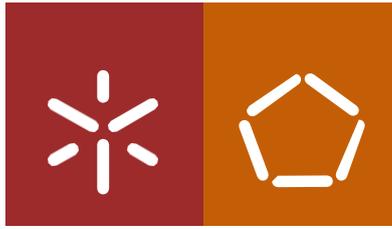


Universidad de Minho
Escuela de Ingeniería

Jairo Andrés Basto Picott

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas

Junio de 2018



Universidad de Minho
Escuela de Ingeniería

Jairo Andrés Basto Picott

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas

Disertación de Maestría
Maestría integrada en Ingeniería Civil

Trabajo efectuado bajo la orientación del profesor

Dinis Leitão (Universidad de Minho)
Y del profesor

Omar Sánchez (Universidad Industrial de Santander)

Junio de 2018

DECLARACIÓN

Nombre: Jairo Andrés Basto Picott

Dirección electrónica: jairobpicott@gmail.com

Teléfono: +351 938 551 268

Número de identificación: (pasaporte) AT043308

Título Disertación

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

Orientadores:

Profesor Dinis Leitão – Universidad de Minho

Profesor Omar Sánchez – Universidad Industrial de Santander

Año de conclusión: 2018

Designación de la Maestría: Mestrado Integrado em Engenharia Civil

Agradecimientos

En el desarrollo de mi formación como profesional, muchas personas aportaron de alguna u otra manera haciendo posible la culminación de este proceso, por este motivo, quiero dejar expresado mis agradecimientos.

A mi alma mater la Universidad Industrial de Santander, incluyendo a cada uno de los docentes que me ayudaron a crecer, como persona y como ingeniero, ya que cada una de sus enseñanzas y conocimientos brindados me han dado la oportunidad de llegar a este punto.

Al profesor Dinis Leitão y al profesor Omar Sánchez por el apoyo durante la realización de este trabajo, sabiendo orientar de la manera más adecuada este último paso en mi camino a ser Ingeniero.

A mi familia, mi padre Jairo Basto Triana, mi madre Mariluz Picott Soto, mis hermanos Juan David Basto Picott y Jairo Enrique Basto Amaya, mi hermana Sara Gabriela Basto Picott y a mi amor Kamila Romčová, por darme ánimos y siempre estar para mí sin importar la distancia.

Por último, a mis colegas Oscar Urbina y Harley Largo que compartieron conmigo este gran viaje, durante mi formación en la Universidad Industrial de Santander en Colombia y en la Universidad de Minho en Portugal.

Resumen

Los consumos energéticos, son un problema que requiere mucha atención, ya que, hasta actividades normales para supervivencia humana los generan y estos se ven reflejados, en contaminación, costos de utilización e índices con tendencias crecientes en impactos energéticos.

En este trabajo se analiza la diferencia de las legislaciones energéticas, las diferencias climáticas y culturales, entre la Unión Europea (Portugal) y Colombia, buscando hacer uso del avance en el estudio de la eficiencia energética desarrollado por los países europeos, en el análisis termo energético de edificios familiares colombianos.

Según las metas energéticas colombianas, definidas en el Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales 2017 – 2022 (PAI PROURE 2017 – 2022), el consumo de electricidad y gas natural representan un 55% y un 35%, respectivamente, y se definen metas a alcanzar en el año 2022, solo analizando estos aspectos de manera individual.

En la simulación térmica realizada de los edificios familiares, se pretende estudiar la estructura como un conjunto, haciendo parte de este, zonas habitacionales, materiales de construcción, ubicación, clima, tecnología aplicadas y fuentes de energía no convencional, así buscando generar una calificación que cuantifique el comportamiento termo energético de los edificios colombianos, en base a metodologías del Decreto – Ley n.º 28/2016, de 23 de junio – “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)” –, que procede a la cuarta alteración al Decreto – Ley n.º 118/2013, de 20 de agosto, alterado por los Decretos – Ley n.º 68-A/2015, de 30 de abril, 194/2015, de 14 de septiembre, y Decretos – Ley n.º 251/2015, de 25 de noviembre, que aprobó el “Sistema de Certificação Energética dos Edifícios” el “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação” y el “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comercio e Serviços”, y transpone para orden jurídica portuguesa la Directiva n.º 2010/31/UE, del parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010.

Palabras clave: Eficiencia energética, Energía, Comportamiento termo energético, Simulación térmica, Legislación energética, PAI PROURE, REH.

Abstract

Energy consumption is a problem that requires a lot of attention, because until normal activities for human survival generate that and these are reflected, in pollution, costs of utilization and indexes with increasing trends in impacts Energy.

In this work is analyzed the difference in energy legislation, climatic and cultural difference between the European Union (Portugal) and Colombia, seeking to make use of the progress in the study of energy efficiency developed by European countries, in the analysis Thermo-Energetics of Colombian family buildings.

According to energy Colombian goals, defined in the “Plan de Acción Indicativo del Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales 2017 – 2022 (PAI PROURE 2017 – 2022)”, the consumption of electricity and natural gas represent 55% and 35% respectively, they define goals to achieve in the year 2022, only analyzing these aspects in an individual way.

In the thermal simulation made in the family buildings, it is intended to study the structure as a whole, making part of this, housing areas, building materials, location, climate, applied technology and sources of unconventional energy, thus looking for the generation a qualification that quantify the thermos-energetic behavior of Colombian buildings, based on the methodologies of the Decree – Law n.º 28/2016, of 23 June – “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)” -, which proceeds to the fourth alteration to the Decree – Law n.º 118/2013, of 20 August, altered by the Decrees – Laws n.º 68-A/2015, of 30 April, 194/2015, of 14 September, and 251/2015, of 25 November, which approved the “Sistema de Certificação Energética dos Edifícios” the “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação” and the “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comercio e Serviços”, and transposes for Portuguese legal order Directive n.º 2010/31/UE, of the European Parliament and the Council, of 19 May 2010.

Keywords: Energy efficiency, Energy, Thermal energy behavior, Thermal simulation, Energy Legislation, PAI PROURE, REH.

Índice

<u>AGRADECIMIENTOS</u>	<u>II</u>
<u>RESUMEN</u>	<u>III</u>
<u>ABSTRACT</u>	<u>IV</u>
<u>ÍNDICE</u>	<u>V</u>
<u>ÍNDICE DE FIGURAS</u>	<u>VII</u>
<u>ÍNDICE DE TABLAS</u>	<u>X</u>
<u>ACRÓNIMOS</u>	<u>XIII</u>
<u>1 CAPÍTULO</u>	<u>1</u>
1.1 INTRODUCCIÓN	1
1.2 ÁMBITO Y OBJETIVO	3
1.3 METODOLOGÍA	3
1.4 ESTRUCTURA DE LA TESIS	5
<u>2 CAPÍTULO</u>	<u>7</u>
2.1 ESTADO DE ARTE	7
<u>3 CAPÍTULO</u>	<u>15</u>
3.1 HISTORIA DE LA LEGISLACIÓN ENERGÉTICA COLOMBIANA	15
3.2 HISTORIA DE LA LEGISLACIÓN ENERGÉTICA EN EUROPA	17
3.3 CUADRO COMPARATIVO	18
<u>4 CAPÍTULO</u>	<u>19</u>
4.1 CONCEPTOS BÁSICOS	19
4.2 CLASE ENERGÉTICA	19
4.3 NECESIDADES NOMINALES DE ENERGÍA PRIMARIA	20
4.4 SISTEMAS DE ENERGÍA	29
4.5 DATOS CLIMÁTICOS COLOMBIANOS	34
4.6 COEFICIENTE GLOBAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR	45
4.7 COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN TÉRMICA SUPERFICIAL	48
4.8 COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN TÉRMICA LINEAL	54
4.9 COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR	55
4.10 FACTOR DE UTILIZACIÓN DE GANANCIAS	57
4.11 CÁLCULO DE LA INERCIA TÉRMICA	57
4.12 FACTOR SOLAR DE VANOS CON VIDRIO	62

4.13	FACTOR DE OBSTRUCCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR	65
4.14	FRACCIÓN CON VIDRIOS	69
4.15	FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA SELECTIVIDAD ANGULAR EN VIDRIOS	69
4.16	COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS	70
4.17	TASA DE RENOVACIÓN DEL AIRE	71
4.18	FACTORES DE CONVERSIÓN DE ENERGÍA	74
4.19	VALORES MÁXIMOS DE NECESIDADES ENERGÉTICAS	74
4.20	HOJA DE CÁLCULO STEEC	78
5	<u>CAPÍTULO</u>	<u>87</u>
5.1	MODELO	87
5.2	SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS	88
5.3	SISTEMAS DE AQS	96
5.4	OBSTRUCCIONES	98
5.5	VIDRIOS	99
5.6	INERCIA TÉRMICA	100
5.7	RENOVACIÓN DEL AIRE INTERIOR	100
5.8	BOGOTÁ	101
5.9	BUCARAMANGA	102
5.10	CARTAGENA	103
6	<u>CAPÍTULO</u>	<u>105</u>
6.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	105
6.2	CONCLUSIONES	107
6.3	TRABAJOS FUTUROS	108
	<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	<u>111</u>
	<u>ANEXOS</u>	<u>115</u>
	ANEXO A	115
	ANEXO B	118
	ANEXO C	121

Índice de Figuras

FIGURA 1. CONSUMO INTERIOR BRUTO MENOS USOS NO ENERGÉTICOS UE. FUENTE: (ANAE, 2018).....	9
FIGURA 2. AHORRO TOTAL ANUAL (TEP) ALCANZADAS. FUENTE: (DGEG, 2015B).....	11
FIGURA 3. DISTRIBUCIÓN DE CONSUMO DE ENERGÍA FINAL. COLOMBIA – 2015, TOMADO DE PROURE 2017 – 2022, FUENTE: UPME	15
FIGURA 4. SIMBOLIZACIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE FRACCIÓN EN FUNCIÓN DEL NÚMERO DE CUARTOS.....	29
FIGURA 5. MAPA DE LA DIVISIÓN POLÍTICA COLOMBIANA, FUENTE: VAMOSPORCOLOMBIA.WORDPRESS.COM	34
FIGURA 6. ELEVACIÓN SOBRE EL NIVEL DEL MAR DE LAS CIUDADES DE BOGOTÁ, BUCARAMANGA Y CARTAGENA. FUENTE: GOOGLE EARTH PRO.....	37
FIGURA 7. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DEL COEFICIENTE U. FUENTE: SCEREH04_TRANSMISSAO	45
FIGURA 8. TRANSMISIÓN TÉRMICA EN ELEMENTO OPACOS.	49
FIGURA 9. DINÁMICA DE LA TEMPERATURA PARA INERCIA TÉRMICA ALTA Y BAJA. FUENTE: WWW.MUNDOLIGNIA.COM	58
FIGURA 10. IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS PARA EL CÁLCULO DE LA INERCIA TÉRMICA INTERIOR.	59
FIGURA 11. EL3 CON AISLAMIENTO TÉRMICO. FUENTE: DESPACHO D15793K – FIGURA 02.02	61
FIGURA 12. PROTECCIONES SOLARES FIJAS PARA VENTANAS ORIENTADAS AL SUR. FUENTE: ALHAURINDELATORRE.ES	65
FIGURA 13. ÁNGULO DEL HORIZONTE. FUENTE: DESPACHO D15793K – FIGURA 02.03	67
FIGURA 14. INTERFASE DE STEEC.....	79
FIGURA 15. DATOS CLIMÁTICOS STEEC.....	80
FIGURA 16. SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS STEEC.....	80
FIGURA 17. VISTA GENERAL DE LA PESTAÑA DE LEVANTAMIENTO DIMENSIONAL EN STEEC.....	81
FIGURA 18. SIMETRÍA EN LA UBICACIÓN DE LA INFORMACIÓN PARA EL LEVANTAMIENTO DIMENSIONAL EN STEEC.	81
FIGURA 19. CÁLCULO DE LA INERCIA TÉRMICA STEEC.....	82
FIGURA 20. COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN TÉRMICA STEEC.....	83
FIGURA 21. INFORMACIÓN DE LOS VIDRIOS PARA EL CÁLCULO DE GT EN STEEC.	84
FIGURA 22. CÁLCULO DE RPH EN STEEC.....	84
FIGURA 23. CLASIFICACIÓN ENERGÉTICA CON STEEC.	85
FIGURA 24. MODELO 3D DEL CASO DE ESTUDIO, VISTA EXTERIOR.....	87
FIGURA 25. SISTEMAS CONSTRUCTIVOS MÁS UTILIZADOS PARA VIVIENDAS FAMILIARES EN COLOMBIA. FUENTE: UPME – ECO INGENIERÍA ESTUDIO	88
FIGURA 26. PARED EXTERIOR TRADICIONAL.	89
FIGURA 27. PARED DIVISORIA Y DE ENVOLVENTE INTERIOR PARA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL.	90
FIGURA 28. PAVIMENTO TÉRREO.....	91
FIGURA 29. ENTREPISO SIN AISLAMIENTO.	91

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

FIGURA 30. CUBIERTA SIN AISLAMIENTO.	92
FIGURA 31. PARED DE LA ENVOLVENTE EXTERIOR CON AISLAMIENTO.	93
FIGURA 32. PARED DE LA ENVOLVENTE INTERIOR CON AISLAMIENTO.	94
FIGURA 33. ENTREPISO CON AISLAMIENTO.	95
FIGURA 34. CUBIERTA PLANA CON AISLAMIENTO.	96
FIGURA 35 DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUAS SANITARIAS. FUENTE: CATÁLOGO CHALLENGER WHG 7060.	97
FIGURA 36. PANEL FOTOVOLTAICO PARA EL CALENTAMIENTO DE LAS AGUAS SANITARIAS.	98
FIGURA 37. CONFIGURACIÓN DE LA VENTANA DE VIDRIO SIMPLE IMPLEMENTADA EN LA SIMULACIÓN TERMO ENERGÉTICA STEEC. FUENTE. (CYPE, 2018).	99
FIGURA 38. CONFIGURACIÓN DE VIDRIO DOBLE PARA LA SIMULACIÓN ENERGÉTICA STEEC EN BOGOTÁ CON MEJORAS. FUENTE: (CYPE, 2018)	100
FIGURA 39. SIMULACIÓN TERMO ENERGÉTICA STEEC PARA BOGOTÁ MÉTODO TRADICIONAL.	101
FIGURA 40. SIMULACIÓN TERMO ENERGÉTICA STEEC PARA BOGOTÁ CON MEJORAS.	102
FIGURA 41. SIMULACIÓN TERMO ENERGÉTICA STEEC PARA BUCARAMANGA MÉTODO TRADICIONAL. ...	102
FIGURA 42. SIMULACIÓN TERMO ENERGÉTICA STEEC PARA BUCARAMANGA CON MEJORAS.	103
FIGURA 43. SIMULACIÓN TERMO ENERGÉTICA STEEC PARA CARTAGENA MÉTODO TRADICIONAL.	103
FIGURA 44. SIMULACIÓN TERMO ENERGÉTICA STEEC PARA CARTAGENA CON MEJORAS.	104
FIGURA 45. RELACIÓN ECONÓMICA DEL COSTO DE INVERSIÓN DE LAS VENTANAS EN \$(PESOS COLOMBIANOS) Y EN € (EUROS)	106
FIGURA 46. RELACIÓN ECONÓMICA DEL COSTO DE INVERSIÓN DEL AISLAMIENTO EN \$(PESOS COLOMBIANOS) Y EN € (EUROS)	106
FIGURA 47. RELACIÓN ECONÓMICA DEL COSTO DE INVERSIÓN DE LOS SISTEMAS TÉCNICOS EN \$(PESOS COLOMBIANOS) Y EN € (EUROS)	106
FIGURA 48. COMPARACIÓN DE LA CLASE ENERGÉTICA CON LA CONSTRUCCIÓN TRADICIONAL Y CON MEJORAS.	107
FIGURA 49. MAPA DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL, PROMEDIO MULTIANUAL MES DE ENERO. FUENTE: (UPME & IDEAM, 2005) PÁGINA 28.	118
FIGURA 50. MAPA DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL, PROMEDIO MULTIANUAL MES DE FEBRERO. FUENTE: (UPME & IDEAM, 2005) PÁGINA 29.	119
FIGURA 51. MAPA DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL, PROMEDIO MULTIANUAL MES DE MARZO. FUENTE: (UPME & IDEAM, 2005) PÁGINA 30.	120
FIGURA 61. CORTE A DEL CASO DE ESTUDIO:	121
FIGURA 62. CORTE B DEL CASO DE ESTUDIO.	122
FIGURA 63. FACHADA NORESTE DEL CASO DE ESTUDIO.	123
FIGURA 64. FACHA SUROESTE DEL CASO DE ESTUDIO.	124
FIGURA 65. PLANO DE PLANTA DEL GARAJE DEL CASO DE ESTUDIO.	125
FIGURA 66. PLANO DE PLANTA DEL PRIMER PISO DEL CASO DE ESTUDIO.	126
FIGURA 67. PLANO DE PLANTA DEL SEGUNDO PISO DEL CASO DE ESTUDIO.	127
FIGURA 68. PLANO DE PLANTA DEL TERCER PISO DEL CASO DE ESTUDIO.	128

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

FIGURA 69. PLANO DE PLANTA DE LA TERRAZA DEL CASO DE ESTUDIO. 129

Índice de Tablas

TABLA 1. RESERVA DE LOS PAISES ANDINOS. FUENTE: (LARRAÍN & PAZ AEDO, 2008)	12
TABLA 2. POTENCIALES Y METAS DE AHORRO A 2015, TOMADO DE PROURE 2010 – 2015. FUENTE:UPME	16
TABLA 3. METAS INDICATIVAS DE AHORRO A 2022, TOMADO DE PROURE 2017 – 2022, FUENTE: UPME 16	
TABLA 4. TABLA COMPARATIVA DE LAS LEGISLACIONES DE COLOMBIA Y DE PAÍS MIEMBRO DE LA UNIÓN EUROPEA.	18
TABLA 5. INTERVALOS DE VALOR DE RNT, PARA LA DETERMINACIÓN DE LA CLASE ENERGÉTICA. FUENTE: DESPACHO 15793J – TABELA 01.	20
TABLA 6. FACTOR DE ORIENTACIÓN PARA LAS DIFERENTES EXPOSICIONES, XJ. FUENTE: DESPACHO 15793I – TABELA 01	24
TABLA 7. FRACCIÓN CON VIDRIO. FUENTE: DESPACHO 15793K – TABELA 20.....	25
TABLA 8. RADIACIÓN SOLAR GLOBAL EN LA HORIZONTAL, GH, POR UBICACIÓN,	31
TABLA 9. FACTOR DE REDUCCIÓN RELATIVO AL POSICIONAMIENTO ÓPTIMO F1. FUENTE: DESPACHO 15793E – TABELA 08.....	31
TABLA 10. FACTOR DE REDUCCIÓN RELATIVO A LA SOMBRA F2, FUENTE: DESPACHO 15793E – TABELA 09	31
TABLA 11. FACTOR DE REDUCCIÓN RELATIVO AL TIEMPO DE VIDA, F3. FUENTE: DESPACHO 15793E – TABELA 10	32
TABLA 12. CIUDADES A ANALIZADAS.	35
TABLA 13. CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA CLIMÁTICA DE INVIERNO. FUENTE: DESPACHO 15793F – TABELA 02.....	35
TABLA 14. CRITERIOS PARA LA DETERMINACIÓN DE LA ZONA CLIMÁTICA DE VERANO. FUENTE: DESPACHO D15793F – TABELA 03	35
TABLA 15. VALORES GDREF SEGÚN LA UBICACIÓN.	39
TABLA 16. VALOR MREF PARA LA DURACIÓN DE LA ESTACIÓN DE CALENTAMIENTO.	40
TABLA 17. VALOR DE REFERENCIA θ_{EXT} , I.	40
TABLA 18. VALORES DE G _{sur} SEGÚN LA UBICACIÓN.	43
TABLA 19. VALORES DE REFERENCIA PARA θ_{EXT} , V REF.	44
TABLA 20. VALORES DEL ÍNDICE SOLAR SEGÚN LA UBICACIÓN.	45
TABLA 21. VALORES DE LAS RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES, R_{SE} Y R_{SI} . FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 01	50
TABLA 22. VALORES DE RESISTENCIA TÉRMICA DE LOS ESPACIOS DE AIRE NO VENTILADOS, R_{AR} . FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 02.	50
TABLA 23. COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN TÉRMICA DE PAVIMENTOS EN CONTACTO CON EL TERRENO CON AISLAMIENTO CONTINUO O SIN AISLAMIENTO TÉRMICO U_{BF} . FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 03	52
TABLA 24. COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN TÉRMICA DE PAVIMENTOS EN CONTACTO CON EL TERRENO CON	

