2K]	2.594	1.553	1.119	0.874	0.717	0.608	
		0	2.712	0.0	959.3	1127.4	1295.5	1463.6	1631.7
		10	1.616	1955.4	2914.8	3082.8	3250.9	3419.0	3587.1
		20	1.151	2298.0	3257.4	3425.5	3593.6	3761.6	3929.7
		30	0.894	2640.7	3600.0	3768.1	3936.2	4104.3	4272.4
		40	0.731	2983.3	3942.6	4110.7	4278.8	4446.9	4615.0
		50	0.618	3325.9	4285.2	4453.3	4621.4	4789.5	4957.6

Elaboración propia.

Tabla 3-106 Costo de soluciones de aislación interior [USD]

Costo de implementar EPS [USD]		Cubierta						
		EPS - Aislación interior [mm]						
		0	10	20	30	40	50	
Muro	U [W/m2K]	2.594	1.553	1.119	0.874	0.717	0.608	
	0	2.712	0.0	876.2	1029.8	1183.3	1336.8	1490.4
	10	1.616	1619.0	2495.2	2648.7	2802.3	2955.8	3109.3
	20	1.151	1902.6	2778.9	2932.4	3085.9	3239.5	3393.0
	30	0.894	2186.3	3062.5	3216.1	3369.6	3523.1	3676.7
	40	0.731	2470.0	3346.2	3499.7	3653.3	3806.8	3960.3
	50	0.618	2753.6	3629.9	3783.4	3936.9	4090.5	4244.0

Elaboración propia.

3.6.3.2 Análisis de rentabilidad

Mediante el Valor Actual Neto (VAN) se determina la rentabilidad que representa el invertir en aislación térmica de muros y cubierta en contraste con los mayores ahorros económicos en calefacción o refrigeración que se generan.

Para la fórmula del VAN:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+i)^t} - I_0$$

Donde

- V_t** flujos de caja en cada período t
- I_0** inversión inicial
- n** número de períodos considerado
- i** tasa de descuento

se consideraron los siguientes parámetros:

- Flujos de caja (V_t): correspondiente a la diferencia entre los costos asociados con la demanda energética de refrigeración o calefacción del caso base y la demanda energética de la solución con aislante térmico. El costo de energía eléctrica para el sector residencial 2013 equivale a 9.48 [USD ¢/KWh] según los precios medios a clientes finales de distribuidoras [USD ¢/KWh] del Consejo Nacional de Electricidad - CONELEC.
- Inversión inicial (I_0): el precio total que representa la solución de mejoramiento térmico detallado en el análisis de costos.

- Número de períodos (n): se considera un período de 25 años (300 meses) correspondiente al plazo común de endeudamiento por préstamos hipotecarios para viviendas terminadas, otorgado por el Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social – BIESS.
- Tasa de descuento (i): de carácter mensual y compuesto. La tasa anual para el plazo de 25 años es de 8.69%. La tasa de descuento mensual compuesta empleada es de 0.70%.

A continuación se presentan gráficas y cuadros resumen de rentabilidad obtenida para cada alternativa de mejoramiento térmico en las cuatro zonas. El desarrollo completo se detalla en el Anexo 5.

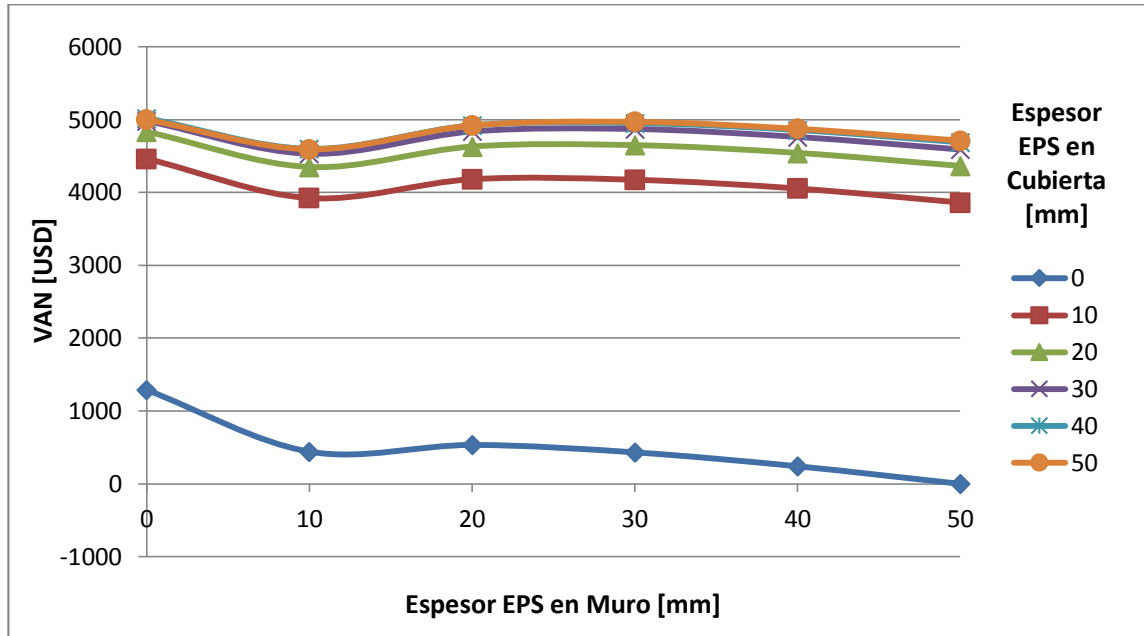
Zona térmica 1

Tabla 3-107 ZT1 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior

VAN [USD]		Cubierta							
		EPS - Aislación exterior [mm]							
		0	10	20	30	40	50		
Muro	EPS - Aislación exterior [mm]	U [W/m2K]	2.594	1.553	1.119	0.874	0.717	0.608	
		0	2.712	1287.8	4461.9	4832.9	4981.6	5017.1	4999.4
		10	1.616	441.0	3923.0	4349.9	4531.3	4598.7	4593.2
		20	1.151	533.3	4180.8	4629.9	4836.5	4920.4	4918.1
		30	0.894	431.5	4173.2	4648.6	4869.9	4951.6	4968.2
		40	0.731	240.4	4053.4	4542.4	4761.4	4856.9	4873.3
		50	0.618	-0.8	3861.3	4363.9	4589.6	4688.0	4710.9

Elaboración propia.

Figura 3-24 ZT1 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior



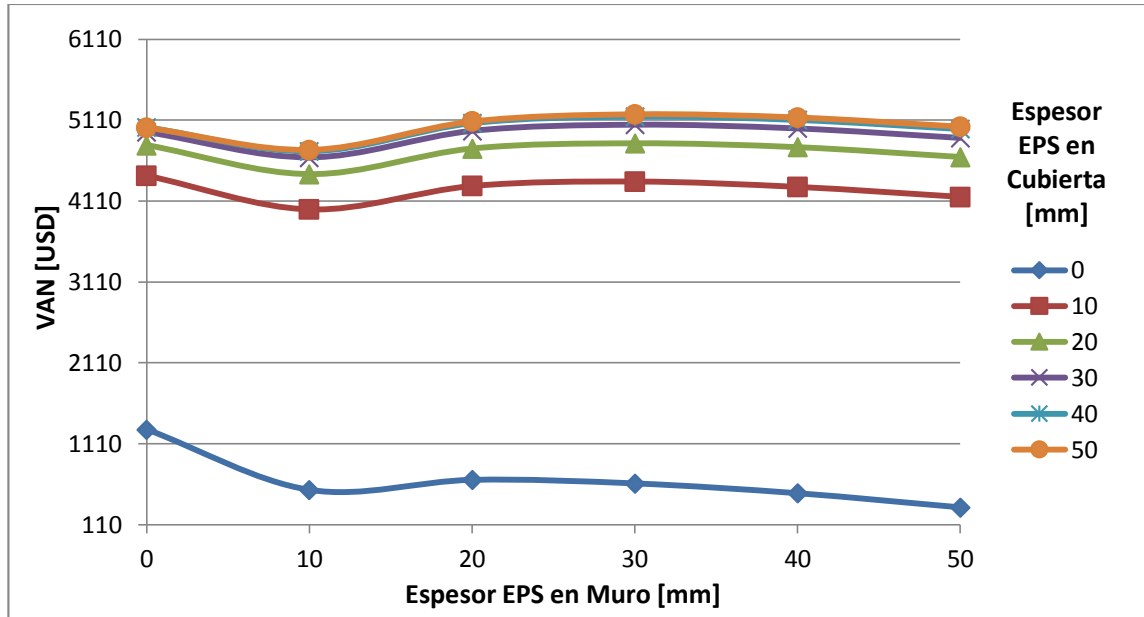
Elaboración propia.