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

AISLAMIENTO TÉRMICO PERIMETRAL HORIZONTAL U_{BF} . FUENTE DESPACHO D15793K – TABELA 0453	
TABLA 25. COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN TÉRMICA DE PAVIMENTOS EN CONTACTO CON EL TERRENO CON AISLAMIENTO PERIMETRAL VERTICAL U_{BF} . FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 05	53
TABLA 26. COEFICIENTE DE TRANSMISIÓN TÉRMICA DE PAREDES EN CONTACTO CON EL TERRENO, U_{BW} . FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 06.....	54
TABLA 27. VALORES POR DEFECTO PARA LOS COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN TÉRMICA LINEAL Ψ . FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 07	54
TABLA 28. COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR, A. FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 08	56
TABLA 29. RAZÓN ENTRE EL VALOR DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN A CONSIDERAR EN EL CÁLCULO DE LAS GANANCIAS DE CALOR A TRAVÉS DE UNA FACHADA VENTILADA Y EL VALOR DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DEL PARÁMETRO EXTERIOR DE LA FACHADA. FUENTE: DESPACHO 15793K – TABELA 09	56
TABLA 30 RAZÓN ENTRE EL VALOR DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN A CONSIDERAR EN EL CÁLCULO DE LAS GANANCIAS DE CALOR A TRAVÉS DE UNA CUBIERTA EN ÁTICO Y EL VALOR DEL COEFICIENTE DE ABSORCIÓN DE LA CUBIERTA EXTERIOR. DESVÃO = ÁTICO; FUENTE: DESPACHO 15793K – TABELA 10	56
TABLA 31. CLASES DE INERCIA TÉRMICA INTERIOR, I_T . FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 11.....	59
TABLA 32. FACTOR SOLAR DEL VIDRIO PARA UNA INCIDENCIA SOLAR NORMAL AL VANO. FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 12	62
TABLA 33. VALORES CORRIENTES DEL FACTOR SOLAR EN VANOS CON VIDRIO CORRIENTE Y DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN SOLAR. FUENTE DESPACHO D15793K – TABELA 13.....	63
TABLA 34. FRACCIÓN DE TIEMPO EN QUE LOS DISPOSITIVOS MÓVILES SE ENCUENTRAN ACTIVADOS. FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 14.....	65
TABLA 35. VALOR DEL FACTOR DE SOMBRA DEL HORIZONTE EN LA ESTACIÓN DE CALENTAMIENTO. FUENTE: DESPACHO D15793K TABELA 15	68
TABLA 36. VALORES DE LOS FACTORES DE SOMBRA DE ELEMENTOS HORIZONTALES F_0 EN LA ESTACIÓN DE CALENTAMIENTO. FUENTE: DESPACHO D15793K TABELA 16	68
TABLA 37. VALORES DE LOS FACTORES DE SOMBRA DE ELEMENTOS HORIZONTALES F_0 EN LA ESTACIÓN DE ENFRIAMIENTO. FUENTE: DESPACHO D15793K TABELA 17	68
TABLA 38. VALORES DE LOS FACTORES DE SOMBRA DE ELEMENTOS VERTICALES F_f EN LA ESTACIÓN DE CALENTAMIENTO. FUENTE: DESPACHO D15793K TABELA 18	68
TABLA 39. VALORES DE LOS FACTORES DE SOMBRA DE ELEMENTOS VERTICALES F_f EN LA ESTACIÓN DE ENFRIAMIENTO. FUENTE: DESPACHO D15793K TABELA 19.....	69
TABLA 40. FRACCIÓN CON VIDRIOS. FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 20	69
TABLA 41. FACTOR DE CORRECCIÓN DE LA SELECTIVIDAD ANGULAR DE LOS VIDRIOS EN LA ESTACIÓN DE ENFRIAMIENTO, $F_{w,w}$. FUENTE: DESPACHO D15793K – TABELA 21	70
TABLA 42. VALORES DEL COEFICIENTE DE REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS. FUENTE: DESPACHO 15793K – TABELA – 22.....	71
TABLA 43. FUGA DE AIRE POR SUPERFICIE TOTAL. FUENTE: WWW.EXTRUAL.COM.....	72

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

TABLA 44. COEFICIENTE W EN FUNCIÓN DE LA CLASE DE VENTANA O PUERTA..	73
TABLA 45. CONSTANTE DE LA CURVA CARACTERÍSTICA DE CONDUCTOS DE VENTILACIÓN NATURAL, C. FUENTE: DESPACHO 15793K – TABELA 26.	73
TABLA 46. COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN TÉRMICA SUPERFICIAL DE REFERENCIA DE ELEMENTOS OPACOS Y DE VANOS CON VIDRIO, UREF. FUENTE: PORTARIA 349B – TABELA I01	76
TABLA 47. COEFICIENTES DE TRANSMISIÓN TÉRMICA LINEAL DE REFERENCIA, Ψ_{REF} . FUENTE: PORTARIA 349B – TABELA I02	77
TABLA 48. CONVENCIONES DE TIPO DE CELDAS PARA EL USO DE STEEC.	79
TABLA 49. PAREDES EXTERIORES TRADICIONALES.	89
TABLA 50. PAREDES INTERIORES TRADICIONALES.	90
TABLA 51. PAREDES DIVISORIAS TRADICIONALES.	90
TABLA 52. PAVIMENTO TERREO TRADICIONAL.	91
TABLA 53. ENTREPISOS TRADICIONALES.	91
TABLA 54. CUBIERTA TRADICIONAL.	92
TABLA 55. PAREDES EXTERIORES.	93
TABLA 56. PAREDES INTERIORES.	94
TABLA 57. PAREDES DIVISORIAS.	94
TABLA 58. PAVIMENTO TERREO.	95
TABLA 59. ENTREPISOS.	95
TABLA 60. CUBIERTA.	96
TABLA 61 CARACTERÍSTICAS DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO DE AGUAS SANITARIAS. FUENTE: CATÁLOGO CHALLENGER WHG 7060.	97
TABLA 62. INERCIA TÉRMICA DEL CASO DE ESTUDIO.	100
TABLA 62. TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS PARA LA CIUDAD DE CARTAGENA.	115
TABLA 63. TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS PARA LA CIUDAD DE BUCARAMANGA.	116
TABLA 64. TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS PARA LA CIUDAD DE BOGOTÁ.	117

Acrónimos

- ❖ **PAI PROURE:** Plan De Acción Indicativo Del Programa De Uso Racional Y Eficiente De Energía Y Demás Formas De Energía.
- ❖ **REH:** Regulamento De Desempenho Energético Dos Edifícios De Habitação
- ❖ **IDEAM:** Instituto De Hidrología, Meteorología
- ❖ **UPME:** Unidad De Planeación Minero-Energética
- ❖ **MME:** Ministerio de Minas y Energía
- ❖ **CCCS:** Consejo Colombia De Construcción Sostenible
- ❖ **STEEC:** Simulación Termo Energética En Edifícios Familiares Colombianos
- ❖ **UE:** Unión Europea
- ❖ **APREN:** Asociación Portuguesa De Energías Renovables
- ❖ **OLADE:** Organización Latinoamericana De Energía
- ❖ **EE:** Eficiencia Energética
- ❖ **BREEAM:** Building Research Establishment's Enviromental
- ❖ **USGBC:** Green Building Council de USA
- ❖ **LEED:** Leadership in Energy and enviromental desing
- ❖ **URE:** Uso Racional Y Eficiente De La Energía
- ❖ **RETIE:** Reglamentos Técnicos Para instalaciones Eléctricas
- ❖ **RETILAP:** Reglamento Técnico Para Instalaciones De Alumbrado Público
- ❖ **RETIQ:** Reglamento Técnico para Etiquetado
- ❖ **RCCTE:** Reglamentación De Las Características De Comportamiento Térmico De Los Edifícios
- ❖ **RSECE:** Reglamentación De Los Sistemas De Climatización En Edifícios
- ❖ **SCE:** Sistemas De Certificación Enegetica De Los Edifícios
- ❖ **RECS:** Reglamento De Desempeño Energético De Los Edifícios De Comercio Y Servicio
- ❖ **AQS:** Aguas Calientes Sanitarias
- ❖ **NUTS:** Nomenclatura De La Unidades Territoriales Estadísticas

1 Capítulo

1.1 Introducción

El cambio climático en el mundo es un problema que afecta a todas las naciones, los avances de la tecnología y la carrera entre las potencias mundiales en los últimos años ha generado un crecimiento exponencial de la contaminación, pero también, los simples procesos de la cotidianidad en las casas familiares.

Para contrastar el efecto invernadero generado por las sociedades, cada país, en los últimos años del siglo pasado, estuvo desarrollando políticas para tener el control de las emisiones generadas por las comunidades, las cuales incluyen, precios adecuados de consumo, leyes, regulaciones, impuestos, subsidios, suministro de información o servicio. Generando también organismos regulatorios los cuales obligan a los agentes económicos a adoptar los comportamientos benéficos e impedir los perjudiciales. (Mejía, 2013)

Así comienza otra nueva carrera, en el desarrollo de la tecnología verde, la cual busca la mayor calidad posible con el menor impacto ambiental, siendo esta la definición de eficiencia energética, entendida también como la reducción de la energía utilizada para un determinado servicio o nivel de actividad.

Infelizmente, no todos los países han avanzado de la misma forma en el desarrollo de políticas relacionadas con la eficiencia energética. La Unión Europea y sus miembros, han adoptado un marco relativamente exigente frente al tema, pero Colombia quedó en el pasado al tener muy poco avance en la materia.

En Colombia, además de tener documentos escritos y propuestas para el mejoramiento de los consumos energéticos, aún no son normas obligatorias, algunos sectores aún están sin ningún tipo de reglamento, ni se tienen organismos que hagan control al desarrollo de sus actividades.

Entre las áreas sin reglamentación están los edificios residenciales y a diferencia de las necesidades de los hogares europeos, en Colombia no hay cambios climáticos en el transcurso del año por ser un país tropical, pero las temperaturas pueden ser muy calientes

o muy frías dependiendo de las ciudades, generando así la necesidad de utilizar muchos aparatos electrónicos para calentar o refrescar los hogares, sea cual sea el caso, además de esto es muy elevado el factor de consumo de energía eléctrica representando un 55% en los consumos energéticos residenciales. (MME & UPME, 2016)

En este trabajo se busca dar un aporte al desarrollo colombiano frente al estudio de eficiencia energética en el campo de los edificios familiares, analizando las estructuras como un todo, realizando una simulación energética basada en la metodología del Decreto – Ley n.º 28/2016, de 23 de junio – “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)” -, que procede a la cuarta alteración al Decreto – Ley n.º 118/2013, de 20 de agosto, alterado por los Decretos – Ley n.º 68-A/2015, de 30 de abril, 194/2015, de 14 de septiembre, y 251/2015, de 25 de noviembre, que aprobó el “Sistema de Certificação Energética dos Edifícios” el “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação” y el “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comercio e Serviços”, y transpone para orden jurídica portuguesa la Directiva n.º 2010/31/UE, del parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010.

1.2 **Ámbito y Objetivo**

Esta investigación tiene cuatro objetivos principales, que abarcan lo necesario para el desarrollo de una propuesta para el análisis termo energético de una edificación familiar en Colombia:

- ❖ Analizar y comparar las legislaciones sobre eficiencia energética de la Unión Europea y de Latinoamérica, dando un enfoque principal a los países Colombia y Portugal, pretendiendo encontrar faltas en la legislación colombiana con referencia al análisis termo-energético de edificios.
- ❖ Proponer una metodología matemática para el análisis termo-energético de las edificaciones familiares en Colombia, buscando analizar el comportamiento y la resistencia de la envolvente exterior del caso de estudio, para conservar la energía de la zona útil de la estructura.
- ❖ Desarrollar una herramienta de cálculo para la aplicación de la metodología propuesta, buscando facilitar la implementación de la metodología por parte de la comunidad y/o profesionales de la construcción colombiana.
- ❖ Aplicar la metodología y poner a prueba la herramienta de cálculo desarrollada, mediante el análisis termo-energético de una estructura, ubicada en tres diferentes localidades manteniendo constantes parámetros referentes a consumos, cantidad de habitantes, configuración de los elementos de construcción, sistemas estructurales. Dejando como única variable los factores climáticos de las ciudades en cuestión.

Con la realización de este proyecto se pretende contribuir al estudio de la eficiencia energética colombiana en edificios familiares.

1.3 **Metodología**

Como se mencionó en los objetivos se pretende analizar las legislaciones de eficiencia energética colombianas y europeas, teniendo en cuenta diferencia térmicas entre los dos continentes. Para el caso de estudio en Europa se seleccionó Portugal, y aunque es uno de los países europeos con las temperaturas más altas, la gran diferencia se observa en que Colombia no presenta estaciones, por ser un país ubicado en la línea ecuatorial, pese a

que en su territorio hay ciudades con diferentes temperaturas entre si, por ejemplo Bogotá, su capital, con una temperatura media de 13.5°C, Cartagena con 27.5°, Tunja con 12.8°C, Bucaramanga con 23.4°C. Estas temperaturas no representan grandes variaciones a lo largo del año, frente a ello para el análisis se va a ubicar el caso de estudio en algunas ciudades colombianas con diferencias climáticas notorias. (Clima, 2018)

En este trabajo, se va a hacer enfoque en los parámetros e índices, comprendiendo su formulación y su método de obtención en la legislación europea y tratando de aplicar o encontrar los semejantes en la legislación colombiana, haciendo uso de los entes gubernamentales existentes como el CCCS (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible), el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), el UPME (Unidad de Planeación Minero-Energética) y el PAI PROURE 2017 – 2022 (Plan de Acción Indicativo de Eficiencia Energética 2017 – 2022).

Luego del análisis de los parámetro, la aplicación de la metodología del Decreto – Ley n.º 28/2016, de 23 de junio – “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH)” -, que procede a la cuarta alteración al Decreto – Ley n.º 118/2013, de 20 de agosto, alterado por los Decretos – Ley n.º 68-A/2015, de 30 de abril, 194/2015, de 14 de septiembre, y 251/2015, de 25 de noviembre, que aprobó el “Sistema de Certificação Energética dos Edifícios” el “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação” y el “Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comercio e Serviços”, y transpone para orden jurídica portuguesa la Directiva n.º 2010/31/UE, del parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa al desempeño energético de los edificios, será aplicada para la evaluación del comportamiento termo energético de edificios, el objetivo será, determinar qué tipo de clase energética puede tener una edificación colombiana con la aplicación de las normativas europeas.

Una vez realizado este análisis se busca poder proponer un método para el análisis del caso de estudio en estructuras colombianas, tratando de aportar al desarrollo colombiano en esta materia y así buscar un desarrollo en la eficiencia energética colombiana en base al avance ya realizado por parte de los países de la Unión Europea.

1.4 Estructura de la Tesis

Este documento se divide en tres etapas. La primera que presenta la estructuración y el contenido en general del estudio, una segunda en donde se ven los resultados de la investigación bibliográfica, mostrando diferencias entre las legislaciones y para finalizar la aplicación de los reglamentos europeos en el caso de estudio. Además, una subdivisión de 8 Capítulos.

- ❖ El primer Capítulo presentar introducción, metodología, objetivo y la estructura del documento, allí se encontrará una idea general del contenido del trabajo, así dando a conocer los alcances de la tesis.
- ❖ El segundo Capítulo estará conformado por el estado arte del tema de investigación, en donde se hará en encuadramiento del propósito del trabajo realizado y el por qué es importante el desarrollo de este, allí se presentan situaciones actuales europeas y latinoamericanas con respecto a la eficiencia energética.
- ❖ En el tercer Capítulo se presentan los resultados de la investigación bibliografía y se presente el avance histórico de las legislaciones energéticas de Colombia y de Europa en el tiempo, también una pequeña comparación entre las mismas buscando resaltar las diferencias entre las dos legislaciones.
- ❖ En el cuarto Capítulo define cada uno de los parámetro e índices a utilizar en la simulación energética del caso de estudios, explicando su utilización y de donde provienen los datos usados, en el caso de Colombia como se realizó el ajuste de estos, además la presentación de la hoja de cálculo STEEC.
- ❖ El quinto Capítulo se refiere a la descripción detallada del caso de estudio, la explicación de la solución constructiva y sus elementos estructurales, además se presentan resultados de inercia térmica en función de las soluciones constructivas para demostrar el aporte energético de los materiales de construcción al estudio, además, son mostrados los resultados obtenidos y se hace una comparación del comportamiento de la estructura en base a la ubicación, también se resalta las mejorías obtenidas después de la simulación energética.
- ❖ En el sexto Capítulo se trata de la presentación de las conclusiones, bibliografía.
- ❖ Por último, se presentan los Anexos, con el fin de complementar la información de la investigación, gráficas, tablas, mapas y planos, hacen parte de esta sección.

2 Capítulo

2.1 Estado de Arte

Según (M. Macías, 2009), la edificación sostenible ha crecido a partir del movimiento hacia la edificación verde y bajo el movimiento más amplio de desarrollo sostenible. El movimiento verde se desarrolla en los años setenta con especial énfasis en la conservación de la energía y la eficiencia energética. En los ochenta crece la preocupación acerca del impacto que produce la operación del edificio y la fabricación de los materiales de construcción sobre el medioambiente natural. Durante esta misma década los problemas de la pobre calidad del aire interior y la inadecuada ventilación en edificios herméticos constituyen una preocupación creciente en los ciudadanos.

2.1.1 Contexto europeo

En el plan de eficiencia energética de la Unión Europea, la eficiencia energética es un punto clave y una herramienta eficaz para combatir el cambio climático, reducir las facturas de energía y crear una menor dependencia de los proveedores externos, (UE, 2018).

En la inmensidad de las normativas europeas para el desempeño y la eficiencia energética, como uno de los puntos clave, tiene la reducción del consumo energético por parte del sector de la construcción, ya que este es responsable de casi el 40% del consumo final de energía.

La Directiva n. ° 2010/31/UE de eficiencia energética en edificios es la principal norma europea está dirigida a garantizar el cumplimiento de los objetivos de la UE, respecto a la edificación, en lo referente a contención de emisiones de gases de efecto invernadero, del consumo energético y eficiencia energética y de generación de energía a partir de fuentes renovables. Esta normativa proviene de la Directiva 93/76/CEE (SAVE) relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética, que consistió en una lista de acciones que los estados miembros deberían

emprender para mejorar la eficiencia energética en edificios y, con ello, reducir sus emisiones de gases de efecto invernadero. Sin embargo esta directiva no estableció verdaderas obligaciones, lo cual dio paso a la Directiva 2002/91/CE (DEEE, 2003), que entró en vigor el 4 de enero de 2003 y tuvo que ser aplicada por los estados miembros de la Unión Europea, a más tardar el 4 de enero de 2006. Fue inspirada por el protocolo de Kyoto, que compromete a la Unión Europea para reducir las emisiones de CO² en un 8% en 2010, al 5.2% por debajo de los niveles de 1990.

El protocolo de Kyoto, firmado por las principales economías mundiales, fue inicialmente adoptado el 11 de diciembre de 1997 en Kyoto, Japón, marcó un paso importante hacia el pensamiento sostenible, pero no fue el inicio.

Para lograr una mejoría en la eficiencia energética del parque edificado, se habló por primera vez de los requisitos de uso de la energía en edificios y existentes que lleven a cabo grandes obras de renovación, y se introdujeron los certificados de eficiencia energética para los edificios en donde se propuso que los adquirientes o arrendatarios de un edificio deberán disponer de un certificado de eficiencia energética del mismo, que tendrá una vigencia máxima de 10 años desde el momento de su expedición.

Entre los años 2008 y 2010 la Directiva 2002/91/CE fue derogada por la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios, introduciendo el concepto de marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos.

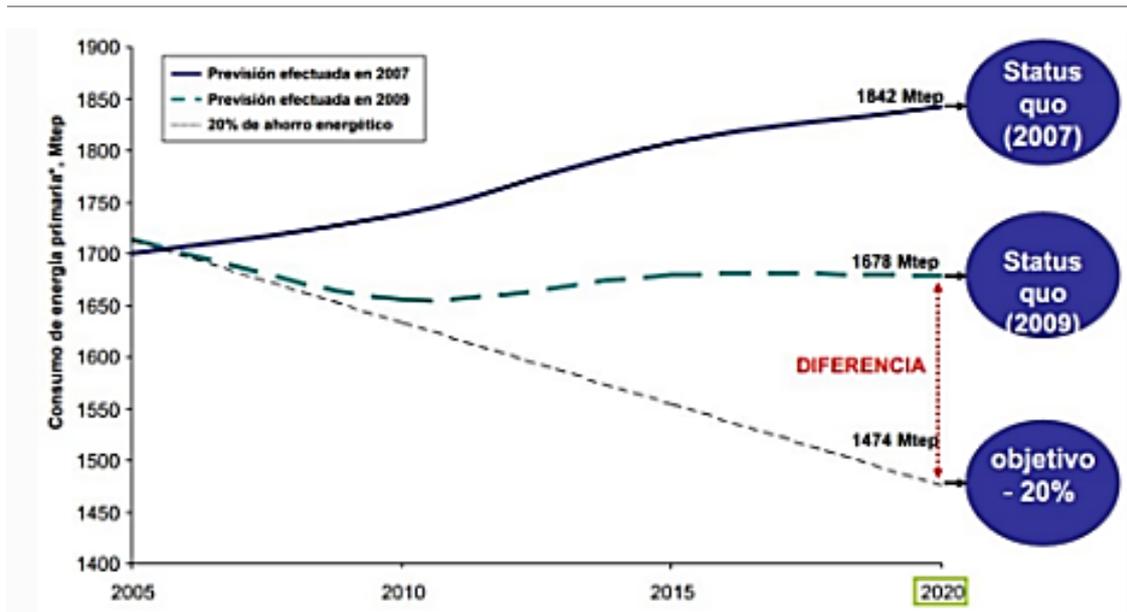


Figura 1. Consumo interior bruto menos usos no energéticos UE. Fuente: (ANAE, 2018)

La comisión europea establece un objetivo de ahorro de energía para la Unión Europea del 30% para 2030. La eficiencia energética desempeña un papel esencial en la transición hacia un sistema energético más competitivo, seguro y sostenible, centrado en el mercado interior de la energía de la UE, (UE, 2018). Este objetivo, al igual que el acordado para un ahorro energético del 20% para 2020 como se muestra en la Figura 1, es posible siempre y cuando todos los países de la UE apliquen la legislación que ya está aprobada, las políticas de eficiencia energética están obteniendo resultados tangibles para empresas y consumidores, disminuyendo un 19% la intensidad energética de la industria de la UE entre el 2001 y 2011, haciendo que hoy en día los edificios nuevos consuman la mitad de lo que consumían los edificios de la década de los 80, generando el compromiso de los países de la UE a desplegar cerca de 200 millones de contadores inteligentes de electricidad y 45 millones de gas hasta el 2020. Estos contadores registran el consumo energético a intervalos regulares durante el día y permiten que los consumidores adapten el uso de energía a lo largo del día a los distintos precios y, con ello, ahorren dinero en sus facturas de energía, y concientizando a la población al uso de aparatos eficiente, como neveras y lavadoras, representado ahorros de hasta 100 000 millones de euros anuales, de aquí a 2020, en las facturas de los consumidores.

2.1.2 Contexto portugués,

Con la revolución industrial, los combustibles fósiles se tornaron el soporte principal de

las sociedades y de las economías occidentales. Portugal fue el último de los países de la Europa occidental en conocer los efectos de la industrialización, solo a partir de mediados del siglo XX la producción industrial consiguió suplantar el peso de la agricultura en la economía portuguesa. Esta industrialización tardía es un factor esencial para comprender la evolución de la matriz energética en Portugal, en la primera mitad del siglo pasado, el carbón era la principal fuente de energía, complementada, de forma creciente, por la hidroelectricidad, en la secuencia de un importante programa de inversiones en nuevas y más grandes centrales hidroeléctricas. Solo a partir de la década de los 60, durante la fase de mayor crecimiento industrial nacional, se verificó un aumento significativo del uso del petróleo. (Lains, 1994). Desde hace varias décadas y principalmente desde los años setenta se ha cuestionado el modelo energético, el cual está basado, preferentemente, en la explotación de los combustibles fósiles (carbón, gas y petróleo) para la generación de energía (Alis, 2014).

Conforme a estas situaciones en Portugal se aprobó el Decreto – Ley n.º 40/90 “Reglamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios” y en la misma década el Decreto – Ley n.º 119/98 “Regulamento dos Sistemas de Climatização em Edifícios” funcionando a partir del primero de enero de 1991 y del primero de enero de 1999, respectivamente, frente a la necesidad de un instrumento legal que controlara las condiciones térmicas de los edificios venía de hace mucho a ser necesitada en Portugal por razones que obtenidas del deseo de mejorar las condiciones de salubridad, de higiene y de confort en los edificios en general y de habitación, en particular, y que tiene que ver, también, con el consumo actual y potencial de la energía para el confort térmico y para el confort visual, bien así como con calidad de la construcción en general. (Diário da República, 1991).

El primer plan nacional de acción para la eficiencia energética de Portugal fue el PNAEE creado en el año 2006 y tuvo como objetivo energético una mejora de la eficiencia energética igual a 908% de consumo final de energía al año 2015, representando un avance inmenso en la eficiencia del país, como se ve en la Figura 2.

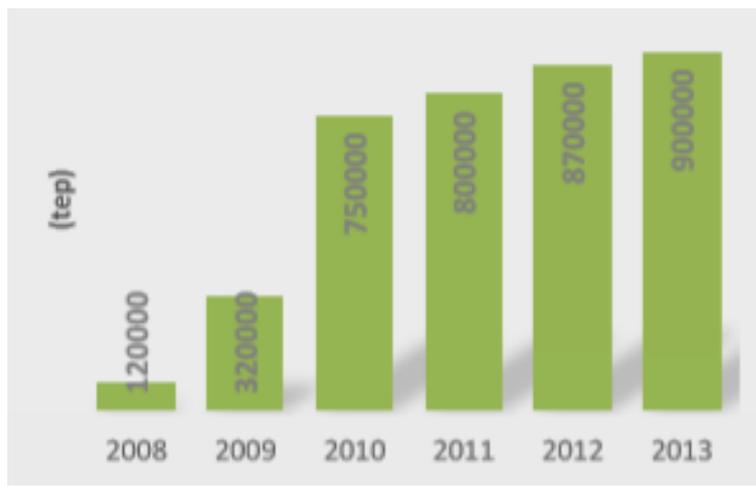


Figura 2. Ahorro total anual (tep) alcanzadas. Fuente: (DGEG, 2015b)

Después de la implementación de los documentos de control para la eficiencia energética de Portugal y la correcta incentivación para optar por el uso de energía renovables, el país tuvo resultados positivo en frente a las metas trazadas por las diferentes entidades de control. Según la asociación ambientalista CERO y la asociación de energía Renovable Portuguesa (APREN), la producción de electricidad a partir de fuentes renovables en Portugal alcanzó 4812 GWh, superando el consumo total de 4647 GWh. representando el 103.6% de la electricidad consumida (marzo, 2018), haciendo más corto el camino a un país 100 % renovable, lo cual apunta que para antes del 2040 el país ibérico alcance la meta de ser completamente renovable.

2.1.3 Contexto Latinoamericano

De acuerdo con los indicadores de la Organización Latinoamericana de Energía (OLADE), América Latina y el Caribe producen 9% de la energía del mundo, consumen 6,8% y exportan 2,2%, mostrado en la Tabla 1. (Zanoni, 2005)

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

Tabla 1. Reserva de los países andinos. Fuente: (Larraín & Paz Aedo, 2008)

	Petróleo	Gas Natural	Carbón mineral	Geotermia
Colombia	1.453	6.711	7.604	
Venezuela	80.592	4,2	600	
Ecuador	5.060	4,3	22	768
Bolivia	456,2	27		
Perú	147,87	337,8	49,9	

Notas:

Colombia: Carbón mineral en Mton. Gas natural en Gpc. Petróleo en Mbbls (millones de barriles)

Venezuela: Petróleo en MMBbls (millones de barriles). No incluye reservas adicionales de la Faja Orinoco. Gas Natural en billones de metros cúbicos correspondientes a 4, 2 x 2 x x 100π< mm>. Carbón medido en millones de toneladas métricas TM.

Ecuador: Valores para petróleo varían entre 4.629 Mbbls (Banco Mundial), y 5.060 (OLADE). Gas natural en Gm3. Carbón en miles de toneladas métricas. Geotermia en MW.

Bolivia: Petróleo en millones de barriles. Gas en 10¹² pies cúbicos.

Perú: Petróleo en millones de metros cúbicos. Fuente: Oil & Gas Journal, difiere de la información del Ministerio de Minas y Energía del Perú, que reconoce 60,31 millones de metros cúbicos. World Oil propone entre 930 y 1.016 millones de barriles.

En los últimos años los avances legales con respecto a la eficiencia energética han avanzado de manera importante. Si bien el sólo hecho de contar con un marco legal adecuado no es garantía de éxito, no cabe duda de que constituye una importante contribución al logro de los objetivos. En tal sentido, se observa en la región una tendencia al fortalecimiento del marco legal y, en particular, la voluntad de varios países de poner en vigencia una ley enfocada específicamente a la EE. Al conjunto de países que ya tienen leyes vigentes con estas características se le sumarán otros en corto plazo, cuyos anteproyectos están en fase de elaboración o discusión en sus parlamentos o congresos. Según (OLADE, 2017) entre los primeros países se detallan los siguientes.

- ❖ **Brasil:** La Ley de Eficiencia Energética del 2001, que permitía al Gobierno Federal establecer niveles mínimos de eficiencia para equipos que fuesen fabricados o vendidos en Brasil.
- ❖ **Colombia:** Mediante la Ley 697 de 2001, se declaró asunto de interés social, público y conveniencia nacional el uso racional y eficiente de la energía, así como el uso de fuentes energéticas no convencionales. En 2003 se expidió el Decreto 3683, que reglamentó los objetivos propuestos por la ley en materia de uso racional de energía.
- ❖ **Costa Rica:** Cuenta con una Ley de Regulación del Uso Racional de la Energía desde 1994, la cual fue reglamentada en 1996. Es la Ley de eficiencia energética más antigua de la región y desde esa época no ha tenido modificaciones sustanciales. Visto que algunos de los mecanismos allí establecidos se han vuelto obsoletos, existe cierto consenso en la necesidad de revisar el marco legal aplicable en el país.
- ❖ **Ecuador:** Si bien no cuenta con un Ley de Eficiencia Energética, resalta el hecho

de que, en la propia Constitución de la República, específicamente en su artículo 413, se hace referencia expresa a la promoción de la eficiencia energética. También cabe señalar que la Ley Orgánica del Servicio Público de Energía Eléctrica (2015) contiene varios artículos referidos a la eficiencia energética.

❖ **México:** En forma específica no tiene una ley de eficiencia energética de carácter nacional, pero se han promulgado un conjunto de leyes que de alguna forma cubren este ámbito. La Ley para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, la Ley para el Aprovechamiento de Energías Renovables y el Financiamiento de la Transición Energética, ambas del 2008; la Ley de Transición Energética de 2016 y la Ley General de Cambio Climático, reformada en 2016.

❖ **Nicaragua:** La Ley de Eficiencia Energética aprobada por la Asamblea Nacional en el 2017, teniendo como objetivo promover el uso racional y eficiente de la energía para garantizar el suministro energético al menor costo posible y contribuir a la conservación del medio ambiente.

❖ **Panamá:** En 2012 se aprobó la Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía, reglamentada en el 2013 y entrada en vigor en el año 2014.

❖ **Perú:** En el año 2000 se aprobó la Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía, y en 2006 la Ley para Asegurar el Desarrollo Eficiente de la Energía Eléctrica. En el año 2007 se institucionalizaron las actividades relacionadas a la EE.

❖ **Uruguay:** Desde 2009 está vigente la Ley de Promoción del Uso Eficiente de la Energía y la definición de un Plan Nacional de Eficiencia Energética 2015 - 2024.

❖ **Venezuela:** En 2011 aprobó la Ley de Uso Racional y Eficiente de la Energía.

Por otra parte, países como Argentina, Chile, El Salvador, Guatemala, Honduras, Paraguay y República dominicana, han elaborado o están elaborando anteproyectos de leyes de eficiencia energética.

2.1.4 Contexto colombiano

En un contexto colombiano se siguen utilizando los sistemas convencionales de construcción y no, aquellos amigables con el medio ambiente. Para (Susunaga, 2014), esta problemática nos presenta la oportunidad de estudiar como los gobiernos colombianos, en sus proyectos de viviendas de interés social gratis construye estas unidades habitacionales sin involucrar ningún medio sustentable.

Siendo así, se puede entender que Colombia hasta el momento, no ha dado la importancia suficiente a la implementación de métodos de construcción eficiente energéticamente hablando.

En los años noventa surge BREEAM® (Building Research Establishment's Environmental Assessment Method), como el primer modelo para la valoración de edificios en todo el mundo y fue elaborado por el Reino Unido, aplicado en su mayoría en Europa., en 1993 después de la formación del USGBC (Green Building Council de USA), los miembros de la organización se dieron cuenta rápidamente que la industria de la construcción sostenible necesitaba un sistema para definir y medir "edificios verdes" en Estados Unidos. El primer piloto de certificación LEED® (Leadership in Energy and Environmental Design), fue lanzada en agosto de 1998 y desde su creación ha venido evolucionando para representar con mayor precisión e incorporar las nuevas tecnologías de construcción verde, llegando a 148 países en el mundo y con más de 24000 edificios certificados. (Alis, 2014).

El consejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), fundado en febrero del 2008 y miembro pleno del Consejo Mundial de la Construcción desde noviembre del 2009, trabaja con el ideal de implementar y hacer construcciones amigables con el uso de los recursos en Colombia, de la mano con CCCS y LEED® al 31 de agosto de 2017 hay 105 edificios certificados y 235 más que están en proceso de certificación, (Consejo Colombiano de Construcción Sostenible, 2018), sin embargo se han tenido como privilegio los edificios para uso no residencial.

Como puede observarse este trabajo busca abrir una nueva puerta a la eficiencia energética colombiana, pretendiendo ayudar a la definición de una nueva metodología para el análisis y la simulación energética de edificios familiares en Colombia. Y así pretender aportar desde un punto de vista diferente a la investigación de la eficiencia energética colombiana.

3 Capítulo

3.1 Historia de la Legislación Energética Colombiana

Todas las normas en eficiencia energética en Colombia provienen de la Ley n.º 697 de 2001 mediante la cual se fomentó el uso racional y eficiente (URE) de la energía, esta ley creó el Programa de Uso Racional y Eficiente de la Energía y demás formas de energía no convencionales, denominado por sus siglas en español (PROURE), diseñado para “aplicar gradualmente programas para que toda la cadena energética esté cumpliendo permanentemente con los niveles mínimos de eficiencia energética...”, su reglamentación bajo el Decreto n.º 3683 de 2003.

Los consumos de energía a nivel nacional se ven dominados por el gasto energético en el sector de transportes y el sector industrial, no obstante, el consumo energético a nivel residencial representa un valor importante en la distribución de consumo de energía final, Figura 3. (MME & UPME, 2016)

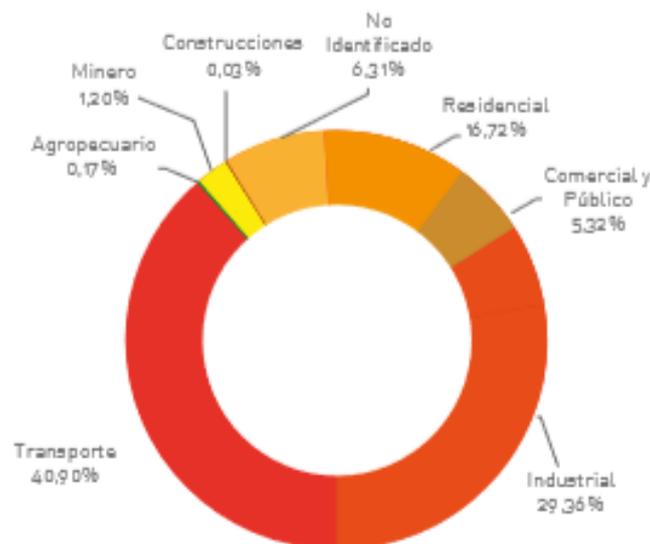


Figura 3. Distribución de Consumo de Energía Final. Colombia – 2015, Tomado de PROURE 2017 – 2022, Fuente: UPME

En el año 2010 de adoptó el primer Plan de Acción Indicativo 2010 – 2015 para desarrollar el PROURE, en este se definieron objetivos específicos, subprogramas

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

estratégicos y prioritarios, y metas del ahorro Tabla 2. (Ministerio de Minas y Energía, 2010)

Tabla 2. Potenciales y metas de ahorro a 2015, Tomado de PROURE 2010 – 2015. Fuente: UPME

Sector	Potencial de Ahorro de Energía*	Meta de Ahorro de Energía
RESIDENCIAL	10.6%	8.7%
INDUSTRIAL	5.3%	3.4%
COMERCIAL, PÚBLICO Y	4.4%	2.7%
TOTAL	20.2%	14.8%

* Potenciales de ahorro de energía eléctrica a 2015 estimados por la UPME

En el año 2017 se definió el Plan de Acción Indicativo PROURE 2017 – 2022 después del desarrollo del Plan de Acción Indicativo Preliminar PROURE 2016 – 2021, donde se definieron también objetivos específicos, subprogramas estratégicos y prioritarios, y metas de ahorro, Tabla 3.