Tabla 3-108 ZT1 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior

VAN [USD]		Cubierta						
		EPS - Aislación interior [mm]						
		0	10	20	30	40	50	
Muro	U [W/m ² K]	2.594	1.553	1.119	0.874	0.717	0.608	
	0	2.712	1287.8	4423.9	4802.3	4964.3	5022.8	5018.6
	10	1.616	540.6	4007.6	4443.8	4651.1	4725.6	4742.8
	20	1.151	664.1	4296.4	4760.2	4978.2	5073.5	5093.5
	30	0.894	619.8	4351.9	4824.6	5054.5	5154.4	5183.1
	40	0.731	498.7	4285.5	4776.8	5008.2	5113.2	5143.6
	50	0.618	323.9	4162.8	4655.8	4891.4	5001.1	5030.4

Elaboración propia.

Figura 3-25 ZT1 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior



Elaboración propia.

De las gráficas se observa que para espesores de 0 [mm] de aislación existe rentabilidad. Esto se debe a que para todos los casos, se toman en cuenta los ahorros energéticos producidos por los cambios ocupacionales, los cuales para el caso sin aislación, sea en muros y/o en cubierta, representan ahorros económicos netos. Como se mencionó anteriormente, estos cambios son complemento a la acción de mejoramiento térmico, ya que sus beneficios son modestos tanto en demanda energética como en confort.

La rentabilidad tanto para aislación exterior como interior es semejante a partir de los 30 [mm] de EPS en cubierta. Los mejores resultados se dan con espesores de 30 [mm] en muros en ambos casos, siendo levemente mayores los correspondientes a aislación interior debido a los menores costos de inversión. De acuerdo a lo anterior, se plantea como mejor alternativa la aislación interior de 30 [mm] en muros y cubierta.

Zona térmica 2

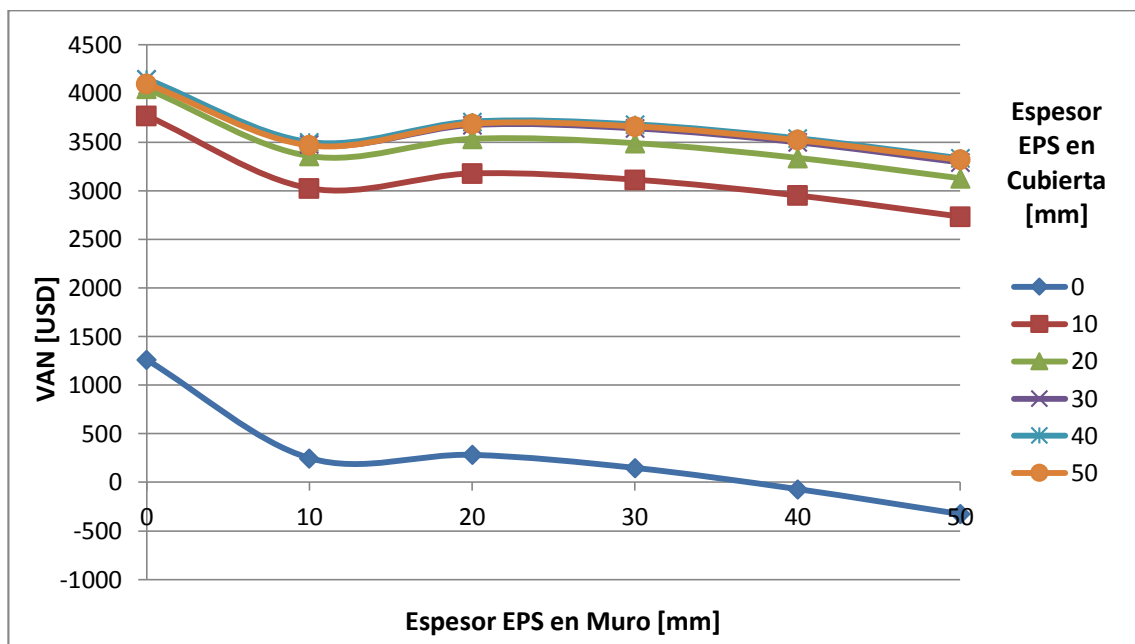
Tabla 3-109 ZT2 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior

VAN [USD]		Cubierta						
		EPS - Aislación exterior [mm]						
			0	10	20	30	40	50
Muro	EPS - Aislación exterior [mm]	U [W/m ² K]	2.594	1.553	1.119	0.874	0.717	0.608
	0	2.712	1260.2	3771.0	4047.0	4145.4	4146.7	4099.8
	10	1.616	249.4	3025.1	3356.3	3475.7	3500.5	3465.9
	20	1.151	282.6	3177.4	3533.6	3675.4	3710.9	3689.4
	30	0.894	148.6	3113.3	3488.8	3641.2	3682.1	3661.7
	40	0.731	-69.9	2950.5	3337.4	3497.6	3539.0	3519.6
	50	0.618	-326.3	2733.8	3128.2	3290.8	3334.0	3317.3

Elaboración propia.

Al igual que en la zona térmica 1, la rentabilidad se torna semejante a partir de los 30 [mm] de EPS en cubierta. Sin embargo, la mejor rentabilidad corresponde a los 20 [mm] en muros para aislación exterior y entre 20 y 30 [mm] para interior. Debido a los menores costos de inversión, la aislación interior genera mayores ingresos. Según lo anterior, se plantea como mejor alternativa la aislación interior de 30 [mm] en muros y 20 [mm] en cubierta.

Figura 3-26 ZT2 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior



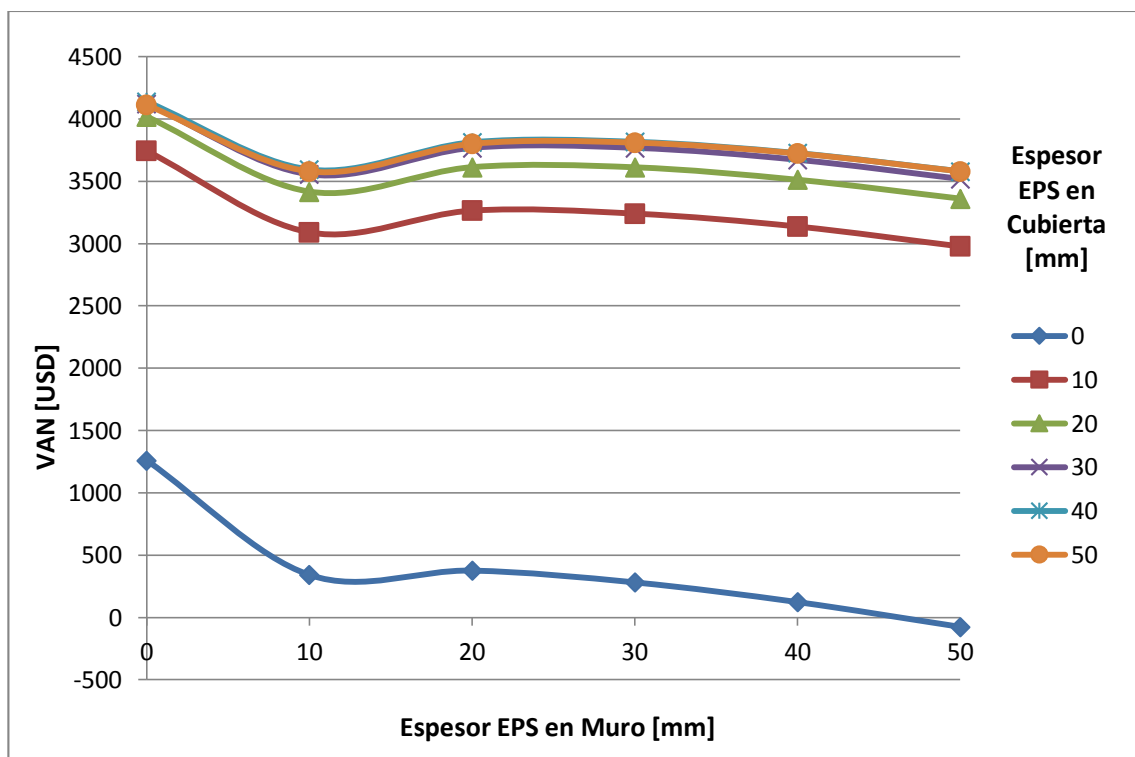
Elaboración propia.

Tabla 3-110 ZT2 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior

VAN [USD]		Cubierta						
		EPS - Aislación interior [mm]						
		U [W/m ² K]	0	10	20	30	40	50
Muro	0	2.712	1260.2	3742.7	4018.5	4121.5	4137.7	4111.3
	10	1.616	341.3	3089.8	3416.9	3555.5	3594.2	3579.4
	20	1.151	375.6	3264.5	3613.0	3768.2	3812.7	3800.3
	30	0.894	280.9	3240.3	3612.0	3768.3	3816.5	3809.9
	40	0.731	122.9	3136.6	3511.9	3672.4	3725.6	3723.2
	50	0.618	-75.9	2977.0	3360.7	3518.9	3580.1	3579.4

Elaboración propia.

Figura 3-27 ZT2 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior



Elaboración propia.

Zona térmica 3

Como se mencionó en el análisis de desempeño energético para esta zona, las condiciones climáticas generan un ambiente ideal dentro de la vivienda. Cualquier intervención resulta contraproducente, como se aprecia en las gráficas de este caso.

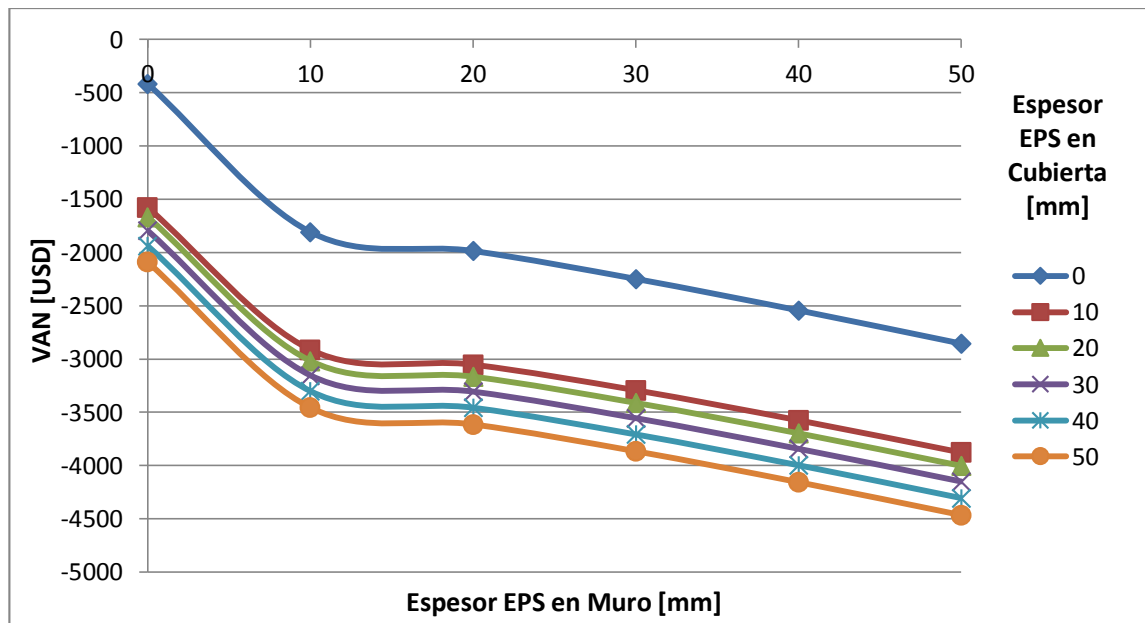
No existe rentabilidad al invertir en mejoramiento térmico por lo que los valores de transmitancia para muros y cubierta serán aquellos obtenidos en el caso base, sin la incorporación de aislantes.

Tabla 3-111 ZT3 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior

VAN [USD]		Cubierta						
		EPS - Aislación exterior [mm]						
		U [W/m ² K]	0	10	20	30	40	50
Muro	0	2.712	-416.8	-1578.2	-1667.7	-1795.6	-1939.1	-2090.6
	10	1.616	-1808.7	-2912.4	-3017.8	-3153.9	-3301.8	-3456.4
	20	1.151	-1985.8	-3052.9	-3165.8	-3306.2	-3457.3	-3613.9
	30	0.894	-2248.0	-3293.4	-3412.1	-3555.4	-3708.0	-3866.1
	40	0.731	-2543.4	-3575.4	-3697.5	-3842.9	-3997.4	-4156.5
	50	0.618	-2855.2	-3877.8	-4002.7	-4149.9	-4305.5	-4465.2
	50	0.618	-2855.2	-3877.8	-4002.7	-4149.9	-4305.5	-4465.2

Elaboración propia.

Figura 3-28 ZT3 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior



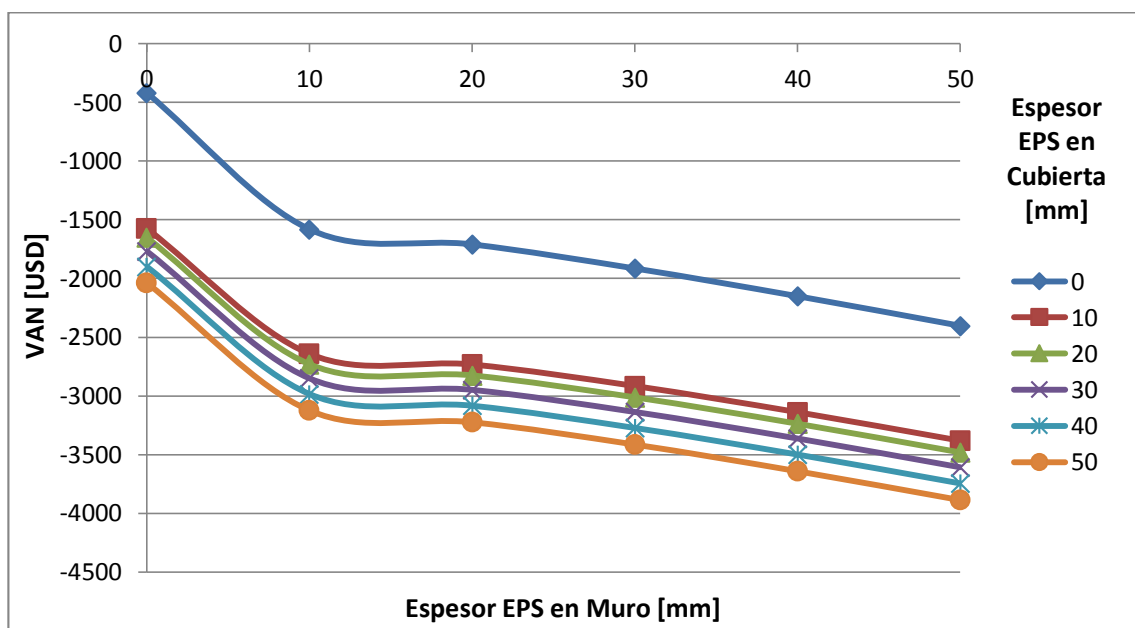
Elaboración propia.

Tabla 3-112 ZT3 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior

VAN [USD]		Cubierta						
		EPS - Aislación interior [mm]						
		U [W/m ² K]	0	10	20	30	40	50
Muro	0	2.712	-416.8	-1573.2	-1650.7	-1767.2	-1898.3	-2036.5
	10	1.616	-1580.3	-2641.9	-2730.1	-2850.7	-2984.2	-3124.4
	20	1.151	-1709.0	-2732.5	-2825.2	-2948.7	-3083.9	-3224.7
	30	0.894	-1914.1	-2916.1	-3012.3	-3137.1	-3273.3	-3415.0
	40	0.731	-2150.4	-3139.0	-3237.3	-3363.4	-3500.1	-3642.3
	50	0.618	-2402.8	-3381.9	-3481.7	-3608.6	-3745.9	-3888.4
	50	0.618	-2402.8	-3381.9	-3481.7	-3608.6	-3745.9	-3888.4

Elaboración propia.

Figura 3-29 ZT3 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior



Elaboración propia.