Tabla 3. Metas indicativas de ahorro a 2022, tomado de PROURE 2017 – 2022, Fuente: UPME

SECTOR	META DE AHORRO (TJ)	META DE AHORRO (%)
TRANSPORTE	424.408	5,49%
INDUSTRIA	131.859	1,71%
TERCIARIO	87.289	1,13%
RESIDENCIAL	56.121	0,73%
	699.678	9,05%

Derivado de la Ley URE, se han desarrollado los reglamentos técnicos para instalaciones eléctricas (RETIE, 2013), de iluminación y alumbrado público (RETILAP, 2016 última versión) y de etiquetado (RETIQ, 2015). Para el desarrollo de ciertos proyectos de eficiencia energética, se han otorgado incentivos fiscales, como complemento a la legislación. (Ministerio de Minas, 2018)

Sin embargo, respecto a la eficiencia energética en edificaciones familiares el avance ha sido muy poco, se han desarrollado por parte de la Unidad de Planeación Minero-Energética (UPME), seminarios sobre la eficiencia energética en edificaciones, la determinación de consumos de energía en la fabricación de materiales de construcción y

cursos de eficiencia energética “Por una vivienda sostenible”.

3.2 Historia de la Legislación Energética en Europa

La política energética de la Unión Europea se basa en tres objetivos principales (Unión Europea, 2018):

- ❖ Seguridad de abastecimiento;
- ❖ Competitividad;
- ❖ Sostenibilidad.

Se tienen políticas energética y medioambiental de la Unión Europea a través de los planes de acción comunitarios, en su última versión realizada en el año 2011, y directivas sobre el uso final de la energía, Directiva 2012/27/UE vigente respecto a las Directivas 2006/32/CE y 93/76/CEE, sobre eficiencia energética en edificios la Directiva 2010/31/UE, cogeneración la Directiva 2012/27/UE que deroga la Directiva 2004/8/CE, diseño ecológico la Directiva 2009/125/CE y etiquetado energético la Directiva 2010/30/UE.

Los edificios residenciales y de servicios son el sector, con más consumo de energía a nivel europeo, representando un 40% del consumo energético total; en los edificios, hay un potencial significativo de ahorro con viabilidad económica.

En Portugal, las políticas energéticas desde el año 1190 con el DL n.º 40/90 – RCCTE referente a la Reglamentación de la Características de Comportamiento Térmico de los Edificios, en 1998 DL n.º 119/98 – RSECE Reglamentación de los sistemas de Climatización en Edificios, la Directiva 2002/91/Ce – EPBD derogada por la Directiva 2010/31/EU – EPBD RECAST relativa al Desempeño Energético de Edificios incentivando al uso de una metodología diferenciada a nivel nacional y regional para el cálculo del desempeño energético de los edificios; genera en el 2013 el DL n.º 118/2013 que da paso, a los Sistemas de Certificación Energética de los Edificio (SCE), el Reglamento de Desempeño Energético de los Edificios de Habitación (REH) y el Reglamento de Desempeño Energético de los Edificios de Comercio y Servicios (RECS); en el 2015 el DL n.º 194/2015 siendo compatible con el DL n.º 53/2014 relativo al

régimen excepcional y temporal aplicado a la rehabilitación para habitación; en el 2016 DL n.º 28/2016 que se refiere a la aplicación de requisitos técnicos en la instalación de nuevos sistemas técnicos y la substitución o renovación de los existentes, el objetivo de construir edificios con necesidades casi nulas de energía, y la necesidad de la realización de Certificados Energéticos en los edificios dado el caso de construcción, compra y venta, y fiscalización de las actividades económicas. (Mejía, 2013)

3.3 Cuadro Comparativo

En la *Tabla 4*, se presenta una comparación de los marcos legislativos entre Portugal y Colombia, notando que en Colombia la ausencia de agencias de eficiencia, requerimientos de desempeño energético en edificios familiares y certificados energéticos para las casas familiares, deja al país europeo con una amplia ventaja que con esfuerzo de las nuevas generaciones de profesionales del país latino se espera hacer más corta hasta un día controlar la eficiencia energética a la altura y por qué no, de la mano con la Unión Europea

Tabla 4. Tabla comparativa de las legislaciones de Colombia y de país miembro de la Unión Europea.

POLÍTICA	EUROPA (Portugal)	COLOMBIA
MARCO LEGISLATIVO		
Legislación	Directiva de Eficiencia Energética 2012/27/UE vigente, respecto a las Directivas 2006/32/CE y 93/76/CEE.	Ley n.º 697 de 2001 sobre el uso racional y eficiente de la energía.
Agencia de eficiencia	Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDEA)	No existe
Planes de Acción	Plan Nacional de Acción para la Eficiencia Energética (PNAEE)	Programa de Uso Racional y Eficiente de Energía y demás Formas de Energía No Convencionales (PROURE)
EDIFICIOS		
Requerimientos de desempeño energético en edificios	Decreto – Ley n.º 118/2013	No existe
Certificado energético	Decreto – Ley n.º 28/2016	No existe

4 Capítulo

4.1 Conceptos básicos

A continuación, algunos conceptos que son necesarios aclarar para el entendimiento de las fórmulas matemáticas y/o las definiciones que serán presentadas a lo largo del documento:

- ❖ La **envolvente** térmica de un edificio es la piel que lo protege de la temperatura, aire y humedad, en otras palabras, lo que separa los espacios útiles de los no útiles, edificio adyacente, el suelo y/o el exterior.
- ❖ **Elemento exterior**, elemento que hace parte de la envolvente que separa una zona útil del exterior.
- ❖ **Elemento interior**, elemento que hace parte de la envolvente que separa una zona útil de una zona no útil o un edificio adyacente, puede tener necesidades de exterior o de interior dependiendo del valor de *btr*, ver Tabla 43.
- ❖ **Elemento sin requerimientos**, elemento que hace parte de la envolvente que está en contacto con el suelo y no necesita de un control térmico.
- ❖ Una **zona útil** es el espacio habitable de la fracción, en donde se pretenden mantener temperaturas dentro del rango de confort.
- ❖ Las **zonas no útiles**, son zonas que no requieren de un control térmico, como por ejemplo los garajes.
- ❖ La **estación de calentamiento** es la época del año en donde la temperatura media exterior es menor de la temperatura mínima de referencia 18°C, en esta estación la casa presenta pérdida de calor que ocurre por transmisión a través de los elementos de la envolvente y pérdida de calor por renovación del aire interior.
- ❖ La **estación de enfriamiento** es la época del año en donde la temperatura media exterior es mayor que la temperatura máxima de referencia 25°C.

4.2 Clase energética

La definición de la clase energética de una casa familiar, en función de su comportamiento termo-energético, está relacionando las necesidades nominales anuales de energía

primaria N_{tc} y el valor límite para las necesidades nominales anuales de energía primaria N_t . Con base en (Diário da República, Despacho, 2013), la clasificación energética para edificios familiares es calculada mediante la siguiente expresión:

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (1)$$

La aplicación de este factor da un nivel que define el estado energético de la casa y con base en esto podremos determinar y analizar mejorías, teniendo en cuenta los factores que de los que depende la anterior expresión.

Según la norma, (Diário da República, Despacho, 2013), la escala de clasificación energética de los edificios o fracciones autónomas de edificios estará compuesta por 8 clases, correspondiendo a cada clase un intervalo de valores de R_{Nt} aproximados a dos cifras decimales, Tabla 5.

Tabla 5. Intervalos de valor de R_{nt} , para la determinación de la clase energética. Fuente: Despacho 15793J –

Tabela 01.

Clase Energética	Valor de R_{Nt}
A +	$R_{Nt} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{Nt} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{Nt} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{Nt} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{Nt} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{Nt} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{Nt} \leq 2,50$
F	$R_{Nt} \geq 2,51$

4.3 Necesidades nominales de energía primaria

Las energías primarias son aquellas que se obtienen directamente de la naturaleza. Según (twenergy, 2018), existen diferentes fuentes de energía primaria, dependiendo de su capacidad de regeneración. Las procedentes de los combustibles fósiles (carbón, petróleo, gas natural y uranio) tardan miles de años en generarse, por lo tanto, se agotan. Esto hace

que, a pesar de haber sido las fuentes más empleadas históricamente, su uso se vaya haciendo cada vez más complejo y costoso. Sin embargo, las fuentes de energía renovables (agua, sol, viento, biomasa y el calor de la tierra) están casi siempre disponibles en la naturaleza y seguirán estándolo incluso cuando las anteriores se hayan agotado.

En la siguiente expresión se relacionan los usos de calentamiento, enfriamiento, producción de aguas calientes sanitarias y ventilación mecánica, deducida de eventuales contribuciones de fuentes de energía renovable.

$$N_{tc} = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} * N_{ic}}{\eta_k} \right) F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} * \delta * N_{vc}}{\eta_k} \right) F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} * Q_a / A_p}{\eta_k} \right) F_{pu,j} + \sum_j \frac{W_{vm,j}}{A_p} * F_{pu,j} - \sum_p \frac{E_{ren,p}}{A_p} * F_{pu,p} \quad \left[\frac{kWh_{EP}}{m^2 * año} \right] \quad (2)$$

En donde,

N_{ic} : Necesidades de energía útil para calentamiento, suplidas por el sistema k [kWh/m²*año];

$f_{i,k}$: Parte de las necesidades de energía útil para calentamiento suplidas por el sistema k ;

N_{vc} : Necesidades de energía útil para enfriamiento, suplidas por el sistema k . [kWh/m²*año];

$f_{v,k}$: Parte de las necesidades de energía útil para enfriamiento suplica por el sistema k ;

Q_a : Necesidades de energía útil para preparación de aguas calientes sanitarias (AQS, por sus siglas en portugués), suplidas por el sistema k [kWh/ año];

$f_{a,k}$: Parte de las necesidades de energía útiles para la producción de AQS suplidas por el sistema k ;

η_k : Eficiencia del sistema k , que toma el valor de 1 en el caso de sistemas para aprovechamiento de fuentes de energía renovable, a excepción de sistemas de

quemada de biomasa sólida en que debe ser usada la eficiencia del sistema de quemado.

j : Todas las fuentes de energía incluyendo las de origen renovable;

p : Fuentes de origen renovable;

$E_{ren,p}$: Energía producida a partir de fuentes de origen renovable p , [kWh/año];

W_{vm} : Energía eléctrica necesaria para el funcionamiento de los ventiladores, [kWh/año];

A_p : Área útil de pavimento [m^2];

F_{pu} : Factor de conversión de energía útil para energía primaria, [kWh_{EP}/kWh];

δ : Igual a 1, excepto para el uso de enfriamiento en que puede tomar el valor de 0 siempre que el factor de utilización de ganancias térmicas sea superior al respectivo factor de referencia, el que representa las condiciones en que el riesgo de sobrecalentamiento se encuentra minimizado.

Las necesidades nominales anuales de energía útil para calentamiento N_{ic} , el calculado mediante la siguiente expresión:

$$N_{ic} = \frac{Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i}}{A_p} \left[\frac{kWh}{m^2} * año \right] \quad (3)$$

En que:

$Q_{tr,i}$: Transferencia de calor por transmisión en la estación de calentamiento a través de la envolvente de los edificios, [kWh]

$Q_{ve,i}$: Transferencia de calor por ventilación en la estación de calentamiento, [kWh].

$Q_{gu,i}$: Ganancia térmicas útiles en la estación de calentamiento resultantes de las ganancias solares a través de los vanos con vidrio, de la iluminación, de los equipamientos y de los ocupantes, [kWh]

4.3.1 La naturaleza en general siempre está en busca del equilibrio, siguiendo esta idea al largo de la estación de calentamiento, a causa de las diferencias entre temperaturas

exteriores e interiores, se presentan transferencias de calor a través de la envolvente del edificio, $Q_{tr,i}$, la cual podemos calcular mediante la siguiente expresión:

$$Q_{tr,i} = 0.024 * GD * H_{tr,i} \quad (4)$$

De donde,

GD : Número de grados días de calentamiento, de la Fórmula 29,

$H_{tr,i}$: Coeficiente global de transferencia de calor por transmisión en la estación de calentamiento, de la Fórmula 52,

4.3.2 Siendo así, las pérdidas de calor por ventilación correspondientes a la renovación del aire interior durante la estación de calentamiento son calculadas según la Fórmula 5

$$Q_{ve,i} = 0.024 * GD * H_{ve,i} \quad (5)$$

De donde,

$H_{ve,i}$: Coeficiente global de transferencia de calor por ventilación en la estación de calentamiento, de la Fórmula 57

4.3.3 La conversión de la parte de las ganancias térmicas brutas que se traducen en ganancias térmicas de hace de acuerdo con la siguiente expresión

$$Q_{gu,i} = \eta_i * Q_{g,i} \quad (6)$$

De donde,

η_i : Factor de utilización de las ganancias térmicas en la estación de calentamiento, de la Fórmula 60,

$Q_{g,i}$: Ganancias térmicas brutas a considerar en el cálculo de las necesidades nominales de calentamiento del edificio, [kWh]

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \quad (7)$$

De donde,

$Q_{int,i}$: Ganancias térmicas asociadas a fuentes internas de calor, en la estación de calentamiento, [kWh]

$$Q_{int,i} = 0.72 * q_{int} * M * A_p \quad (8)$$

De donde,

q_{int} : Ganancias térmicas internas medias por unidad de superficie, supuesto por la norma igual a 4 W/m².

M : Duración media de la estación convencional de calentamiento, de la fórmula (33)

A_p : Área interior útil de pavimento del edificio, medidas por el interior

$Q_{sol,i}$: Ganancias térmicas asociadas al aprovechamiento de la radiación solar por los vanos con vidrio, en la estación de calentamiento, [kWh]

$$Q_{sol,i} = G_{sur} \sum_j \left[X_j * \sum_n F_{s,i_{nj}} * A_{s,i_{nj}} \right] * M \quad (9)$$

De donde,

G_{sur} : Valor medio mensual de energía solar media incidente en una superficie vertical orientada al sur, durante la estación de calentamiento, por unidad de superficie, [kWh/m²*mes]

X_j : Factor de orientación para las diferentes exposiciones de acuerdo con la Tabla 6.

Tabla 6. Factor de orientación para las diferentes exposiciones, X_j . Fuente: Despacho 15793I – Tabela 01

Orientação do vão (j)	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
X_j	0,27	0,33	1	0,84	0,56	0,89

Para este factor, los datos de la tabla son tomados directamente de las normas portuguesas

y aplicados en esta investigación, al ser datos solares dependientes de la ubicación geográfica son datos que no representan la realidad de Colombia, sin embargo, a causa de la falta de información es preciso utilizar los mismos.

F_{s,i_nj} : Factor de obstrucción del vano con vidrio n con orientación j en la estación de calentamiento.

A_{s,i_nj} : Área efectiva colectora de radiación solar del vano con vidrio en la superficie n con la orientación j , Fórmula 10, [m²]

j : Índice que corresponde a cada una de las orientaciones

n : Índice que corresponde a cada una de las superficies con la orientación j

M : Duración media de la estación convencional de calentamiento, [mes]

Para, $Q_{sol,i}$, las superficies son consideradas horizontales cuando presenten una inclinación inferior a 60° en respecto al plano horizontal, siendo las restantes consideradas verticales. El valor de área efectiva, A_{s,i_nj} , debe ser calculado vidrio por vidrio para tener en cuenta cada uno de los elementos colectores de radiación solar, siguiendo la siguiente expresión,

$$A_{s,i_nj} = A_w * F_g * g_i \quad [m^2] \quad (10)$$

De donde,

A_w : Área total del vano con vidrio, incluyendo el vidrio y el marco, [m²].

F_g : Fracción con vidrio del vano, Tabla 7

Tabla 7. Fracción con vidrio. Fuente: Despacho 15793K – Tabela 20

Caixilharia	F_g	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

g_i : Factor solar de invierno, de la Fórmula 68.

4.3.4 Se propone un método matemático para el cálculo de las necesidades nominales de energía útil, sin embargo, en este punto estará enfocado a las necesidades de enfriamiento, N_{vc} ,

$$N_{vc} = (1 - \eta_v) * \frac{Q_{g,v}}{A_p} \left[\frac{kWh}{m^2} * año \right] \quad (11)$$

En que,

η_v : Factor de utilización de las ganancias térmicas en la estación de enfriamiento

$Q_{g,v}$: Ganancias térmicas brutas en la estación de enfriamiento, [kWh]

De la misma manera que en la estación de calentamiento, en la estación de enfriamiento es necesario calcular la transferencia de calor por transmisión a través de la envolvente, por renovación del aire y las ganancias térmicas obtenidas.

4.3.4.1 La transferencia de calor por transmisión que ocurre a través de la envolvente se calcula de acuerdo con la siguiente expresión,

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} * (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) * \frac{L_v}{1000} \quad [kWh] \quad (12)$$

En que,

$H_{tr,v}$: Coeficiente global de transferencia de calor por transmisión en la estación de enfriamiento, de la fórmula (53) [W/°C]

$\theta_{v,ref}$: Temperatura de referencia para el cálculo de las necesidades de energía en la estación de enfriamiento, se supone como 25°C, la temperatura máxima de confortabilidad

$\theta_{v,ext}$: Temperatura media del aire exterior para la estación de enfriamiento, de la sección 4.3.

L_v : Duración de la estación de enfriamiento, de la Fórmula 49.

4.3.4.2 En referencia a la transferencia de calor por renovación de aire en la estación de enfriamiento, $Q_{ve,v}$, se calcula mediante la siguiente expresión,

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} * (\theta_{v,ref} - \theta_{v,ext}) * \frac{L_v}{1000} \quad [kWh] \quad (13)$$

De donde,

$$H_{ve,v} = 0.34 * R_{ph,v} * A_p * P_d \quad [kWh] \quad (14)$$

En que,

$R_{ph,v}$: Tasa nominal de renovación del aire interior en la estación de enfriamiento

P_d : Pie derecho medio de la fracción, [m]

4.3.4.3 Ahora bien, para las ganancias térmicas brutas a considerar en el cálculo de las necesidades nominales de enfriamiento, tienen parecido con su homónima para calentamiento de la Fórmula 7, ya está compuesto también por ganancias térmicas asociadas a fuentes internas de calor y las asociadas a la radiación solar, así,

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} \quad [kWh] \quad (15)$$

Y así mismo,

$$Q_{int,v} = q_{int} * A_p * \frac{L_v}{1000} \quad [kWh] \quad (16)$$

Las ganancias solares en la estación de enfriamiento resultantes de la radiación solar incidente en la envolvente opaca y con vidrio, se calculan de acuerdo con la siguiente ecuación,

$$Q_{sol,i} = \sum_j \left[G_{sol_j} * \sum_n F_{s,v_{nj}} * A_{s,v_{nj}} \right] \quad [kWh] \quad (17)$$

$G_{sol,j}$: Energía solar media incidente en una superficie con orientación j durante toda la estación de enfriamiento, [kWh/m²]

$A_{s,vnj}$: Área efectiva colectora de radiación solar de la superficie del elemento n con la orientación j , [m²]

$$A_{s,vnj} = A_w * F_g * g_v \quad [m^2] \quad (18)$$

4.3.5 En el caso de que el edificio disponga de sistemas mecánicos de ventilación con funcionamiento continuo, debe ser estimado el consumo de energía eléctrica de funcionamiento de los ventiladores.

$$W_{vm} = 0.3 * V_f * \frac{H_f}{1000} \quad \left[\frac{kWh}{año} \right] \quad (19)$$

En que,

V_f : Caudal de aire media diario escolado a través del ventilador, [m³/h].

H_f : Número de horas de funcionamiento de los ventiladores durante un año. Por defecto se considera que los ventiladores funcionan 24 horas al día, debiendo ser tomado el valor de 8760h, si se tienen ventiladores que NO funcionan 24 horas al día no se tendrán en cuenta.