Zona térmica 4

Tabla 3-113 ZT4 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior

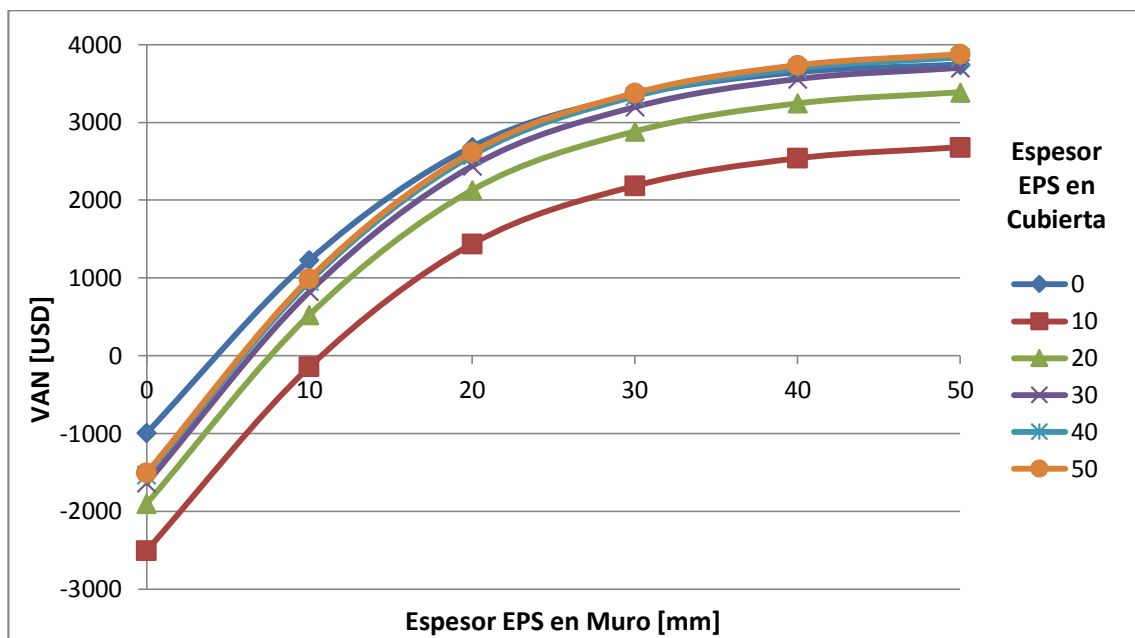
VAN [USD]		Cubierta							
		EPS - Aislación exterior [mm]							
		0	10	20	30	40	50		
Muro	EPS - Aislación exterior [mm]	U [W/m2K]	3.169	1.742	1.214	0.931	0.755	0.635	
		0	2.712	-991.8	-2501.9	-1898.4	-1635.1	-1527.3	-1503.7
		10	1.616	1228.7	-141.9	525.5	824.4	954.4	992.9
		20	1.151	2687.3	1437.6	2129.2	2438.5	2574.0	2616.3
		30	0.894	3349.5	2183.1	2884.2	3196.7	3333.6	3376.1
		40	0.731	3644.8	2538.4	3243.6	3556.6	3692.7	3734.2
		50	0.618	3742.8	2680.7	3387.3	3700.1	3835.0	3874.9

Elaboración propia.

En las gráficas de esta zona se aprecia una rentabilidad creciente. A partir de los 50 [mm] la pendiente de la curva tiende a disminuir, por lo que puede deducirse que mayores espesores de aislante generarán modestas ganancias respecto a sus anteriores.

Tanto para aislación exterior como interior, la cubierta con 0 [mm] de EPS genera una rentabilidad semejante a la de espesores igual o mayor que 30 [mm], por lo que se opta como mejor alternativa la aislación interior de 50 [mm] en muros y 0 [mm] en cubierta.

Figura 3-30 ZT4 - Rentabilidad económica con solución de aislante exterior



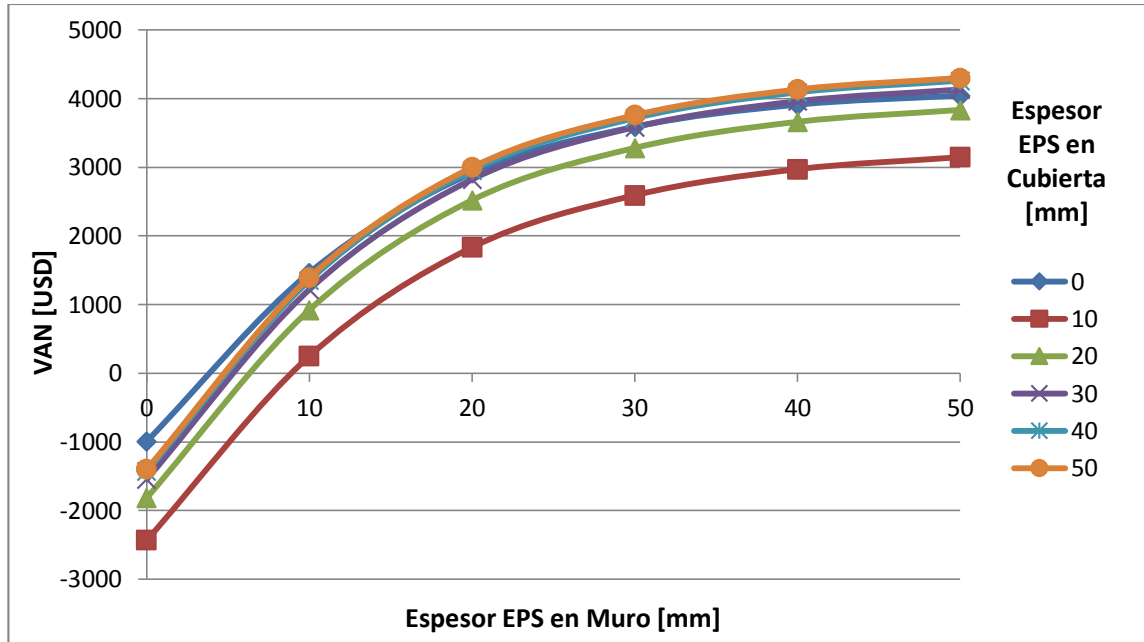
Elaboración propia.

Tabla 3-114 ZT4 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior

VAN [USD]		Cubierta						
		EPS - Aislación interior [mm]						
		0	10	20	30	40	50	
Muro	U [W/m2K]	3.169	1.742	1.214	0.931	0.755	0.635	
	0	2.712	-991.8	-2430.6	-1813.5	-1543.8	-1429.1	-1397.2
	10	1.616	1464.6	251.0	923.4	1220.8	1352.2	1394.9
	20	1.151	2915.5	1834.7	2521.5	2823.2	2956.4	2999.9
	30	0.894	3589.1	2592.6	3282.1	3583.7	3715.7	3758.4
	40	0.731	3911.4	2971.9	3661.6	3961.2	4091.2	4132.3
	50	0.618	4044.8	3147.1	3835.2	4132.3	4260.6	4300.7

Elaboración propia.

Figura 3-31 ZT4 - Rentabilidad económica con solución de aislante interior



Elaboración propia.

3.7 Definición de valores restrictivos de transmitancia térmica

A través del análisis combinado de desempeño energético, costos de implementación y rentabilidad económica se selecciona la mejor alternativa de aislación en cada zona. Los valores de U asociados corresponden a las restricciones de transmitancia térmica de la presente propuesta.

Para su definición se realizan cuadros comparativos con los 3 criterios mencionados, donde se busca tanto confort como ahorro energético. Las alternativas adoptadas no siempre obedecen a la mejor rentabilidad puesto que en ciertos casos, no existe mayor diferencia económica entre opciones.

Los valores de transmitancia para muros y cubierta se establecen en las siguientes tablas:

Zona térmica 1

Tabla 3-115 ZT1 - Cuadro comparativo para selección de transmitancia máxima en muros y cubierta

TIPOLOGÍA	1	ALTERNATIVA	U [W/m²K]		AISLACIÓN RESULTANTE			CÓDIGO	U MÁXIMO [W/m²K]	
ZONA TÉRMICA	1		Muro	Cubierta	POSICIÓN	ESPESOR [mm]			Muro	Cubierta
CRITERIOS DE SELECCIÓN										
Demanda energética anual		Caso 4.1 M20-C20	1.151	1.119	4.1			Caso 4.1 M30-C30	0.894	0.874
Costo de implementación		Caso 4.2 M10-C10	1.616	1.553	Exterior	30	30			
Rentabilidad		Caso 4.2 M30-C30	0.894	0.874						

Elaboración propia.

Se elige como mejor alternativa la aislación exterior de 30 [mm] en muros y cubierta al brindar mayores ahorros energéticos y rentabilidad entre las demás opciones. La posición exterior del aislante se debe a que es recomendable esta ubicación para mitigar el sobrecalentamiento³³; si bien es más rentable colocarla al interior, la diferencia económica comparada con aislación interior no es significativa (4.31%).

La transmitancia máxima para muros es 0.894 [W/m²K] y 0.874 [W/m²K] en cubiertas.

³³ Fuente: IIT-Universidad de Concepción. Informe Etapa 3. Grupo de Estudios 1.

Zona térmica 2

Tabla 3-116 ZT2 - Cuadro comparativo para selección de transmitancia máxima en muros y cubierta

TIPOLOGÍA	1	ALTERNATIVA	U [W/m²K]		AISLACIÓN RESULTANTE		CÓDIGO	U MÁXIMO [W/m²K]		
ZONA TÉRMICA	2				POSICIÓN	ESPESOR [mm]		Muro	Cubierta	
CRITERIOS DE SELECCIÓN			Muro	Cubierta	Muro	Cubierta		Muro	Cubierta	
Demanda energética anual		Caso 4.1 M20-C20	1.151	1.119	4.1					
Costo de implementación		Caso 4.2 M10-C10	1.616	1.553	Exterior	20	20	Caso 4.1 M20-C20	1.151	1.119
Rentabilidad		Caso 4.2 M30-C20	0.894	1.119						

Elaboración propia.