4.3.6 En lugares donde se tengan necesidades de calentamiento, va a ser indispensable la utilización de energía para el calentamiento de las aguas sanitarias, este aspecto se tiene en cuenta en el análisis energético del edificio de la siguiente manera,

$$Q_a = \frac{M_{AQS} * 4187 * \Delta T * n_d}{3600000} \quad \left[\frac{kWh}{año} \right] \quad (20)$$

ΔT : Aumento de temperatura necesario para la preparación de las AQS y que, para efectos del presente calculo, toma el valor de referencia de 35°C.

n_d : Número anual de días de consumo de AQS de edificios residenciales que, para efectos del presente cálculo, se considera de 365 días.

M_{AQS} : El consumo medio diario de referencia será calculado de acuerdo con la

siguiente expresión,

$$M_{AQ5} = 40 * n * f_{eh} \text{ [Litros]} \quad (21)$$

En que,

n : Este número representa el número convencional de ocupantes de cada fracción, en este caso se definen tipologías en la Figura 4, en función de los habitantes de las casas así,

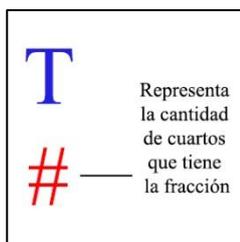


Figura 4. Simbolización de la tipología de fracción en función del número de cuartos.

Así mismo este factor, n , tendrá el valor de 2, cuando sea el caso de una casa T0 y de $n+1$ ocupantes en las tipologías T n , siendo $n > 0$.

f_{eh} : Factor de eficiencia hídrica, aplicable a duchas con certificación y rótulos de eficiencia hídrica, suponiendo el caso de que las duchas a utilizar no son de eficiencia hídrica clase A, se supone con un valor de 1.

4.4 Sistemas de energía

Para la clasificación energética es necesario incluir aquellos sistemas que generen energía para el calentamiento o enfriamiento del ambiente o bien, el calentamiento de aguas sanitarias, dado el caso una casa familiar no presente sistemas, se hará el cálculo con valores por defecto que simulen el uso de aparatos que no tienen en cuenta en el numeral 4.4.1, así poder obtener la clase energética de la unidad.

4.4.1 Entre los sistemas de producción de energía, tenemos sistemas de energía renovable y sistemas de energía no renovables, tales como,

- ❖ Consumo eléctrico, aire acondicionado, sistemas de calefacción y calentadores de

agua.

- ❖ Sistemas que funcionan a base de Gas natural, propano o butano; calentador de agua, chimeneas y sistemas de calefacción.
- ❖ Calderas a base de Gasóleo.

4.4.2 En un principio serán considerados los sistemas de energía renovable más conocidos en el común colombiano, los cuales representan energía solar, y eólica, además sistemas de biomasa para el caso de ciudades con necesidades de calentamiento.

4.4.2.1 La contribución de sistemas de colectores solares se calculará en función de la posición, las obstrucciones la edad de uso de los sistemas así,

$$E_{ren} = E_{solar_{ref}} * f_1 * f_2 * f_3 \quad [kWh] \quad (22)$$

Siendo,

$$E_{solar_{ref}} = 0.44 * A_c * G_h \quad [kWh] \quad (23)$$

En que,

$E_{solar_{ref}}$: Valor de referencia de contribución anual de sistemas de colectores solares para la producción de AQS, tomado directamente de las normativas portuguesas, es claro que para Colombia la definición de valores de referencia requiere estudios amplios y valores históricos los cuales no se tienen.

f_1 : Factor de reducción relativo al posicionamiento óptimo.

f_2 : Factor de reducción relativo a la sombra.

f_3 : Factor de reducción relativo a la edad del equipamiento.

A_c : Área total de captación de los colectores solares, [m²]

G_h : Total anual medio de la radiación solar global recibida en una superficie horizontal, de la Tabla 8. Estos valores calculados según el procedimiento explicado en el numeral 4.5 para una placa con inclinación de cero grados.

Tabla 8. Radiación solar global en la horizontal, Gh, por ubicación,

Ciudad	Gh
Bogotá	1533
Bucaramanga	2190
Cartagena	2190

El factor de reducción relativo al posicionamiento representa una reducción de la energía captada, resultante de irregularidades en la inclinación y orientación del sistema, generando así, captaciones deficientes, el factor de la sombra, significa la reducción de la captación de energía cuando la superficie del sistema se obstruye por cualquier elemento que genere sombra y el factor de reducción relativo a la edad del equipamiento corresponde al tiempo de los sistemas de colectores solares. Estos factores fueron tomados en función de la Tabla 9, Tabla 10 y Tabla 11, las cuales representan valores de referencia europeos.

Tabla 9. Factor de reducción relativo al posicionamiento óptimo f_1 . Fuente: Despacho 15793E – Tabela 08

f_1		Azimute					
		0°- 15°	16°- 30°	31°- 45°	46°- 60°	61°- 75°	76°- 90°
Inclinação	0°- 15°	0,92	0,92	0,89	0,88	0,87	0,87
	16°- 30°	1,00	1,00	0,96	0,92	0,90	0,87
	31°- 45°	1,00	1,00	0,98	0,95	0,90	0,85
	46°- 60°	0,98	0,98	0,96	0,93	0,88	0,82
	61°- 75°	0,90	0,90	0,90	0,87	0,83	0,76
	76°- 90°	0,75	0,77	0,77	0,76	0,73	0,67

Tabla 10. Factor de reducción relativo a la sombra f_2 , Fuente: Despacho 15793E – Tabela 09

f_2		Azimute		
		0°- 30°	31°- 60°	61°- 90°
h	0°- 30°	1,00	1,00	1,00
	31°- 60°	0,97	0,98	0,99
	61°- 90°	0,96	0,97	0,98

Tabla 11. Factor de reducción relativo al tiempo de vida, f_3 . Fuente: Despacho 15793E – Tabela 10

Idade do equipamento	f_3
0 - 9	1,00
10 - 19	0,90
20 - 29	0,80
≥ 30	0,50

4.4.2.2 Para los sistemas eólicos, la determinación de la energía producida se calcula mediante la aplicación del producto de las horas anuales equivalentes y la potencia nominal de la turbina.

El valor de las horas equivalentes, según (Diário da República, Despacho, 2013), podrá ser 750 horas en los casos en que la estructura se encuentre al interior de la zona urbana de la ciudad. Tomando esto como base, en un principio para el caso colombiano se supone este valor de referencia.

$$E_{ren} = NEP_s * P_{nom} \left[\frac{kWh}{año} \right] \quad (24)$$

En que,

NEP_s : Horas anuales equivalentes a la P_{nom} , [h*año]

P_{nom} : Potencia nominal de la turbina [W]

4.4.2.3 Adicional a los sistemas típicos de paneles solares y sistemas eólicos, se optó por adherir los sistemas de calefacción mediante la quema de biomasa sólida, ya que representa un aprovechamiento de la energía muy grande y tiene a tuvimos un muy buen desempeño en Europa.

❖ Su contribución energética será determinada de la siguiente manera, si será utilizada para la climatización de espacios,

$$E_{ren} = \frac{N_{ic} * A_p}{\eta_k} * f_{i,k} \left[\frac{kWh}{año} \right] \quad (25)$$

En que,

$f_{i,k}$: Necesidades energéticas para el calentamiento suplidas por el sistema de biomasa.

η_k : Eficiencia del sistema de biomasa

Para el cálculo de las necesidades energética para el calentamiento suplidas por el sistema de biomasa, se relaciona el área útil de pavimento de la estructura y el área de los compartimientos beneficiados por el sistema, así,

$$f_{i,k} = \frac{A_s}{A_p} \quad (26)$$

❖ Cuando el sistema de biomasa es utilizado para la producción de AQS, su producción de energía será,

$$E_{ren} = \frac{Q_a}{\eta_k} * f_{a,k} \left[\frac{kWh}{año} \right] \quad (27)$$

$f_{a,k}$: Necesidades energéticas para AQS suplidas por el sistema de biomasa.

η_k : Eficiencia del sistema de biomasa

Q_a : Necesidades de energía útil para preparación de AQS

❖ Y por último en el caso de que el sistema de biomasa tenga una función doble, su contribución es la siguiente,

$$E_{ren} = \frac{N_{ic} * A_p}{\eta_k} * f_{i,k} + \frac{Q_a}{\eta_k} * f_{a,k} * f_{r,k} \left[\frac{kWh}{año} \right] \quad (28)$$

En que,

$f_{r,k}$: Toma el valor de 1, excepto cual el sistema sea instalado en un espacio interior útil del edificio o fracción y condiciona el ambiente de este, tomando, en ese caso, el valor de M/12, en que M es la duración de la estación de

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

Tabla 12. Ciudades a analizadas.

CIUDAD	DEPARTAMENTO	CLIMA	REGIÓN
Bogotá D.C	Distrito Capital, Cundinamarca.	Frio	Andina
Bucaramanga	Santander	Medio	Andina
Cartagena	Bolívar	Caliente	Caribe

Los procedimientos por realizar son procedimientos tipos que servirán como guía para la definición de parámetros climáticos en diferentes zonas del país. En Portugal se definen tres zonas de invierno y tres zonas de verano, en donde se clasifican del más crítico al menos crítico dependiendo de factores que se van a definir más adelante. Con Colombia se pretende generar esta misma división Tabla 13 y Tabla 14, con el fin de ajustar e incluir a todos los departamentos, generando un procedimiento general y funcional en todo el país.

Para definir tres diferentes zonas climáticas de invierno (I1, I2, I3) y tres zonas climáticas de verano (V1, V2, V3) tenemos requisitos de calidad térmica de la envolvente. Las zonas climáticas de invierno son definidas a partir del valor de Gados-Días (GD) en la base de 18°C, correspondiente a la estación de calentamiento (invierno) expresada su clasificación en la siguiente tabla. (Diário da República, Despacho, 2013)

Tabla 13. Criterios para la determinación de la zona climática de invierno. Fuente: Despacho 15793F – Tabela 02

CRITERIO	$GD \leq 1300$	$1300 < GD \leq 1800$	$GD > 1800$
ZONA	I1	I2	I3

Las zonas climáticas para verano son definidas a partir de la temperatura media exterior correspondiente a la estación convencional de enfriamiento ($\theta_{ext, v}$), expresada su clasificación en la siguiente tabla: (Diário da República, Despacho, 2013)

Tabla 14. Criterios para la determinación de la zona climática de verano. Fuente: Despacho D15793F – Tabela 03

CRITERIO	$\theta_{ext, v} \leq 20^{\circ}C$	$20^{\circ}C < \theta_{ext, v} \leq 22^{\circ}C$	$\theta_{ext, v} > 22^{\circ}C$
ZONA	V1	V2	V3

4.5.2 Parámetros climáticos

Siendo así para la aplicación del método portugués en las ciudades colombianas, es necesario definir los parámetros de los cuales depende la Tabla 13 y la Tabla 14:

Para la estación de calentamiento, según (Diário da República, Despacho, 2013), se definen los siguientes parámetros:

4.5.2.1 GD – Número de Grados-días, con base a la temperatura de confort 18°C , correspondiente a la estación convencional de calentamiento.

$$GD = GD_{REF} + a * (z - z_{REF}) \quad (29)$$

En donde:

z_{REF} : Cota de referencia

z : Es la cota de la ubicación de la estructura en análisis.

a : parámetro de corrección de la altura que depende de la topografía de la ciudad, en este proyecto se supone como 1, ya que la finalidad del trabajo es definir la metodología y el cálculo de este factor requiere la intervención de otros campos de la ciencia.

GD_{REF} : Grados días de referencia

Al analizar la ecuación (29) tomada del (Diário da República, Despacho, 2013), se tienen valores de referencia ajustados por la (NUTS, 2008), donde se divide Portugal en regiones a las cuales pertenecen ciudades. A cada una de estas regiones son asignados valores de referencia que se ajustan dependiendo de la ubicación de la estructura que se esté estudiando. Siendo así, para el ajuste de la metodología europea en Colombia, es necesario también definir valores de referencia y dividir el país en “regiones”, frente ello se optó por utilizar la división política colombiana por departamentos Figura 2 y generar los valores de referencia en las ciudades capitales de cada uno de estos. Con esta idea el valor Z_{REF} , corresponderá al valor obtenido en msnm (metros sobre el nivel del mar) para cada ciudad de referencia, mediante la utilización del software Google Earth Pro, en la

Figura 6, se muestran los valores obtenidos, para las ubicaciones en análisis.

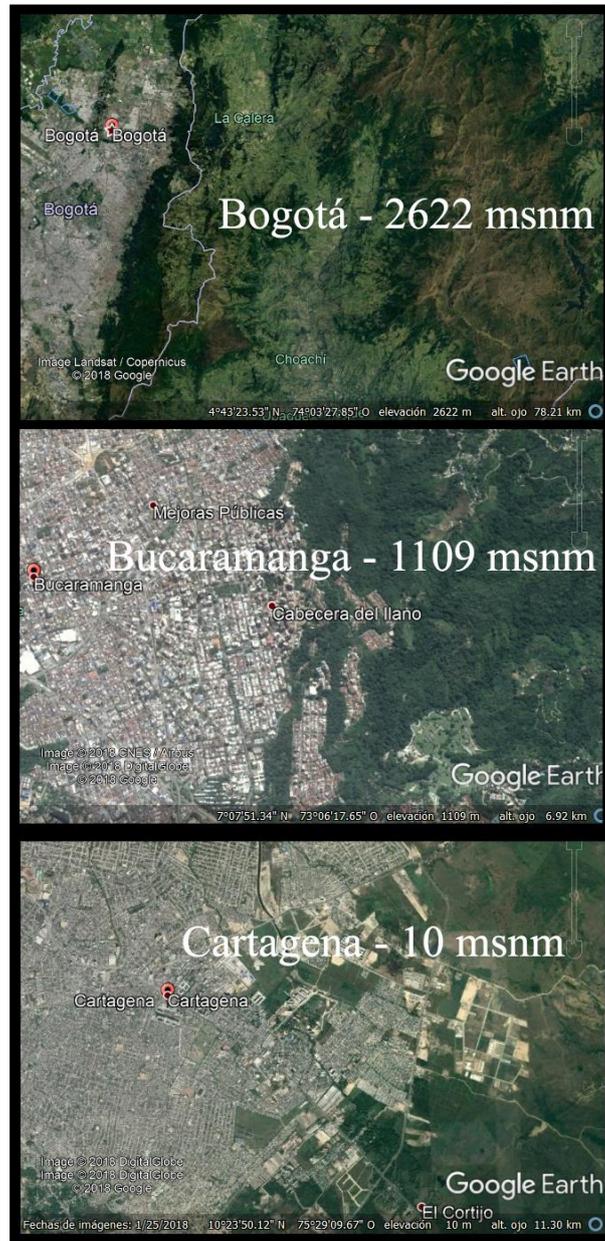


Figura 6. Elevación sobre el nivel del mar de las ciudades de Bogotá, Bucaramanga y Cartagena. Fuente: Google Earth Pro.

Así se definen los valores de GD_{REF} de la siguiente manera, siendo válido resaltar que este valor debe ser mayor e igual a 100 en todo caso, para efectividad de las ecuaciones utilizadas en la metodología y en base a la definición formal de Gados días que según (Rodríguez, 2013).

“...Los grados día de un periodo determinado de tiempo, son la suma, para todos los días de este periodo, de la diferencia entre una temperatura fija o base de los Grados día y la temperatura media del día-noche. Cuando esa temperatura media diaria sea inferior a la temperatura base, obtendremos los Grados día de calentamiento...”

$$GD_{18^{\circ}|18^{\circ}} = \sum_i^n (a - T_{md,i}) * X_c \quad (30)$$

En donde:

$a = 18^{\circ}\text{C}$ como temperatura mínima de confort;

$n = 365$ días, es el número de día del periodo sobre el que toman las mediciones, en este caso se decidió variar la base de los días respecto a los países europeos ya que, las variaciones térmicas en Colombia a lo largo del año no son muy grandes y no se podría definir estaciones climáticas como en Europa. Esto con el fin de globalizar la metodología y que sea aplicable a cualquier ciudad del país sea cual sea su temperatura media;

$T_{md, i}$, Temperatura media diaria para el día i , este factor se calculó haciendo un promedio de la temperatura máxima día-noche y la temperatura mínima día-noche, los valores obtenidos son presentados a manera de tablas en el Anexo A:

$$T_{md,i} = \frac{T_{max,i} + T_{min,i}}{2} \quad (31)$$

X_c , Es un coeficiente lógico que valdrá uno (1) cuando la temperatura media diaria ($T_{md, i}$) sea menor que 18° y cero (0) cuando sea mayor:

$$X_c = \begin{cases} 1 \rightarrow T_{md,i} \leq 18^{\circ}\text{C} \\ 0 \rightarrow T_{md,i} > 18^{\circ}\text{C} \end{cases} \quad (32)$$

Para cada día del año, en las ciudades de la Tabla 15, se tomaron los datos climáticos respecto a temperatura del año 2017 de (AccuWeather, Inc, 2018), Anexo A, con el fin de mostrar el funcionamiento de la ecuación, sin embargo, dado el caso de realizar un

análisis completo del país, se tendrían que tomar valores y medias históricas en la búsqueda de tener más exactitud.

Tabla 15. Valores GD_{ref} según la ubicación.

UBICACIÓN	GDREF
Bogotá	1308
Bucaramanga	100
Cartagena	100

❖ M – La duración de la estación de calentamiento según las normativas portuguesas la definen como,

$$M = M_{REF} + a * (z - z_{REF}) \quad (33)$$

Este valor en meses, en este punto se decidieron hacer dos modificaciones: primero suponer el valor del factor de corrección por topografía $a = 1$ ya que no se cuentan con los estudios necesarios para la determinación de este, y segundo, en los lugares en donde no se presentaba ni un solo con necesidades de calentamiento para el valor de referencia, lo que por teoría nos llevaría a $M_{REF} = 0$; sin embargo, esto no se contempla en las normativas portugués ya que no hay una sola ciudad con una duración de la estación de calentamiento cero más en Colombia, esto si es posible y lo vemos para las ciudades en estudio Bucaramanga y Cartagena.

El problema surgió ya que, al llevar este valor a cero y al llegar al cálculo de los factores de utilización de ganancias explicados en el numeral 4.10, se tendría una división por cero lo que cual generaría una ecuación indeterminada.

Para solucionar esto se puso un límite donde $M_{REF} = 0$ y así ninguna ciudad por caliente que sea, se va a analizar con una duración nula de estación de calentamiento, Tabla 16.

Tabla 16. Valor Mref para la duración de la estación de calentamiento.

UBICACIÓN	MREF
Bogotá	12
Bucaramanga	0.5
Cartagena	0.5

❖ $\theta_{ext, i}$ – Temperatura exterior media del mes más frío de la estación de calentamiento.

$$\theta_{ext,i} = \theta_{ext,i ref} + a * (z - z_{REF}) \quad (34)$$

Al igual que para el cálculo de la duración de la estación de calentamiento y de los grados días, el factor de corrección $a = 1$.

Con los datos de temperatura media diaria del Anexo A, se pudo obtener este valor de referencia para cada uno de los lugares en estudio, Tabla 17.

Tabla 17. Valor de referencia $\theta_{ext, i}$.

Ubicación	$\theta_{ext, I ref}$
Bogotá	13.66
Bucaramanga	22.32
Cartagena	27.19

❖ G_{sur} – Energía solar media mensual durante la estación, recibida en una superficie vertical orientada al Sur, [kWh/m².mes].

La radiación solar es un factor que varía entre los dos países y por ende fue preciso investigar un proceso matemático para definir los valores de incidencia de la energía solar en función de la ubicación.

Para cálculo de la radiación solar sobre una placa vertical orientada al sur, se optó por el uso del procedimiento definido por (UPME & IDEAM, 2005), Fórmula 35, en donde se pudo calcular la radiación solar en función de la latitud, para días específicos, la finalidad de esto es calcular la radiación para todos los días del año en la ciudades bajo análisis y de allí obtener valores medios que son requeridos como factores climáticos bases para la simulación energética. Dentro del procedimiento es necesario definir la hora de medida

esta se supuso a las 16h.

$$\bar{H}(\beta) = \bar{R} * \bar{H} \quad (35)$$

En donde,

$\bar{H}(\beta)$ = Radiación solar en función del ángulo de inclinación β .

β : Representa en ángulo de inclinación de la placa orientada al sur, como el factor indica superficies verticales en este caso va a ser igual a 90°.

\bar{H} : Valor de la radiación mensual diaria, este valor fue obtenido de los mapas de radiación colombiana del *Anexo B*.

\bar{R} : Radiación sobre una superficie.

$$\bar{R} = \left[\frac{\bar{H} - \bar{H}d}{\bar{H}} \right] * Rb + \left(\frac{\bar{H}d}{\bar{H}} \right) * \frac{1 + \cos(\beta)}{2} + r * \frac{1 - \cos(\beta)}{2} \quad (36)$$

En donde,

β : Inclinación de la superficie.

r : Reflectancia de la superficie.

Rb : Razón obtenida del promedio diario mensual de la radiación sobre una superficie inclinada y el promedio diario mensual de la radiación sobre la superficie horizontal.

$$\bar{R}b = \frac{\cos(\varnothing - \beta) * \cos(\delta) * \text{sen}(w'_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) * w'_s * \text{sen}(\varnothing - \beta) * \text{sen}(\delta)}{\cos(\varnothing) * \cos(\delta) * \text{sen}(w_s) + \left(\frac{\pi}{180}\right) * w_s * \text{sen}(\delta) * \text{sen}(\varnothing)} \quad (37)$$

Donde,

$$w'_s = \min[\arccos[-\tan(\varnothing) * \tan(\delta)], \arccos[-\tan(\varnothing - \beta) * \tan(\delta)]] \quad (38)$$

$$W_s = \arccos[-\tan(\varnothing) * \tan(\delta)] \quad (39)$$

Así el cálculo de los ángulos se realiza mediante las siguientes expresiones,

$$\delta^\circ = 0.006918 - 0.399912 * \cos(\alpha) + 0.070257 * \text{sen}(\alpha) - 0.006758 * \cos(2\alpha) + 0.000907 * \text{sen}(2\alpha) - 0.002697 * \cos(3\alpha) + 0.00148 * \text{sen}(3\alpha) * \left(\frac{180}{\pi}\right) \quad (40)$$

$$\alpha[\text{Rad}] = \left(2\pi * \frac{\text{número del día}-1}{365}\right) \quad (41)$$

$\bar{H}d$: Radiación solar difusa.

$$\frac{\bar{H}d}{\bar{H}} = \begin{cases} 0.99 \text{ para } k_t \leq 0.17 \\ 1.188 - 2.272 * k_t + 9.473 * k_t^2 - 21.865 * k_t^3 + 14.648 * k_t^4 \text{ para } 0.17 < k_t < 0.75 \\ -0.54 * k_t + 0.632 \text{ para } 0.75 < k_t < 0.8 \\ 0.2 \text{ para } k_t \geq 0.8 \end{cases} \quad (42)$$

Definiendo k_t como,

$$k_t = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_o} \quad (43)$$

Siendo H_o calculado con la siguiente fórmula

$$\bar{H}_o = \frac{24}{\pi} * \bar{I}_o * \left(\frac{R_o}{R}\right)^2 * [(\cos(\phi) * \cos(\delta) * \text{sen}(\omega)) + \frac{2\pi * \omega}{360} * \text{sen}(\delta) * \text{sen}(\phi))] \quad (44)$$

De donde,

$$\text{Constante solar } I_o = 1.367 \left[\frac{kW}{m^2}\right] \quad (45)$$

$$\left(\frac{R_o}{R}\right)^2 = 1.00011 + 0.034221 * \cos(\alpha) + 0.00128 * \text{sen}(\alpha) + 0.000719 * \cos(2\alpha) + 0.000077 * \text{sen}(2\alpha) \quad (46)$$

$$\omega = \frac{360^\circ}{24} * (t + 12) \quad (47)$$

$$t = 18h \quad (48)$$

Luego de este procedimiento ser efectuado para cada ubicación, se obtienen los valores de la Tabla 18, presentada a continuación,

Tabla 18. Valores de G_{sur} según la ubicación.

UBICACIÓN	GSUR
Bogotá	1.73
Bucaramanga	2.05
Cartagena	2.33

4.5.3 Para la estación de enfriamiento, los parámetros climáticos son los siguientes, (Diário da República, Despacho, 2013):

❖ L_v : Duración de la estación de enfriamiento.

$$L_v = 720 * (12 - M) \quad (49)$$

Para Portugal la duración de la estación de enfriamiento es de 4 meses, lo cual no es posible decir para Colombia por las grandes diferencias respecto a condiciones climáticas de los países, no obstante, a manera general de cálculo y con base en que si una ciudad no tiene necesidades de calentamiento tiene de enfriamiento, se relacionan estas dos duraciones, multiplicando por la constante 720 a modo de conversión de unidades de meses a horas.

❖ $\theta_{ext,v}$: Temperatura exterior media.

$$\theta_{ext,v} = \theta_{ext,v ref} + a * (z - z_{REF}) \quad (50)$$

Al igual que para el cálculo de la duración de la estación de calentamiento y de los grados días, el factor de corrección $a = 1$.

Con los datos de temperatura media diaria del Anexo A, es posible calcular la temperatura exterior media y definir este factor de manera sencilla para el territorio colombiano, Tabla 19.

Tabla 19. Valores de referencia para θ_{ext} , v ref.

UBICACIÓN	θ_{ext} , v ref
Bogotá	14.42
Bucaramanga	22.8
Cartagena	28.84

❖ I_{sol} : Energía solar acumulada durante la estación, recibida en la horizontal (Inclinación 0°) y en superficies verticales (Inclinación 90°) para los puntos cardinales.

Utilizando la fórmula (6), fue posible calcular este índice para placas completamente horizontales y placas completamente verticales orientadas al Norte y al Sur, sin embargo, para el análisis de este factor, las normativas portuguesas definen valores de radiación solar de placas orientadas a los cuatro puntos cardinales y los cuatro puntos colaterales.

No obstante, el procedimiento del atlas no permite calcular radiación solar para las placas orientadas si no es al Norte y al Sur, siendo así se optó por realizar una relación directa y aproximar estos valores, tomando como base los dados entregados por el Despacho 15793 para la Región Autónoma de Madeira ya que es que la región portuguesa más al sur, Tabla 20.

Es válido resaltar que la aproximación, no es un método confiable ni exacto, pero el objetivo de este documento es mostrar el uso de la metodología para la simulación energética de edificios en Colombia y no profundizar en cálculos para la incidencia de la radiación solar del país, ya que esto abarcaría completamente otro trabajo y se necesitaría de la ayuda de profesionales en otras áreas y mucho tiempo para recolectar los datos in situ.

Tabla 20. Valores del índice solar según la ubicación.

Isol								
90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	90°	0°
N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	-
552	736	920	906	624	906	920	736	1533
498	664	830	817	747	817	830	664	2190
449	599	748	737	848	737	748	599	2190

4.6 Coeficiente global de transferencia de calor

En este punto, los factores a analizar dependen de los materiales y las soluciones constructivas que se definen para la estructura, por esta razón las fórmulas definidas en la metodología son válidas para su aplicación en cualquier lugar del mundo, ya que no dependen de las condiciones climáticas o condiciones específicas de cada país. Siendo así a continuación se presenta una traducción y pequeña adaptación del Despacho 15793K a este trabajo.

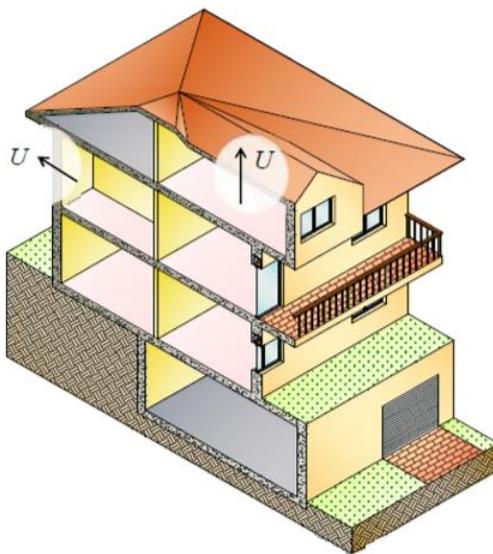


Figura 7. Representación gráfica del coeficiente U. Fuente: ITECONS

4.6.1 El coeficiente global de transferencia de calor en un edificio está definido por la suma del coeficiente global de transferencia de calor por transmisión de la envolvente y el coeficiente de transferencia de calor por ventilación debido a la renovación de aire interior (Diário da República, Despacho, 2013).

$$H_t = H_{tr} + H_{ve} \left[\frac{W}{^\circ C} \right] \quad (51)$$

Ya se viene hablando de necesidades para las estaciones de calentamiento o enfriamiento, si bien, aunque en las ciudades a analizar solo es aplicable unos de los factores ya sea, de enfriamiento o calentamiento, es posible que en alguna ciudad colombiana se presenten requerimientos para ambas estaciones, no obstante, esto solo dependerá de los valores obtenidos para la duración de las estaciones, con las Fórmulas 33 y 49.

4.6.2 El coeficiente global de transferencia de calor por transmisión se refiere a la conductividad a través de toda la superficie de los elementos de la envolvente, comprendiendo las paredes, vidrios, coberturas, pavimentos y puentes térmicas planas, para efecto de cálculo de las necesidades en la estación de calentamiento, se obtiene de la sumatoria de otros cuatro factores (Diário da República, Despacho, 2013):

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \left[\frac{W}{^\circ C} \right] \quad (52)$$

Para efecto de cálculo de las necesidades en la estación de enfriamiento, se obtiene de la sumatoria de tres factores (Diário da República, Despacho, 2013):

$$H_{tr,v} = H_{ext} + H_{enu} + H_{ecs} \left[\frac{W}{^\circ C} \right] \quad (53)$$

De donde,

H_{ext} : Coeficiente de transferencia de calor a través de elementos de la envolvente en contacto con el exterior.

$$H_{ext} = \sum_i [U_i * A_i] + \sum_j [\Psi_j * B_j] \left[\frac{W}{^\circ C} \right] \quad (54)$$

En que,

U_i : Coeficiente de transmisión térmica del elemento i de la envolvente,

[W/(m².°C)]

A_i : Área del elemento i de la envolvente, medida por el interior del edificio, [m²]

Ψ_j : Coeficiente de transmisión térmica lineal del puente térmico lineal j , [W/(m.°C)]

B_j : Desenvolvimiento lineal del puente térmico lineal j , medido por el interior del edificio, [m]

$H_{enu, adj}$: Coeficientes de transferencia de calor por transmisión a través de la envolvente en contacto con espacio NO útiles, H_{enu} , y en contacto con edificios adyacentes, H_{adj} , se calculan con la siguiente expresión.

$$H_{enu,adj} = b_{tr} * (\sum_i [U_i * A_i] + \sum_j [\psi_j * B_j]) \quad \left[\frac{W}{\text{°C}} \right] \quad (55)$$

En que,

b_{tr} : Coeficiente de reducción de pérdida de determinado espacio NO útil o de un edificio adyacente, determinado de acuerdo con la Tabla 30.

Siendo así, que cuando un coeficiente de reducción de pérdidas es menor que uno, indica que hay transmisiones de calor por medio del espacio NO útil, ya que su temperatura estará comprendida entre la temperatura interior de referencia del espacio útil y la temperatura exterior (Diário da República, Despacho, 2013).

H_{ecs} : Coeficiente de transferencia de calor por transmisión a través de elementos en contacto con el suelo, su cálculo debe hacerse utilizando la siguiente expresión (Diário da República, Despacho, 2013):

$$H_{ecs} = \sum_i [U_{bfi} * A_i] + \sum_j [z_j * P_j * U_{bwj}] \quad \left[\frac{W}{\text{°C}} \right] \quad (56)$$

En que,

U_{bfi} : Coeficiente de transmisión térmica del pavimento enterrado i , [W/(m².°C)]

A_i : Área del pavimento en contacto con el suelo i , medida por el interior del edificio, [m²]

z_j : Profundidad media enterrada de la pared en contacto con el suelo j , [m]. En los

casos en que el pavimento terreo se encuentra al mismo nivel que el suelo, el valor de $z=0$.

P_j : Desarrollo total de la pared en contacto con el suelo j , medido por el interior [m]

U_{bwj} : Coeficiente de transmisión térmica de la pared en contacto con el suelo j , [W/(m².°C)]

4.6.3 El coeficiente de transferencia de calor por ventilación se calcula a través de la siguiente ecuación (Diário da República, Despacho, 2013):

$$H_{ve} = 0.34 * R_{ph} * A_p * P_d \quad \left[\frac{W}{^{\circ}C} \right] \quad (57)$$

En que,

R_{ph} : Tasa nominal horaria de renovación de aire interior, calculada de acuerdo con el Despacho D15793K, [h⁻¹]

A_p : Área interior útil de pavimento medida por el interior, [m²]

P_d : Pie derecho medio de la fracción, [m]

4.7 Coeficiente de transmisión térmica superficial

Se emplea para expresar la capacidad aislante de un elemento constructivo particular formado por una o más capas de materiales. Desde un punto de vista físico en la cantidad de energía que fluye, en la unidad de tiempo, a través de una unidad de superficie del elemento, cuando hay un gradiente térmico unidad. Es el inverso de la resistencia térmica.

Al igual que el coeficiente global de transferencia de calor, el coeficiente de transmisión térmica superficial no depende de la ubicación de la estructura y/o las condiciones climáticas. Para este coeficiente se presenta una traducción de la metodología para el cálculo de los coeficientes de transmisión térmica, según (Diário da República, Despacho, 2013),

4.7.1 En **Elementos Opacos** el valor del coeficiente de transmisión térmica (U) de un elemento caracteriza la transferencia de calor que ocurre entre los ambientes o medios

que este separa, Figura 8, y el cálculo debe ser determinado de acuerdo con las normas europeas en vigor.

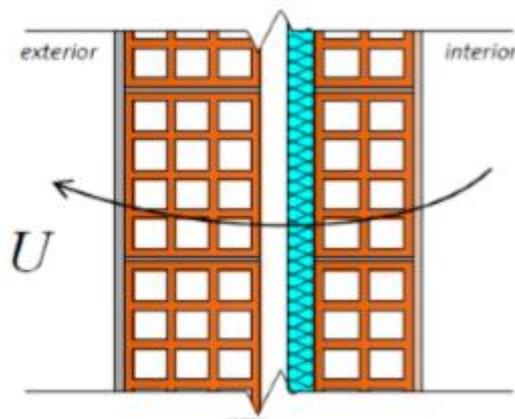


Figura 8. Transmisión térmica en elemento opacos. Fuente: ITECON

En base a la norma europea EN ISO 6946. El valor de U de elementos constituidos por uno o varios materiales, en capas de espesor constante, es calculado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_j R_j + R_{se}} \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right] \quad (58)$$

En que,

R_j : Resistencia térmica de la capa j , [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

R_{si} : Resistencia térmica interior, [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

R_{se} : Resistencia térmica exterior, [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]

Según (INTERCOM, 2018), La resistencia térmica es la capacidad de un material de oponerse al flujo de calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el grosor del material y la conductividad térmica del mismo; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica.

Se presentan valores de las resistencias térmicas superficiales, en función de la posición del elemento constructivo y del sentido de flujo de calor en la Tabla 21.

Tabla 21. Valores de las resistencias térmicas superficiales, R_{se} y R_{si} . Fuente: Despacho D15793K – Tabela 01

Sentido do fluxo de calor		Resistência térmica [m ² .°C/W]	
		Exterior R_{se}	Interior R_{si}
Horizontal		0,04	0,13
Vertical	Ascendente	0,04	0,10
	Descendente	0,04	0,17

En el cálculo del coeficiente de transmisión térmica de un elemento que separa un espacio interior de un espacio no útil o de un edificio adyacente, deben ser consideradas dos resistencias térmicas superficiales interiores, R_{si} , una correspondiente al interior de la fracción y otra al interior del espacio no útil.

Para los valores de las resistencias térmicas de espacio de aire no ventilados se presenta la Tabla 22,

Tabla 22. Valores de Resistencia térmica de los espacios de aire NO ventilados, R_{ar} . Fuente: Despacho D15793K –

Tabela 02.

Direção e sentido do fluxo de calor	Espessura (mm)	R_{ar} [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]
Horizontal	< 5	0,00
	5	0,11
	10	0,15
	15	0,17
	25 a 300	0,18
Vertical ascendente	< 5	0,00
	5	0,11
	10	0,15
	15 a 300	0,16
Vertical descendente	< 5	0,00
	5	0,11
	10	0,15
	15	0,17
	25	0,19
	50	0,21
	100	0,22
	300	0,23

4.7.2 En Elementos en contacto con el suelo, El valor del coeficiente de transmisión térmica de pavimentos en contacto con el terreno U_{bf} ($W/m^2 \cdot ^\circ C$), se determina con la Tabla 23, Tabla 24 o Tabla 25 y está en función de,

❖ Dimensión característica del pavimento B'

$$B' = \frac{A_p}{0.5P} \quad [m] \quad (59)$$

En que,

A_p : Área interior útil de pavimento, medida por el interior, [m^2]

P : Perímetro expuesto, caracterizado por el desarrollo total de la pared que será el espacio controlado térmicamente del exterior, de un espacio no controlado térmicamente o de un edificio adyacente, o del suelo, medido por el interior, [m]

- ❖ Resistencia térmica de todas las capas del pavimento R_f , con exclusión de resistencias térmicas superficiales, [$m^2 \cdot ^\circ C/W$]
- ❖ Largura o profundidad del aislamiento D , respectivamente, en el caso del aislamiento perimetral horizontal o vertical, [m]

Tabla 23. Coeficiente de transmisión térmica de pavimentos en contacto con el terreno con aislamiento continuo o sin aislamiento térmico U_{bf} . Fuente: Despacho D15793K – Tabela 03

B^*	$z \leq 0,5 \text{ m}$				$0,5 \text{ m} < z \leq 1,0 \text{ m}$				$1,0 \text{ m} < z \leq 2,0 \text{ m}$			
	$R_f \text{ [(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W]}$				$R_f \text{ [(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W]}$				$R_f \text{ [(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W]}$			
	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3
3	0,65	0,57	0,32	0,24	0,57	0,44	0,30	0,23	0,51	0,41	0,29	0,22
4	0,57	0,52	0,3	0,23	0,52	0,41	0,28	0,22	0,47	0,37	0,27	0,21
6	0,47	0,43	0,27	0,21	0,43	0,35	0,25	0,2	0,40	0,33	0,24	0,19
10	0,35	0,32	0,22	0,18	0,32	0,28	0,21	0,17	0,30	0,26	0,20	0,17
15	0,27	0,25	0,18	0,15	0,25	0,22	0,18	0,15	0,24	0,21	0,17	0,14
≥ 20	0,22	0,21	0,16	0,13	0,21	0,18	0,15	0,13	0,20	0,18	0,15	0,13
B^*	$2,0 \text{ m} < z \leq 3,0 \text{ m}$				$z > 3 \text{ m}$							
	$R_f \text{ [(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W]}$				$R_f \text{ [(m}^2 \cdot ^\circ\text{C)/W]}$							
	0,5	1	2	≥ 3	0,5	1	2	≥ 3				
3	0,45	0,37	0,27	0,21	0,39	0,32	0,24	0,20				
4	0,42	0,34	0,25	0,20	0,36	0,30	0,23	0,19				
6	0,36	0,30	0,23	0,18	0,31	0,27	0,21	0,17				
10	0,28	0,24	0,19	0,16	0,25	0,22	0,18	0,15				
15	0,22	0,20	0,16	0,14	0,20	0,18	0,15	0,13				
≥ 20	0,19	0,17	0,14	0,12	0,17	0,16	0,13	0,12				

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

En la *Tabla 23* se deben tener en cuenta los siguientes aspectos,

- Para pavimentos con z menor o igual a 0.5m y resistencia térmica inferior a $0.5 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$, el valor de su coeficiente de transmisión térmica corresponde a $1.15 * U_{(R_f=0.5)}$.
- Para pavimentos con z mayor que 0.5m y resistencia térmica inferior a $0.5 \text{ m}^2 \cdot \text{°C}/\text{W}$, el valor de su coeficiente de transmisión térmica corresponde a $1.10 * U_{(R_f=0.5)}$.