Se elige como mejor alternativa la aislación exterior de 20 [mm] en muros y cubierta al brindar gran ahorro energético y alta rentabilidad a menor costo. Al igual que en la anterior zona cálida, la ubicación exterior del aislante se recomienda para evitar el sobrecalentamiento, esto no afecta a la rentabilidad sustancialmente ya que la diferencia económica comparada con aislación interior es del 2.20%.

La transmitancia máxima para muros es 1.151 [W/m²K] y 1.119 [W/m²K] en cubiertas.

Zona térmica 3

Tabla 3-117 ZT3 - Cuadro comparativo para selección de transmitancia máxima en muros y cubierta

TIPOLOGÍA	1	ALTERNATIVA	U [W/m²K]		AISLACIÓN RESULTANTE			CÓDIGO	U REFERENCIAL [W/m²K]	
ZONA TÉRMICA	3				POSICIÓN	ESPESOR [mm]			Muro	Cubierta
CRITERIOS DE SELECCIÓN			Muro	Cubierta	Muro	Cubierta	Muro		Cubierta	
Demanda energética anual		Caso 4.1 M0-C0	2.712	3.169	4.1			Caso 4.1 M0-C0	2.712	3.169
Costo de implementación		Caso 4.1 M0-C0	2.712	3.169	Exterior	0	0			
Rentabilidad		Caso 4.1 M0-C0	2.712	3.169						

Elaboración propia.

Para esta zona, ninguna de las soluciones de mejoramiento térmico es favorable, por lo cual los valores máximos de transmitancia corresponden a los asociados con los casos base, es decir, elementos de envolvente sin aislación térmica.

El valor referencial de transmitancia máxima para muros es 2.712 [W/m²K] y 3.169 [W/m²K] en cubiertas.

Zona térmica 4

Tabla 3-118 ZT4 - Cuadro comparativo para selección de transmitancia máxima en muros y cubierta

TIPOLOGÍA	1	ALTERNATIVA	U [W/m²K]		AISLACIÓN RESULTANTE			CÓDIGO	U MÁXIMO [W/m²K]	
ZONA TÉRMICA	4				POSICIÓN	ESPESOR [mm]			Muro	Cubierta
CRITERIOS DE SELECCIÓN			Muro	Cubierta	Muro	Cubierta	Muro		Cubierta	
Demanda energética anual		Caso 4.1 M50-C20	0.618	1.214	4.2					
Costo de implementación		Caso 4.2 M10-C0	1.616	3.169	Interior	50	0	Caso 4.2 M50-C0	0.618	3.169
Rentabilidad		Caso 4.2 M50-C0	0.618	3.169						

Elaboración propia.

Se elige como mejor alternativa la aislación interior de 50 [mm] en muros y sin aislación en cubierta, debido a que su rentabilidad es semejante a la de espesores igual o mayores que 30 [mm] así como su ahorro energético, por lo cual se considera una opción práctica.

La transmitancia máxima para muros es 0.618 [W/m²K] y 3.169 [W/m²K] en cubiertas.

De acuerdo a la consideración planteada en 3.6.1.3.3, para la definición de transmitancia térmica de pisos en contacto con el terreno, se consideran los valores de las situaciones base en cada zona, es decir, pisos sin aislación térmica. Los valores se toman directamente de las simulaciones y se presenta en el cuadro a continuación.

Tabla 3-119 Transmitancia térmica máxima para pisos en contacto con el terreno

ZONA TÉRMICA	SOLUCIÓN CONSTRUCTIVA	ESPESOR [mm]	FLUJO DE CALOR	U [W/m ² K]
1	Piso de hormigón 20 cm, terminación cerámica	205	Ascendente	2.780
2	Piso de hormigón 20 cm, terminación cerámica	205	Ascendente	2.780
3	Piso de hormigón 20 cm, terminación parquet	206	Descendente	2.147
4	Piso de hormigón 20 cm, terminación parquet	206	Descendente	2.147

Elaboración propia.

Los valores restrictivos de transmitancia térmica para muros, cubierta y pisos en contacto con el terreno se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 3-120 Exigencias de transmitancia térmica para cubiertas, muros y pisos

ZONA TÉRMICA	CUBIERTA U [W/m ² K]	MUROS U [W/m ² K]	PISOS U [W/m ² K]
1	0.874	0.894	2.780
2	1.119	1.151	2.780
3	3.169	2.712	2.147
4	3.169	0.618	2.147

Elaboración propia.

CAPÍTULO 4

CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones generales

En el Ecuador, las políticas energéticas actuales denotan responsabilidad con el ambiente. El cambio a una matriz basada mayormente en fuentes renovables y la implementación de eficiencia energética dentro del sector residencial son dos de las principales estrategias sostenibles adoptadas.

La presente propuesta de reglamentación constituye un aporte a estas estrategias al procurar reducir el consumo eléctrico por acondicionamiento térmico de viviendas mediante la restricción de transmitancia térmica de elementos de envolvente, con el fin de disminuir su demanda, prescindir gradualmente de la generación termoeléctrica y afirmar la seguridad energética en el país.

La metodología empleada es un primer alcance a la obtención de los valores de transmitancia térmica adaptados a la realidad de la vivienda ecuatoriana, fundamentada en condiciones climáticas y habitacionales del país y desarrollada en base a experiencia internacional.

4.2 Conclusiones específicas

El Ecuador posee cuatro zonas térmicas: la primera y segunda de clima cálido, la tercera de clima templado y una cuarta de clima frío, siendo las zonas cálidas las predominantes y más severas del país. Estas cuatro zonas pueden tener una o dos clases hígricas: seco y húmedo. La combinación de los parámetros

clima, humedad y población definen la zonificación higrotérmico habitacional del Ecuador.

De acuerdo a la base de datos del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INEC de los permisos de construcción comprendidos entre los años 1991 a 2011, la tipología de vivienda predominante en el país corresponde a casas con estructura de hormigón armado, superficie en planta de 50 a 100 m², 2 pisos, muros de bloque y cubierta de hormigón armado.

La solución constructiva combinada de muros y cubierta con aislante térmico ubicado al exterior provee los mejores resultados de ahorro energético, tanto en climas cálidos como fríos, puesto que conserva la temperatura interior por más tiempo debido a la inercia térmica de los materiales cementicios, mientras que el aislante exterior protege la envolvente del clima.

A partir de los 20 [mm] de aislación en muros y cubierta, el ahorro energético en las zonas térmicas 1 y 2 tiende a decrecer y a estabilizarse, por lo que la rentabilidad deja de ser representativa a valores de transmitancia superiores a 1.151 [W/m²K] en muros y 1.119 [W/m²K] en cubierta.

En la zona térmica 4, aislar la cubierta no representa beneficios, únicamente la aislación en muros genera ahorro energético, siendo 50 [mm] de aislante la mejor alternativa. En este caso la mayor rentabilidad se da con valores de transmitancia inferiores a 0.618 [W/m²K] en muros y con el valor base 3.169 [W/m²K] en cubierta.

Para la zona térmica 3, la aislación de elementos de envolvente no representa rentabilidad alguna, por lo cual la transmitancia en esta zona corresponde a los valores base: 2.712 [W/m²K] en muros y 3.169 [W/m²K] en cubierta.

El mejoramiento térmico propuesto representa una inversión inicial que es rentable para las zonas con climas severos del país debido a que el costo adicional puede amortizarse con el ahorro energético obtenido.

El estudio muestra que mediante la restricción de los valores de transmitancia térmica definidos para muros y cubierta se pueden reducir los consumos energéticos de refrigeración: un 30.22% en zona térmica 1 y 28.49% en zona térmica 2, y de calefacción un 41.96% en la zona térmica 4. Debido a lo benigno del clima de la zona térmica 3, esta no requiere de climatización interior.

Los cambios ocupacionales como la utilización de persianas de baja transmitancia solar, la implementación de focos fluorescentes y la apertura adecuada de puertas y ventanas, disminuyen un 4.8% la demanda de energía de refrigeración, lo cual denota la importancia de adoptar una cultura energética que mejore la efectividad del reglamento.

El riesgo de condensación existe en todas las zonas, siendo la de menor riesgo la zona térmica 3, por lo cual se debe considerar la instalación de barreras de vapor en las regiones húmedas según lo indique la zonificación higrotérmica.

La metodología y los resultados de este estudio constituyen una fuente válida para la implementación, desarrollo y optimización de los valores de transmitancia térmica acorde a la realidad de la edificación habitacional del Ecuador.

4.3 Recomendaciones

Se recomienda considerar estos resultados como una primera aproximación a un reglamento acorde a la situación del Ecuador, ya que si bien representan el mejor comportamiento térmico de la vivienda ecuatoriana, estos pueden ser mejorados. La optimización de estos valores se llevará a cabo con estudios

complementarios, bajo una perspectiva holística de eficiencia energética que involucre arquitectura bioclimática, materiales constructivos inocuos, tecnología eficiente, entre otros criterios sostenibles.

Para potenciar la eficiencia de la reglamentación se recomienda optimizar el diseño arquitectónico de las viviendas. Junto a esto, se deberán considerar estudios complementarios de humedad y ventilación, determinación de la superficie óptima de ventanas, regulación de los sistemas de aire acondicionado, hermeticidad de puertas y ventanas, entre otros aspectos inherentes al modelo de edificación energéticamente eficiente y que se encuentran dentro de la actual Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador.

Junto a la implementación de un reglamento sobre eficiencia energética y desarrollo sostenible se debe educar y crear conciencia en la gente, cambiar el viejo paradigma de la tradición por la innovación y en especial adoptar nuevas ideologías que contribuyan al bienestar tanto de la sociedad como del ambiente.

4.4 Presentación de la propuesta de reglamentación higrotérmico habitacional

Lo descrito a continuación corresponde al texto de la reglamentación higrotérmica propuesta para aplicar en el diseño térmico de viviendas energéticamente eficientes. Para su definición se emplearon como base los reglamentos: MINVU Chile: Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones - Artículo 4.1.10, CTE DB HE: Ahorro de Energía y NEC-11 Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador.

Envolvente térmica de un edificio

Entiéndase por envolvente térmica de un edificio al conjunto de elementos constructivos, fundamentalmente muros, cubierta, pisos, puertas y ventanas, a través de los cuales se produce el intercambio térmico entre los recintos interiores de la edificación y el exterior.

Muros	Aquellos elementos de envolvente cuya inclinación con respecto a la horizontal sea mayor a 60°. Se consideran dentro de este grupo a paramentos que limiten el interior de la edificación con locales abiertos y/o recintos no habitables, tales como estacionamientos y bodegas.
Cubierta	Aquellos elementos de envolvente superiores cuya inclinación con respecto a la horizontal sea menor o igual a 60°.
Pisos	Aquellos elementos de envolvente inferiores que están en contacto con el terreno.
Pisos ventilados	Aquellos elementos de envolvente inferiores que no están en contacto con el terreno. Los planos inclinados inferiores de escaleras o rampas que estén en contacto con el exterior se consideran dentro de este grupo.
Puertas	Aquellos elementos opacos o transparentes que constituyen los vanos de acceso a interiores de la envolvente.
Ventanas	Aquellos elementos constructivos que constituyen los vanos vidriados de la envolvente.

Transmitancia térmica en elementos de envolvente

La envolvente de viviendas energéticamente eficientes deberá cumplir con las exigencias de transmitancia térmica detalladas a continuación:

En cubierta, muros y pisos en contacto con el terreno, la transmitancia térmica del elemento deberá ser menor o igual a la señalada en la Tabla 1, según la zona donde se emplace el edificio, detallada en la zonificación higrotérmico habitacional anexa.

Tabla 1 Transmitancia térmica máxima para cubiertas, muros y pisos

ZONA TÉRMICA	CUBIERTA U [W/m ² K]	MUROS U [W/m ² K]	PISOS U [W/m ² K]
1	0.874	0.894	2.780
2	1.119	1.151	2.780
3	3.169	2.712	2.147
4	3.169	0.618	2.147

Para muros y cubiertas en contacto con el terreno no rigen las exigencias de la Tabla 1. Las transmitancias térmicas corresponden a los valores propios de la solución constructiva sin mejoramiento térmico.

En pisos ventilados, el valor restrictivo de transmitancia térmica corresponde al especificado para pisos en contacto con el terreno.

Las puertas opacas de envolvente no tienen restricciones de transmitancia térmica. En caso de puertas vidriadas, se deberá considerar como superficie de ventana la parte correspondiente al vidrio de la misma.

Para restricciones de ventanas remitirse a la norma NEC-11 Capítulo 13: Eficiencia energética en la construcción en Ecuador – Artículo 13.4.2.2 Ganancia y protección solar.

Exigencias de aplicación

Para minimizar la ocurrencia de puentes térmicos en muros y cubierta, los materiales aislantes térmicos solo podrán estar interrumpidos por elementos estructurales, tuberías, ductos o cañerías de instalaciones domiciliarias.

En el caso de un encuentro no monolítico entre muro y cubierta, los materiales aislantes térmicos deberán cubrir el máximo de la superficie de la parte superior de los muros en su encuentro con la cubierta, conformando un elemento continuo por todo el contorno de los muros perimetrales.

Se recomienda ubicar el aislante térmico al exterior de la envolvente. Adicionalmente a su incorporación se deberán considerar barreras de humedad y/o de vapor según lo disponga la zonificación higrotérmico habitacional anexa, en función de la región a la que pertenezca la obra.

Método de verificación

El cumplimiento de las exigencias de transmitancia térmica para los elementos de envolvente se deberá comprobar mediante cálculo, adoptando el procedimiento señalado en la NCh853-2007, el cual deberá ser realizado por un profesional competente.

GLOSARIO

Aislación térmica	Es la capacidad de oposición al paso de calor de un material o conjunto de materiales, y que en construcción se refiere esencialmente al intercambio de energía calórica entre el ambiente interior y el exterior.
Barrera de humedad	Lámina o capa que tiene la propiedad de impedir el paso de agua a través del mismo.
Barrera de vapor	Lámina o capa que presenta una resistencia a la difusión del vapor de agua comprendida entre 10 y 230 MN s/g.
Conductividad térmica	Cantidad de calor que en condiciones estacionarias pasa en la unidad de tiempo a través de la unidad de área de una muestra de material homogéneo de extensión infinita, de caras planas y paralelas y de espesor unitario, cuando se establece una diferencia de temperatura unitaria entre sus caras. Su símbolo es λ y se expresa en $[W/(m \cdot K)]$.
Demanda energética	Es la energía necesaria para mantener el interior del edificio bajo condiciones de confort definidas en función del uso del edificio y de la zona térmica en la que se ubique. Se compone de la demanda energética de calefacción y/o refrigeración según corresponda.

Desarrollo sostenible	Proceso mediante el cual se satisfacen las necesidades económicas, sociales, de diversidad cultural y de un medio ambiente sano de la actual generación, sin poner en riesgo la satisfacción de las mismas a las generaciones futuras.
Desarrollo sustentable	Proceso por el cual se preservan, conservan y protegen los recursos naturales en beneficio de las generaciones presentes y futuras.
Eficiencia energética	Es el conjunto de acciones que permiten optimizar la relación entre la cantidad de energía consumida y los productos y servicios finales obtenidos.
Envolvente térmica	De una edificación, es el conjunto de elementos constructivos, fundamentalmente muros, cubierta, pisos, puertas y ventanas, a través de los cuales se produce el intercambio térmico entre los recintos interiores de la edificación y el exterior.
Holismo	Enfoque que considera el análisis de un modelo y sus características de manera conjunta, integral y no a través de las partes que lo componen.
Matriz energética	Representación cuantitativa de toda la energía disponible en un determinado territorio para ser utilizada en diversos procesos productivos.
Puente térmico	Aquellas zonas de la envolvente del edificio con resistencia térmica inferior al resto del mismo, lo que aumenta la posibilidad de producción de

condensaciones y pérdidas de calor en esa zona en invierno o épocas frías.

Topoclima

Particularidad climática de un lugar reducido, que no coincide con el clima general de la región y cuyas características se encuentran determinadas por la topografía.

Transmitancia térmica

Flujo de calor que pasa por unidad de superficie del elemento y por grado de diferencia de temperatura entre los dos ambientes separados por dicho elemento. Su símbolo es U y se expresa en $[W/(m^2 \cdot K)]$.

Zona hídrica

Región o conjunto de regiones con semejante o igual humedad relativa en el ambiente.

Zona térmica

Región o conjunto de regiones con semejantes o iguales características climáticas y oscilación de temperatura.³⁴

³⁴ Fuente glosario, según orden de redacción: 1, 2, 3 y 12 Manual de aplicación de la reglamentación térmica – MART: O.G.U.C. Artículo 4.1.10, 2006. 4 y 14 NCh853-2007. 5 CTE DB HE: Ahorro de energía. 6 Declaración de Johannesburgo sobre el desarrollo sostenible (2002) citado en Machicado, 2009. 7 Declaración de Estocolmo (1972) citado en Machicado, 2009. 8 AChEE, recuperado de <http://www.acee.cl/eficiencia-energetica/ee>. 9, 10, 15 y 16 Elaboración propia. 11 Recuperado de http://es.wikipedia.org/wiki/Matriz_energ%C3%A9tica. 13 Recuperado de <http://usuarios.multimania.es/urielflores/glosario.htm>.