Tabla 24. Coeficiente de transmisión térmica de pavimentos en contacto con el terreno con aislamiento térmico perimetral horizontal U_{bf} . Fuente Despacho D15793K – Tabela 04

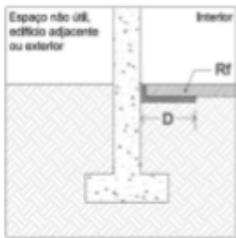
B'	$D = 0,5 \text{ m}$					$D = 1,0 \text{ m}$					$D = 1,5 \text{ m}$					
	$R_f \text{ [(m}^2 \cdot \text{°C)/W]}$					$R_f \text{ [(m}^2 \cdot \text{°C)/W]}$					$R_f \text{ [(m}^2 \cdot \text{°C)/W]}$					
	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3	
3	0,86	0,60	0,46	0,29	0,21	0,79	0,57	0,44	0,29	0,20	0,75	0,55	0,42	0,28	0,20	
4	0,74	0,54	0,42	0,29	0,21	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,66	0,50	0,40	0,28	0,20	
6	0,59	0,45	0,36	0,26	0,20	0,55	0,43	0,36	0,26	0,20	0,53	0,42	0,35	0,26	0,20	
10	0,42	0,34	0,28	0,22	0,18	0,40	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,32	0,27	0,21	0,18	
15	0,32	0,26	0,23	0,18	0,15	0,30	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15	
20	0,26	0,21	0,19	0,15	0,13	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,24	0,21	0,18	0,15	0,13	

Tabla 25. Coeficiente de transmisión térmica de pavimentos en contacto con el terreno con aislamiento perimetral vertical U_{bf} . Fuente: Despacho D15793K – Tabela 05

B'	$D = 0,5 \text{ m}$					$D = 1,0 \text{ m}$					$D = 1,5 \text{ m}$					
	$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					$R_f \text{ (m}^2 \cdot \text{°C)/W}$					
	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3	0	0,5	1	2	≥ 3	
3	0,79	0,57	0,44	0,29	0,20	0,72	0,53	0,41	0,27	0,20	0,68	0,50	0,39	0,26	0,19	
4	0,69	0,52	0,41	0,28	0,21	0,63	0,49	0,39	0,27	0,20	0,60	0,47	0,38	0,26	0,20	
6	0,55	0,43	0,36	0,26	0,20	0,51	0,41	0,34	0,25	0,20	0,49	0,40	0,33	0,25	0,19	
10	0,40	0,33	0,28	0,22	0,18	0,38	0,31	0,27	0,21	0,17	0,36	0,31	0,27	0,21	0,17	
15	0,30	0,25	0,22	0,18	0,15	0,29	0,25	0,22	0,18	0,15	0,28	0,24	0,21	0,17	0,15	
20	0,24	0,21	0,19	0,15	0,13	0,23	0,20	0,18	0,15	0,13	0,23	0,20	0,18	0,15	0,13	

Para la *Tabla 24* y la *Tabla 25*,

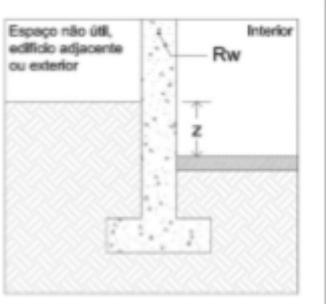
- Para efecto de aplicación, se considera como espesor mínimo de aislamiento el valor de 30mm.

El valor del coeficiente de transmisión térmica de paredes en contacto con el suelo U_{bw} , se determina en función de la resistencia térmica de la pared sin resistencias térmicas superficiales, R_w , y de la profundidad media enterrada de la pared en contacto con el suelo

z. Para ello la Tabla 26,

Tabla 26. Coeficiente de transmisión térmica de paredes en contacto con el terreno, U_{bw} . Fuente: Despacho D15793K – Tabela 06.

Z [m]	R_w (m ² ·°C)/W					
	0	0,5	1	1,5	2	≥3
0	5,62	1,43	0,82	0,57	0,44	0,30
0,5	2,77	1,10	0,70	0,51	0,40	0,28
1	1,97	0,91	0,61	0,46	0,36	0,26
2	1,32	0,70	0,50	0,38	0,31	0,23
4	0,84	0,50	0,38	0,30	0,25	0,19
≥ 6	0,64	0,39	0,31	0,25	0,21	0,17



4.7.3 El valor del coeficiente de transmisión térmica de **Elementos con Vidrio**, U_w , se obtiene según el Despacho D15793K, su valor depende de los elementos que lo componen, de las propiedades térmicas del vidrio y del marco, ligación de estos, así como la propia geometría y tipología del vano, en casos en que los fabricantes de los materiales brinden el valor de este coeficiente, también puede ser utilizado. Se debe tener en cuenta en el cálculo cualquier tipo de dispositivo de protección solar o de oclusión nocturna, a través del coeficiente de transmisión térmica medio día – noche, U_{wdn} , según la norma EN ISO 10077-1, este valor corresponde a la media de transmisión térmica de un elemento con vidrio con protección abierta y cerrada, las cuales son las posiciones típicas durante el día y la noche.

4.8 Coeficiente de transmisión térmica lineal

Para el cálculo de este coeficiente, se utiliza la Tabla 27 (Diário da República, Despacho, 2013).

Tabla 27. Valores por defecto para los coeficientes de transmisión térmica lineal ψ . Fuente: Despacho D15793K –

Tabela 07

Tipo de ligação		Sistema de isolamento das paredes		
		Isolamento interior	Isolamento exterior	Isolamento repartido ou na caixa de ar de parede dupla
Fachada com pavimentos térreos		0,80	0,70	0,80
Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido	Isolamento sob o pavimento	0,75	0,55	0,75
	Isolamento sobre o pavimento	0,10	0,50	0,35
Fachada com pavimento de nível intermédio ⁽¹⁾		0,60	0,15 ⁽²⁾	0,50 ⁽³⁾
Fachada com varanda ⁽¹⁾		0,60	0,60	0,55
Fachada com cobertura	Isolamento sob a laje de cobertura	0,10 ⁽⁴⁾	0,70	0,60
	Isolamento sobre a laje de cobertura	1,0	0,80	1,0
Duas paredes verticais em ângulo saliente		0,10	0,40	0,50
Fachada com caixilharia	O isolante térmico da parede contacta com a caixilharia	0,10	0,10	0,10
	O isolante térmico da parede não contacta com a caixilharia	0,25	0,25	0,25
Zona da caixa de estores		0,30	0,30	0,30

⁽¹⁾ Los valores que presentan en la Tabla 27, representan la mitad de la pérdida original en las uniones

⁽²⁾ ⁽³⁾ ⁽⁴⁾ Se mayoran cuando existe un techo falso, ⁽²⁾ 25% ⁽³⁾ 50% ⁽⁴⁾ 70%

No se analizan los puentes térmicos en paredes de división que interceptan paredes, cubiertas y pavimentos en contacto con el exterior o con espacios no útiles, y en paredes interiores que separan un espacio interior útil de un espacio no útil o de un edificio adyacente, desde que $b_{tr} \leq 0.7$.

4.9 Coeficiente de absorción de la radiación solar

El valor del coeficiente de absorción de la radiación solar de la superficie exterior de un elemento opaco a , necesario para el cálculo de las ganancias solares en la estación de

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

enfriamiento en paredes y cubiertas, se calcula en función del color de revestimiento de la superficie exterior del elemento Tabla 28, haciendo posible la aplicación de las normativas a Colombia sin ninguna intervención o modificación, entonces,

Tabla 28. Coeficiente de absorción de la radiación solar, a . Fuente: Despacho D15793K – Tabela 08

Cor	a
Clara (branco, creme, amarelo, laranja, vermelho-claro)	0,4
Média (vermelho-escuro, verde-claro, azul claro)	0,5
Escura (castanho, verde-escuro, azul-vivo, azul-escuro)	0,8

Si se tienen sistemas ventilados en paredes y para el cálculo del coeficiente absorción, de ser tenido en cuenta el factor que explique el efecto de la emisividad de las caras interiores del revestimiento y del grado de ventilación de la caja de aire, para esto se tiene Tabla 29,

Tabla 29. Razón entre el valor del coeficiente de absorción a considerar en el cálculo de las ganancias de calor a través de una fachada ventilada y el valor del coeficiente de absorción del parámetro exterior de la fachada. Fuente:

Despacho 15793K – Tabela 09

Elemento	Fator
Face interior do revestimento exterior de baixa emissividade e/ou caixa de ar fortemente ventilada	0,10
Outros casos	0,25

Siendo el caso de cubiertas en áticos y para el cálculo del coeficiente de la Tabla 28, debe ser tenido en cuenta el factor que explique el efecto de la emisividad de la cara interior de estas y del grado de ventilación del ático, con el factor de la Tabla 30,

Tabla 30 Razón entre el valor del coeficiente de absorción a considerar en el cálculo de las ganancias de calor a través de una cubierta en ático y el valor del coeficiente de absorción de la cubierta exterior. Desvão = Ático;

Fuente: Despacho 15793K – Tabela 10

Desvão	Emissividade	Fator
Fortemente ventilado	Normal	0,8
	Baixa	0,7
Fracamente ventilado	Normal	1,0
	Baixa	0,9
Não ventilado	Normal	1
	Baixa	

4.10 Factor de utilización de ganancias

Tanto en la situación de calentamiento y en la de enfriamiento. Los respectivos factores de utilización de las ganancias térmicas η_i y η_v se calculan de acuerdo con las siguientes ecuaciones (Diário da República, Despacho, 2013):

$$\eta = \begin{cases} \frac{1-\gamma^a}{1-\gamma^{a+1}} \rightarrow \gamma \neq 1 \text{ y } \gamma > 0 \\ \frac{a}{a+1} \rightarrow \gamma = 1 \\ \frac{1}{\gamma} \rightarrow \gamma < 0 \end{cases} \quad (60)$$

En que,

$$\gamma = \frac{Q_g}{Q_{tr}+Q_{ve}} \quad (61)$$

Q_{tr} : Transferencia de calor por transmisión a través de la envolvente de los edificios, [kWh]

Q_{ve} : Transferencia de calor por ventilación, [kWh]

Q_g : Ganancias térmicas brutas, [kWh]

a : Parámetro que representa la influencia de la clase de inercia térmica, siendo 1.8 [W/°C] para edificios con inercia térmica débil, 2.6 [W/°C] para edificios con inercia térmica media y 4.2 [W/°C] para edificios con inercia térmica fuerte.

4.11 Cálculo de la inercia térmica

La inercia térmica es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía recibida e ir liberándola progresivamente, disminuyendo de esta forma la necesidad de aportación de climatización. La capacidad de almacenar energía de un material depende de su masa, su densidad y su calor específico. Edificios de gran inercia térmica tienen variaciones térmicas más estables ya que el calor acumulado durante el día se libera en el periodo nocturno, esto quiere decir que a mayor inercia térmica mayor estabilidad térmica, como se muestra en la Figura 9, (INTERCOM, 2018).

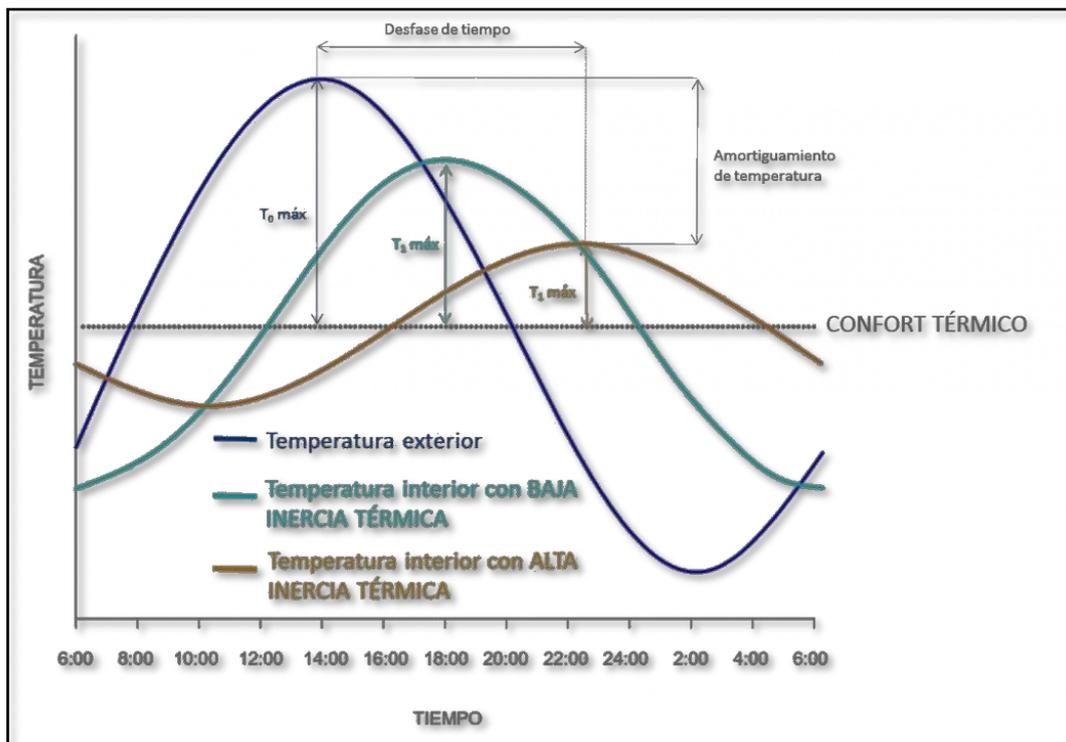


Figura 9. Dinámica de la temperatura para inercia térmica alta y baja. Fuente: www.mundolignia.com

La clase de inercia térmica, Tabla 32, del edificio o fracción se determina de acuerdo con el valor de masa superficial útil por superficie de área de pavimento, I_t , y se calcula a través de la siguiente expresión (Diário da República, Despacho, 2013),

$$I_t = \frac{\sum_i M S_i \cdot r \cdot S_i}{A_p} \quad \left[\frac{kg}{m^2} \right] \quad (62)$$

Donde,

M_{s_i} : Masa superficial útil del elemento i , [kg/m^2]

r : Factor de reducción de la masa superficial útil

S_i : Área de la superficie interior del elemento i , [m^2]

A_p : Área interior útil de pavimento, [m^2]

Tabla 31. Clases de inercia térmica interior, I_t . Fuente: Despacho D15793K – Tabela 11

Clase de inercia térmica	I_t [kg/m^2]
Fraca	$I_t < 150$
Média	$150 \leq I_t \leq 400$
Forte	$I_t > 400$

4.11.1 La inercia térmica interior es función de la capacidad de almacenamiento de la energía en una fracción y esta depende de la masa superficial útil de cada uno de los elementos de la construcción, M_{s_i} , en kg/m^2 , es función de la localización en el edificio y de la constitución, también del posicionamiento y del aislamiento térmico y de las características de las soluciones de revestimiento superficial, la Figura 10, muestra los elementos constructivos a tener en cuenta para el cálculo de este parámetro (Diário da República, Despacho, 2013),

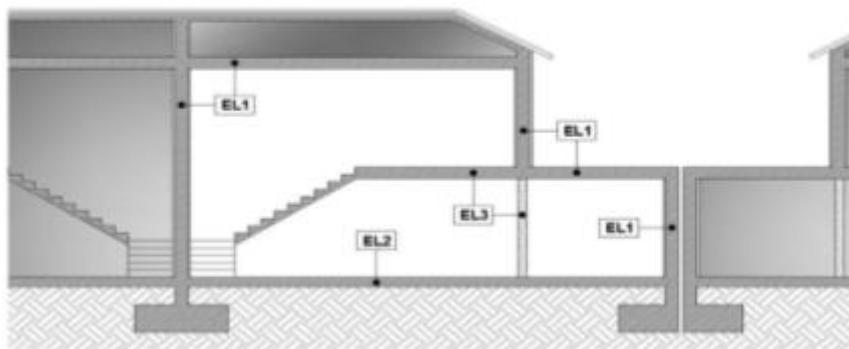


Figura 10. Identificación de los elementos constructivos para el cálculo de la inercia térmica interior.

- ❖ EL1 – Elementos de la envolvente exterior o de la envolvente interior, o elementos de construcción en contacto con otra fracción autónoma o con un edificio adyacente.
- ❖ EL2 – Elementos en contacto con el suelo.
- ❖ EL3 – Elementos de división interior de la fracción autónoma.

Para el caso de elementos de la envolvente exterior e interior, o elementos de construcción

en contacto con otra fracción autónoma o con edificio adyacente (EL1), el valor de M_{si} , nunca puede ser mayor a 150 kg/m^2 , entonces,

❖ Para paredes sin aislamiento térmico y de cubiertas o esteras pesadas de ático de cubiertas inclinadas. Si no existe caja de aire, $M_{si} = m_t / 2$, donde m_t , corresponde a la masa total del elemento. Si tiene caja de aire, $M_{si} = m_{pi}$, donde m_{pi} , corresponde a la masa del elemento desde la caja de aire hasta la cara interior

❖ Para todos los elementos con una capa de aislamiento térmico, $M_{si} = m_i$, en que m_i es la masa del elemento desde el aislamiento térmico hasta la cara interior con excepción de las situaciones en que exista una caja de aire entre el aislamiento térmico y la cara interior, donde m_i , corresponderá a la masa del elemento desde la caja de aire hasta la cara interior

En el caso de elementos en contacto con el suelo (EL2), el valor de M_{si} nunca podrá ser superior a 150 kg/m^2 , siendo que,

- ❖ En el caso de elementos sin aislamiento térmico, M_{si} corresponderá a 150 kg/m^2
- ❖ En el caso de elementos con una capa de aislamiento térmico, $M_{si} = m_i$, donde m_i corresponderá a la masa del elemento desde el aislamiento térmico hasta la cara interior.

En el caso de elemento de comportamiento interior de la fracción autónoma, incluyendo pared o pavimento (EL3), el valor de M_{si} nunca podrá ser superior a 300 kg/m^2 , siendo que:

- ❖ En los casos de elemento sin aislamiento térmico, $M_{si} = m_t$, donde m_t corresponderá a la masa total del elemento.
- ❖ En el caso de elementos con una capa de aislamiento térmico, el valor de M_{si} tiene que ser evaluado de forma aislada en cada uno de los lados de la capa de aislamiento térmico, siendo que en cada uno de los lados $M_{si} = m_i$, donde m_i corresponderá a la masa del elemento desde el aislamiento térmico hasta la cara en análisis.