BIBLIOGRAFÍA

- Albornoz, E. (2012). *Visión sector eléctrico ecuatoriano. Beneficios proyecto Mazar*. Recuperado de <http://www.energia.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2012/10/SICPRO1.pdf>
- ASHRAE American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers (2004). *Thermal environmental conditions for human occupancy*. (N° de publicación ASHRAE 55:2004), Atlanta, USA: Autor.
- Atem, C. (2012). *La influencia de distintos muros exteriores en el confort térmico de viviendas en un clima subtropical húmedo*. Recuperado del sitio web del Programa de Máster Universitario en Arquitectura, Energía y Medio Ambiente de la Universitat Politècnica de Catalunya: https://mastersuniversitaris.upc.edu/aem/archivos/2011-2012-tesinas-completas/01-camilaatem-murosexterioresconforttermicoclimasubtropicalhumedo_completo
- Baeza, M.P. (2012). *Actualización de la exigencia del Artículo 4.1.10 de la Ordenanza General de Urbanismo y construcciones; Reglamentación térmica*. (Proyecto de título no publicado). Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.
- BCE Banco Central del Ecuador. (2013). *Resultados del crecimiento de la economía ecuatoriana 2012*. Recuperado de http://contenido.bce.fin.ec/documentos/PublicacionesNotas/Catalogo/CuentasNacionales/cnt63/Presen_Result82.pdf
- BID Banco Interamericano de Desarrollo. (2012). *Un espacio para el desarrollo. Los mercados de vivienda en América Latina y el Caribe*. Recuperado de <http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=37714821>

Castro, M. (2011). *Hacia una matriz energética diversificada en Ecuador*. Recuperado de CEDA: http://www.ceda.org.ec/wp-content/uploads/2014/04/matriz_energetica_ecuador.pdf

CEN Comité Européen de Normalisation. CEN/TC 156 (2006). *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*. (N° de publicación prEN 15251). European Standard.

Cervantes, J y Barradas, V. (2010). *Ajuste de escalas de sensación térmica para Xalapa, Veracruz, México*. Recuperado del sitio web del Departamento de Investigación y Ciencia de la Universidad Autónoma de Aguascalientes: <http://www.uaa.mx/investigacion/revista/archivo/revista48/Articulo%204.pdf>

Chaquinal, donde la tierra se mueve y el riesgo es extremo. (2013, 21 de julio). *El Universo*. Recuperado de <http://www.eluniverso.com/noticias/2013/07/21/nota/1187846/chaquinal-donde-tierra-se-mueve-riesgo-es-extremo>

CIBSE Chartered Institution of Building Services Engineers (2006). *CIBSE Guide A. Environmental design*. (7th ed.). Great Britain: Autor.

CONELEC Consejo Nacional de Electricidad. (2009). Evolución y situación del sector eléctrico nacional. En *Plan Maestro de Electrificación del Ecuador 2009-2020* (cap. 2). Recuperado de <http://www.conelec.gob.ec/images/documentos/PME0920CAP2.pdf>

CONELEC Consejo Nacional de Electricidad. (2013). Precios medios a clientes finales de distribuidoras. En *Indicadores de Energía Eléctrica Anuales*. Recuperado de http://www.conelec.gob.ec/enlaces_externos.php?l=1&cd_menu=4233

Confort térmico. (s.f.). Recuperado de <http://www.scribd.com/doc/189785285/Confort-Termico-Cap1-confort-TErmico-1>

Coral, I. (2004). *Informe final. Revisión del sector eléctrico ecuatoriano*. Consultoría para el Banco Interamericano de Desarrollo BID.

Correa, C. (s.f.). *La vivienda social en el Ecuador*. Recuperado del sitio web del Programa de Máster Universitario en Tecnología en la Arquitectura de la Universitat Politècnica de Catalunya: <http://mastersuniversitaris.upc.edu/tecnologiaarquitectura/tesis/Correa.pdf>

CTE Código Técnico de la Edificación (2009). *Ahorro de energía. Limitación de demanda energética*. (Nº de publicación CTE DB HE 1). España.

Cuatro familias quedaron sin casas por incendio en Durán. (2013, 14 de junio). *El Universo*. Recuperado de <http://www.eluniverso.com/noticias/2013/06/14/nota/1024046/cuatro-familias-quedaron-casas-incendio-duran>

Ecuador: Intensas lluvias causan víctimas y daños. (2011, 26 de abril). *Agua. Centro virtual de información del agua*. Recuperado de http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=article&id=16196:ecuador-intensas-lluvias-causan-victimas-y-danos&catid=62:noticias-internacionales&Itemid=300055

Edificación sustentable con control. (2011, 23 de diciembre). *El Comercio*. Recuperado de <http://www.elcomercio.com/tendencias/construir/edificacion-sustentable-control.html>

El sector de la construcción creció 20%. (2011). En *Noticias Ecuador*. Recuperado de <http://www.ecuadorinvierte.com/bolsa-de-quito/el-sector-de-la-construccion-crecio-20>

En Calamaca se contabilizan más viviendas dañadas por el temblor. (2012, 19 de junio). *El Universo*. Recuperado de <http://www.eluniverso.com/2012/06/20/1/1447/calamaca-contabilizan-mas-viviendas-danadas-temblor.html>

- En Turubamba, cinco casas van a ser derrocadas. (2012, 13 de enero). *Hoy*. Recuperado de <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/en-turubamba-cinco-casas-van-a-ser-derrocadas-527912.html>
- Encalada, P. (2013). *Estudio de desempeño y eficiencia energética en los edificios de la Universidad de Cuenca*. Recuperado del sitio web del Repositorio Institucional de la Universidad de Cuenca: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/539>
- Familias de Las Abras, en peligro por las lluvias. (2013, 27 de marzo). *El Comercio*. Recuperado de http://www.elcomercio.com/pais/clima-temporal-lluvia-Chimborazo-Guano-emergencia_0_890310970.html
- Fuentes, V. (2011). Grados-día en Arquitectura. En *Estudios de Arquitectura Bioclimática*. Recuperado de http://espartaco.azc.uam.mx/UAM/CYAD_Anuario_2011/files/assets/basic-html/page2.html
- García, D. (2004). *Arquitectura Bioclimática. Viviendas bioclimáticas en Galicia*. Recuperado de <http://www.asociacion-touda.org/documentos/bioclimatica.pdf>
- García-Alvarado, R., González, A., Bustamente, W., Bobadilla, A. y Muñoz, C. (2014). Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares. *Informes de la Construcción*, 66(533). doi:10.3989/ic.12.108
- Gobierno de Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2009). *Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones*. Santiago, Chile: Autor.
- Gobierno de Chile. Ministerio de Vivienda y Urbanismo (2012). *Listado Oficial de Soluciones Constructivas para Acondicionamiento Térmico del Ministerio de Vivienda y Urbanismo*. Chile.

- Hernández Calleja, A. (1998). Control ambiental en interiores. En *Enciclopedia de Salud y Seguridad en el Trabajo* (cap. 45). Recuperado de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/EnciclopediaOIT/tomo2/45.pdf>
- Hernández, H y Meza, L. (2011). Propuesta de una metodología de certificación de eficiencia energética para viviendas en Chile. *Revista de la construcción*, 10(1), 53-63. doi:10.4067/S0718-915X2011000100006
- IIT Instituto de Investigaciones Tecnológicas. (s.f.). *Informe Etapa 3. Grupo de Estudios 1. Segunda Etapa Reglamentación Térmica* [Diapositiva]. Chile: Universidad de Concepción.
- IIT Instituto de Investigaciones Tecnológicas. (s.f.). *Informe Etapa 4. Grupo de Estudios 1. Segunda Etapa Reglamentación Térmica* [Diapositiva]. Chile: Universidad de Concepción.
- INEC Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2013). *Censo Nacional Económico. Vivienda e infraestructura. Condiciones de vivienda*. Recuperado de http://www.ecuadorencifras.com/cifras-inec/vivienda_2010.html#. Fecha de acceso: Julio 2013.
- INEC Instituto Nacional de Estadística y Censos. (s.f.). *Las condiciones de vida de los ecuatorianos. Resultados de la Encuesta de Condiciones de Vida – Quinta Ronda*. Recuperado de http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_remository&Itemid=&func=startdown&id=927&lang=es&TB_iframe=true&height=250&width=800
- INN Instituto Nacional de Normalización (2007). *Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas*. (N° de publicación NCh853). Santiago, Chile: Autor.

INOCAR Instituto Oceanográfico de la Armada. (2005). Información General de la República del Ecuador. En *Derrotero de la costa continental el insular del Ecuador* (cap. 1). Recuperado de http://www.inocar.mil.ec/boletin/ALN/Derrotero_2005.pdf

INOCAR Instituto Oceanográfico de la Armada. (2012). Información General de la República del Ecuador. En *Derrotero de la costa continental el insular del Ecuador* (cap. 1). Recuperado de http://www.inocar.mil.ec/docs/derrotero/derrotero_cap_1.pdf

Instituto de la Construcción (2003). *Propuesta 2° etapa de reglamentación sobre acondicionamiento térmico en viviendas. Modificación a la Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones Artículo 4.1.10*. Chile.

Instituto de la Construcción (2006). *Manual de aplicación de la Reglamentación térmica. Ordenanza General de Urbanismo y Construcciones Artículo 4.1.10*. Santiago, Chile.

Invierno destruye viviendas. (2012, 2 de enero). *Hoy*. Recuperado de <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/invierno-destruye-viviendas-525384.html>

Jiménez, W. (2011). *Informe sectorial. Ecuador: Sector construcción*. Recuperado de <http://www.ratingspcr.com/apps/search?q=Ecuador>

josemrsilva. (2011, 19 de octubre). Estar a gusto = x + y. [Entrada de blog]. Recuperado de <http://www.arquitecturayecosistema.com/eficiencia/estar-a-gusto-x-y/>

La autogestión impulsa la vivienda. (2011, 14 de noviembre). *El Comercio*. Disponible en <http://www.elcomercio.com/actualidad/quito/autogestion-impulsa-vivienda.html>

Las lluvias complican la vida de los lojanos. (2013, 9 de febrero). *La Hora*. Recuperado de <http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101463124>

Las lluvias ocasionan problemas en dos cantones. (2011, 13 de noviembre). *El Comercio*. Recuperado de http://www.elcomercio.com/pais/lluvias-ocasionan-problemas-cantones-sierra-centro_0_589741117.html

Lloret, A. (2013). *Eficiencia energética en edificaciones nuevas. Modelo de contrato por rendimiento energético*. Recuperado de XXVIII Seminario Nacional del Sector Eléctrico: <http://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2013/06/Eficiencia-Energ%C3%A9tica-en-Edificaciones-Nuevas-Andr%C3%A9s-Lloret.pdf>

Lluvias causan deslizamientos y daños en viviendas de Cuenca. (2012, 11 de enero). *El Universo*. Recuperado de <http://www.eluniverso.com/2012/01/11/1/1447/lluvias-causan-deslizamientos-danos-viviendas-cuenca.html>

Los edificios sustentables ya se levantan. (2012, 3 de febrero). *El Comercio*. Disponible en <http://www.elcomercio.com/tendencias/construir/edificios-sustentables-ya-se-levantan.html>

Macas, F. (2012, 2 de marzo). 20 viviendas colapsaron en parroquia del cantón Zaruma. *El Universo*. Recuperado de <http://www.eluniverso.com/2012/03/02/1/1447/20-viviendas-colapsaron-parroquia-canton-zaruma.html>

Machicado, J. (2009). Del Desarrollo Sustentable al Desarrollo Sostenible. [Entrada de blog]. Recuperado de <http://jorgemachicado.blogspot.com/2009/08/dss.html>

Más inmuebles de Loja están afectados por el invierno. (2013, 27 de febrero). *El Comercio*. Recuperado de http://www.elcomercio.com/pais/invierno-loja-temporal-clima-urbe-viviendas_0_873512679.html

- MDMQ Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. (2010). *Política Metropolitana de Hábitat y Vivienda PMHV*. Recuperado de <http://www.institutodelaciudad.com.ec/Documentos/politicasdmq/POLITICA%20METROPOLITANA%20DE%20VIVIENDA.%20final%2015-3-10.pdf>
- Molina, C. y Veas, L. (2012). Evaluación del confort térmico en recintos de 10 edificios públicos de Chile en invierno. *Revista de la Construcción*, 11(2), 27-38. doi:10.4067/S0718-915X2012000200004
- Monroy, M. (1995). *Comportamiento térmico de cerramientos soleados. Un modelo de simulación por diferencias finitas*. Recuperado del sitio web del Departamento de Construcción Arquitectónica de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria: <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/ambiente/antesol/TESIS/Cap2.pdf>
- Municipio pone en marcha política para impulsar vivienda popular. (2012, 16 de abril). *Hoy*. Disponible en <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/municipio-pone-en-marcha-politica-para-impulsar-vivienda-popular-542889.html>
- NEC Norma Ecuatoriana de la Construcción (2011). *Eficiencia energética en la construcción en Ecuador*. (Nº de publicación NEC-11 Capítulo 13). Quito, Ecuador.
- Norma ecuatoriana de la Construcción regirá vía decreto ejecutivo. (2011, 30 de noviembre). *Buró de análisis informativo*. Disponible en <http://www.burodeanalisis.com/2011/11/30/norma-ecuatoriana-de-la-construccion-regira-via-decreto-ejecutivo/>
- OLADE Organización Latinoamericana de Energía. (2009). *Indicadores Económico – Energéticos Regionales – Ecuador*. Recuperado de <http://www.olade.org/indicadores-economico-energeticos-regionales-ecuador>

OLADE Organización Latinoamericana de Energía. (2012). *Sistema de información económica energética. Energía en cifras*. Recuperado de <http://www.olade.org/sites/default/files/publicaciones/PLEGABLE2012-SEC.pdf>

ONU Organización de las Naciones Unidas. (1987). *Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo*. Recuperado de <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/42/427>

Quito destapa toda una oferta inmobiliaria. (2012, 24 de febrero). *Revista Líderes*. Recuperado de http://www.revistalideres.ec/informe-semanal/QUITO-DESTAPA-TODA-OFERTA_0_652134800.html

Ramos, P. (2013, 20 de abril). Las casas de ciudadela Briones se caen y están cuarteadas. *El Comercio*. Recuperado de http://www.elcomercio.com/pais/Manta-Portoviejo-casas-ciudadela-Briones-caen-cuarteadas_0_904709641.html

Seis casas con daños por la granizada que cayó en Loja. (2012, 21 de octubre). *El Telégrafo*. Recuperado de <http://www.telegrafo.com.ec/regionales/regional-sur/item/seis-casas-con-danos-por-la-granizada-que-cayo-en-loja.html>

Siete menores a la intemperie tras el incendio de dos viviendas. (2012, 4 de febrero). *El Universo*. Recuperado de <http://www.eluniverso.com/2012/02/05/1/1422/siete-menores-intemperie-tras-incendio-dos-viviendas.html>

Sismo de 4 grados en Quito. (2011, 29 de octubre). *El Comercio*. Recuperado de http://elcomercio.com/quito/Fuerte-temblor-Quito_0_581341865.html

SNI Sistema Nacional de Información. (2013). *Indicadores de vivienda y hogar*. Recuperado de <http://indestadistica.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SNI.qvw&host=QVS@kukuri&anonymous=truehttp://indestadistic>

a.sni.gob.ec/QvAJAXZfc/opendoc.htm?document=SNI.qvw&host=QVS@kukuri&anonymous=true&bookmark=Document/BM05. Fecha de acceso: Junio 2013.

Ugarte, J. (s.f.). *Guía de Arquitectura bioclimática. Construir en países cálidos*. Recuperado del sitio web del *Departamento de publicaciones* del Instituto de Arquitectura Tropical: <http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/documents/GUIABIOCLIMATICA CONSTRUIR CLIMACALIDO.pdf>

Veas, L. (2003). Modelo metodológico para evaluar y comparar el comportamiento de muros expuestos a fenómenos de humedad. *Revista de la Construcción*, 2(1), 30-36. Recuperado de <http://www.registrocdt.cl/registrocdt/www/admin/uploads/docTec/Comportamiento.muros.2.pdf>

Vela, C. (s.f.). Hacia una construcción autosustentable. *Bienes raíces Clave!*. Recuperado de <http://www.clave.com.ec/index.php?idSeccion=193>.

ANEXOS

Debido a su naturaleza, estos documentos de respaldo se encuentran disponibles en disco compacto y corresponden a la siguiente información:

- | | |
|---------|---|
| Anexo 1 | Mapas de zonificación higrotérmico habitacional del Ecuador |
| Anexo 2 | Listado de zonificación higrotérmico habitacional del Ecuador |
| Anexo 3 | Especificaciones de modelación y simulación térmica |
| Anexo 4 | Análisis de precios unitarios |
| Anexo 5 | Cuadros para determinación de transmitancia térmica |