4.11.2 El factor de reducción de masa superficial, r , depende de la resistencia térmica del revestimiento superficial interior, con inclusión de la resistencia térmica de una eventual caja de aire asociada, R , considerándose la aplicación de las siguientes expresiones,

- ❖ Para elemento tipo EL1 y EL2

$$r = \begin{cases} 0, & R > 0.3 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \\ 0.5, & 0.14 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \leq R \leq 0.3 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \\ 1, & R < 0.14 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \end{cases} \quad (63)$$

❖ Para elemento tipo EL3

$$r = \begin{cases} 0, & R > 0.3 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \text{ en ambas caras.} \\ 0.25, & R > 0.3 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \text{ en una cara y } 0.14 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \leq R \leq 0.3 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \text{ en la otra.} \\ 0.5, & R > 0.3 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \text{ en una cara y } R < 0.14 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \text{ en la otra.} \\ 0.5, & 0.14 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \leq R \leq 0.3 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \text{ en ambas caras.} \\ 0.75, & 0.14 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \leq R \leq 0.3 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \text{ en una cara y } R < 0.14 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \text{ en la otra.} \\ 1, & R < 0.14 \left[m^2 * \frac{C}{W} \right] \text{ en ambas caras} \end{cases} \quad (64)$$

En el caso de elementos del tipo EL3 con aislamiento térmico, el factor de reducción, r , debe ser evaluado en cada una de las caras de forma independiente y de acuerdo con las reglas indicadas para los elementos de los tipos EL1 y EL2, así M_{Si} , será calculado para cada uno de los lados de la capa de aislamiento térmico correspondiente, así:

$$M_{Si} = M_{Si1} * r_1 + M_{Si2} * r_2 \quad (65)$$

Para la Figura 11, donde r_1 y r_2 son determinados de acuerdo con la Fórmula 63, para tipos EL1 y EL2.

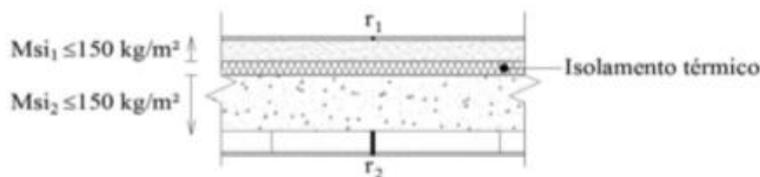


Figura 11. EL3 con aislamiento térmico. Fuente: Despacho D15793K – Figura 02.02

4.12 Factor solar de vanos con vidrio

Para efecto de las ganancias térmicas por los vanos con vidrio en las diferentes situaciones, calentamiento y enfriamiento, se puede considerar una incidencia de la radiación solar normal a la superficie del vano, corregida por un factor que representa la variación de la incidencia de la radiación solar, F_w , El factor solar del vidrio aplicado en el vano con vidrio, para una incidencia solar normal a la superficie, $g_{\perp, vi}$, debe ser entregado por el fabricante (Diário da República, Despacho, 2013). En la Tabla 32 algunos ejemplos del factor solar según la composición y configuración del vidrio.

Tabla 32. Factor solar del vidrio para una incidencia solar normal al vano. Fuente: Despacho D15793K – Tabela 12

Composição do vidro		$g_{\perp, vi}$
Vidro Simples	Incolor 4mm	0,88
	Incolor 5mm	0,87
	Incolor 6mm	0,85
	Incolor 8mm	0,82
	Colorido na massa 4mm	0,70
	Colorido na massa 5mm	0,65
	Colorido na massa 6mm	0,60
	Colorido na massa 8mm	0,50
	Refletante Incolor 4 a 8mm	0,60
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm	0,50
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm	0,45
	Fosco	(1)
Vidro Duplo (ext + int)	Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 mm	0,78
	Incolor 4 a 8mm + Incolor 5 mm	0,75
	Colorido na massa 4mm + Incolor 4 a 8 mm	0,60
	Colorido na massa 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,55
	Colorido na massa 6mm + Incolor 4 a 8 mm	0,50
	Colorido na massa 8mm Incolor 4 a 8 mm	0,45
	Refletante Incolor 4 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,52
	Refletante colorido na massa 4 a 5mm + Incolor 4 a 8 mm	0,40
	Refletante colorido na massa 6 a 8mm + Incolor 4 a 8 mm	0,35
	Tijolo de Vidro	0,57
	Fosco	(1)

Los valores del factor solar de vanos con vidrio corriente y dispositivos de protección solar, permanente, o móvil totalmente activado $g_{T,vc}$, para vidrios simples o dobles, se encuentran en la Tabla 33, el color se define con el mismo criterio de la Tabla 28.

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

Tabla 33. Valores Corrientes del factor solar en vanos con vidrio corriente y dispositivos de protección solar. Fuente Despacho D15793K – Tabela 13

Tipo de Proteção		g_{Tvc}					
		Vidro Simples			Vidros Duplos		
		Clara	Média	Escura	Clara	Média	Escura
Proteções exteriores	Portada de madeira	0,04	0,07	0,09	0,03	0,05	0,06
	Persiana de réguas de madeira	0,05	0,08	0,10	0,04	0,05	0,07
Proteções exteriores	Persiana de réguas metálicas ou plásticas	0,07	0,10	0,13	0,04	0,07	0,09
	Estore veneziano de lâminas de madeira	-	0,11	-	-	0,08	-
	Estore veneziano de lâminas metálicas	-	0,14	-	-	0,09	-
	Lona opaca	0,07	0,09	0,12	0,04	0,06	0,08
	Lona pouco transparente	0,14	0,17	0,19	0,10	0,12	0,14
	Lona muito transparente	0,21	0,23	0,25	0,16	0,18	0,2
	Proteções interiores	Estores de lâminas	0,45	0,56	0,65	0,47	0,59
	Cortinas opacas	0,33	0,44	0,54	0,37	0,46	0,55
	Cortinas ligeiramente transparentes	0,36	0,46	0,56	0,38	0,47	0,56
	Cortinas transparentes	0,38	0,48	0,58	0,39	0,48	0,58
	Cortinas muito transparentes	0,70	-	-	0,63	-	-
	Portadas opacas	0,30	0,40	0,50	0,35	0,46	0,58
	Persianas	0,35	0,45	0,57	0,40	0,55	0,65
	Proteção entre dois vidros: estore veneziano, lâminas delgadas	-	-	-	0,28	0,34	0,40

El factor solar global, de un vano con vidrio, con las protecciones solares totalmente activadas, se calcula así,

❖ Para vidrios simples

$$g_T = g_{\perp, vi} * \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,85} \quad (66)$$

❖ Para vidrios dobles

$$g_T = g_{\perp, vi} * \prod_i \frac{g_{Tvc}}{0,75} \quad (67)$$

En que,

g_{Tvc} : Factor solar del vano con vidrio corriente y un dispositivo de protección solar, permanente, o móvil totalmente activado, para una incidencia solar normal a la superficie del vidrio según la Tabla 33

$g_{\perp, vi}$: Factor solar del vidrio para una incidencia solar normal a la superficie del vidrio según información del fabricante.

4.12.1 Para el cálculo del factor solar de vanos con vidrios en la estación de calentamiento, se considera que, para maximizar el aprovechamiento de la radiación solar, los dispositivos de protección solar móviles están totalmente abiertos, así se puede suponer que el factor solar g_i es igual al factor solar global del vidrio con todos los dispositivos de protección permanentes existentes $g_i = g_{Tp}$ que, en el caso de ausencia de esos dispositivos, será igual al factor solar del vidrio para una incidencia solar normal multiplicado por el factor de selectividad angular, mediante la expresión (Diário da República, Despacho, 2013),

$$g_i = F_{w,i} * g_{\perp,vi} \quad (68)$$

4.12.2 Para el cálculo del factor solar de vanos con vidrios en la estación de enfriamiento, se considera que, para minimizar la incidencia de radiación solar, los dispositivos de protección solar móviles se encuentran activos una fracción del tiempo que depende del octante en el cual el vano está orientado.

$$g_v = F_{mv} * g_T + (1 - F_{mv}) * g_{Tp} \quad (69)$$

En que,

F_{mv} : Fracción de tiempo en que los dispositivos de protección solar móviles se encuentran totalmente activados Tabla 34.

g_T : Factor solar global del vano con vidrio, con todos los dispositivos de protección solar, permanentes, o móviles totalmente activados.

g_{Tp} : Factor solar global del vidrio con todos los dispositivos de protección solar permanentes existentes.

Tabla 34. Fracción de tiempo en que los dispositivos móviles se encuentran activados. Fuente: Despacho D15793K –

Tabela 14

Orientação do vão	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W	H
F_{mp}	0	0,4	0,6	0,7	0,6	0,9

4.13 Factor de obstrucción de la radiación solar

Las obstrucciones a la radiación solar dependen de los obstáculos físicos que encuentra en su trayectoria, ya sea topográficos (montañas, árboles) o construidos por el hombre. Se constituyen así en un factor importantísimo en la estrategia del diseño solar de una vivienda pues determinan hasta qué punto es posible aprovechar el sol como fuente de energía o como deberían ser ubicadas las protecciones para evitar un asoleamiento excesivo. (Gallegos, 2002).

Un ejemplo de protecciones solares para las ventanas se presenta en la Figura 12.



Figura 12. Protecciones solares fijas para ventanas orientadas al sur. Fuente: alhaurindelatorre.es

El factor de obstrucción en los vanos con vidrio, F_s , representa la reducción en la radiación solar que incide en estos debido a la sombra permanente causada por diferentes obstáculos, ya sean exteriores al edificio (otros edificios, vegetación) o propios elementos del edificio (otros cuerpos, viseras, balcones y elementos exteriores del vano externos a la carpintería), el factor de obstrucción se calcula así (Diário da República, Despacho, 2013):

$$F_s = F_h * F_o * F_f \quad (70)$$

En que,

F_h : Factor de sombra del horizonte por obstrucciones exteriores al edificio o por otros elementos del edificio;

F_o : Factor de sombra por elementos horizontales suprayacentes al vidrio, comprendiendo viseras y balcones;

F_f : Factor de sombra por elementos verticales adyacentes al vidrio, comprendiendo viseras verticales, otros cuerpos o partes del edificio.

El uso de este factor en la normativa portugués es opcional en donde nunca puedes ser menor a 0.27 y dado el caso de no tenerse en cuenta se debe suponer con un valor de 1, siguiendo los lineamientos del, (Diário da República, Despacho, 2013), para uso del presente trabajo el valor de F_h , se supone 1 por no tener información precisa de posibles estructuras que obstruyan los vidrios de la estructura, para F_o y F_f , serán calculados mediante las Tablas 37, 38, 39 y 40, utilizando los valores desarrollados para la Región Autónoma de Madeira ya que es la región más al Sur del país.

4.13.1 El factor de sombra del horizonte por obstrucciones, F_h , representa el efecto de sombra que generan obstrucciones distantes exteriores al edificio o también, edificios vecinos dependiendo del ángulo del horizonte, latitud, orientación, clima local y de la duración de la estación de calentamiento, en casos que se presenten necesidades de cálculo en la estación de enfriamiento este factor tendrá un valor igual a 1. El ángulo del

horizonte ya mencionado es definido como el ángulo entre el plano horizontal y la recta que pasa por el centro del vidrio y el punto más alto de la mayor obstrucción existente, Figura 13 (Diário da República, Despacho, 2013).

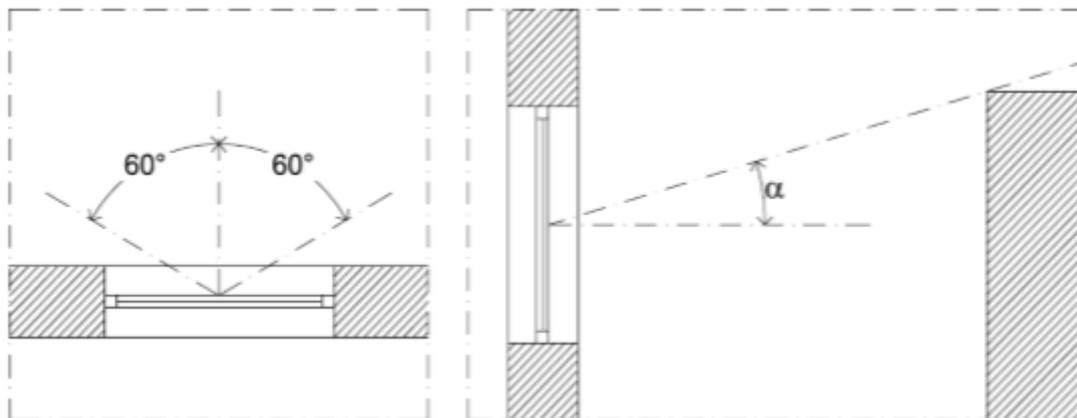


Figura 13. Ángulo del horizonte. Fuente: Despacho D15793K – Figura 02.03

Este ángulo se calcula para cada uno de los vidrios existentes en la estructura, sin embargo, en casos en donde no se tenga la información necesaria para su análisis, se supondrá un valor de 45° para estructuras en ambiente urbano y 20° para estructuras en zonas rurales (Diário da República, Despacho, 2013).

Los valores de F_h , F_f , F_o , dependen de las Tabla 35, Tabla 36, Tabla 37, Tabla 38y Tabla 39, que dan el valor en función del ángulo de horizonte y la orientación de la ventada hacia los puntos cardinales y/o colaterales, en nuestro caso, para Colombia no existen estudios, que analicen directamente este factor, por ello, con el fin de mostrar el funcionamiento de la metodología se optó por la utilización de los mismos valores de la norma portuguesa, aclarando que para aplicación de estructuras reales es necesario un análisis completo de la radiación y sus factores de sombre en Colombia.

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

Tabla 35. Valor del factor de sombra del horizonte en la estación de calentamiento. Fuente: Despacho D15793K

Tabela 15

Ângulo do horizonte	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°						RAM Latitude de 33°					
	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	H	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10°	0,99	1	0,96	0,94	0,96	0,97	1	1	0,96	0,96	0,97	0,98
20°	0,95	1	0,96	0,84	0,88	0,90	0,96	1	0,91	0,87	0,90	0,93
30°	0,82	1	0,85	0,71	0,68	0,67	0,88	1	0,85	0,75	0,77	0,80
40°	0,67	1	0,81	0,61	0,52	0,50	0,71	1	0,81	0,64	0,59	0,58
45°	0,62	1	0,80	0,58	0,48	0,45	0,64	1	0,80	0,60	0,53	0,51

Tabla 36. Valores de los factores de sombra de elementos horizontales Fo en la estación de calentamiento. Fuente:

Despacho D15793K Tabela 16

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	1	0,94	0,84	0,76	0,73	1	0,92	0,82	0,68	0,45
45°	1	0,90	0,74	0,63	0,59	1	0,88	0,72	0,60	0,56
60°	1	0,85	0,64	0,49	0,44	1	0,83	0,62	0,48	0,43

Tabla 37. Valores de los factores de sombra de elementos horizontales Fo en la estación de enfriamiento. Fuente:

Despacho D15793K Tabela 17

Ângulo da pala horizontal	Portugal Continental e RAA Latitude de 39°					RAM Latitude de 33°				
	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S	N	NE/ NW	E/W	SE/ SW	S
0°	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
30°	0,98	0,86	0,75	0,68	0,63	0,97	0,84	0,74	0,69	0,68
45°	0,97	0,78	0,64	0,57	0,55	0,95	0,76	0,63	0,60	0,62
60°	0,94	0,70	0,55	0,50	0,52	0,92	0,68	0,55	0,54	0,60

Tabla 38. Valores de los factores de sombra de elementos verticales Ff en la estación de calentamiento. Fuente:

Despacho D15793K Tabela 18

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	1	0,97	0,93	0,91	0,87	0,89
	45°	1	1	1	0,95	0,88	0,86	0,8	0,84
	60°	1	1	1	0,91	0,83	0,79	0,72	0,8
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,89	0,87	0,91	0,93	0,97	1	1
	45°	1	0,84	0,8	0,86	0,88	0,95	1	1
	60°	1	0,8	0,72	0,79	0,83	0,91	1	1

Tabla 39. Valores de los factores de sombra de elementos verticales F_f en la estación de enfriamiento. Fuente:

Despacho D15793K Tabela 19

Posição da pala	Ângulo	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
Pala à esquerda	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	1	0,96	0,91	0,91	0,96	0,95	0,86
	45°	1	1	0,96	0,85	0,87	0,95	0,93	0,78
	60°	1	1	0,95	0,77	0,84	0,93	0,88	0,69
Pala à direita	0°	1	1	1	1	1	1	1	1
	30°	1	0,86	0,95	0,96	0,91	0,91	0,96	1
	45°	1	0,78	0,93	0,95	0,87	0,85	0,96	1
	60°	1	0,69	0,88	0,93	0,84	0,77	0,95	1

4.14 Fracción con vidrios

Para los vanos con vidrio es necesaria la inclusión de los marcos que rodean el vidrio, ya que claramente hacen parte y afectan a la absorción de radiación solar, dependiendo de su composición. Para esto se utiliza la Tabla 40.

Tabla 40. Fracción con vidrios. Fuente: Despacho D15793K – Tabela 20

Caixilharia	F_g	
	Sem quadrícula	Com quadrícula
Alumínio ou aço	0,70	0,60
Madeira ou PVC	0,65	0,57
Fachada-cortina de alumínio ou aço	0,90	-

4.15 Factor de corrección de la selectividad angular en vidrios

El factor de corrección de la selectividad angular de los vidrios, F_w , traduce a reducción

de las ganancias solares causada por la variación de las propiedades del vidrio con el ángulo de incidencia de la radiación solar directa, en lugares con necesidades de calentamiento este valor será $F_{w,i} = 0.9$.

La inflexión de la radiación solar sobre los vidrios depende de la orientación de las ventanas, en este caso es necesario aplicar el factor de corrección de la selectividad angular y así ajustar la absorción de la energía según la ubicación de las ventanas, para ello se utilizaron valores de la normativa portuguesa, mostrados en la Tabla 41.

Tabla 41. Factor de corrección de la selectividad angular de los vidrios en la estación de enfriamiento, $F_{w,v}$. Fuente: Despacho D15793K – Tabela 21

Orientação do vão	$F_{w,v}$				
	N	NE/NW	S	SE/SW	E/W
Vidro plano simples	0,85	0,90	0,80	0,90	0,90
Vidro plano duplo	0,80	0,85	0,75	0,85	0,85

4.16 Coeficiente de reducción de pérdidas

El cálculo de las pérdidas de calor por transmisión en elementos que separan el espacio con condiciones de referencia de espacios con temperatura ambiente diferente del aire exterior, como es el caso de los elementos de la envolvente interior, será afectado por el coeficiente de reducción de pérdidas b_{tr} , que representa la reducción de la transmisión de calor, (Diário da República, Despacho, 2013).

La siguiente es una metodología simplificada basada en la EN ISO 13789 para el cálculo de este coeficiente en función del volumen del espacio NO útil, la ventilación de este (f cuando son espacio poco ventilados y F cuando son espacios ventilados) y una relación entre el área de los elementos que separan el espacio NO útil del interior y del exterior, Tabla 42.

Tabla 42. Valores del coeficiente de reducción de pérdidas. Fuente: Despacho 15793K – Tabela – 22

b_{tr}	$V_{enu} \leq 50m^3$		$50m^3 < V_{enu} \leq 200m^3$		$V_{enu} > 200m^3$	
	f	F	f	F	f	F
$A_i/A_u < 0,5$	1,0		1,0		1,0	
$0,5 \leq A_i/A_u < 1$	0,7	0,9	0,8	1,0	0,9	1,0
$1 \leq A_i/A_u < 2$	0,6	0,8	0,7	0,9	0,8	1,0
$2 \leq A_i/A_u < 4$	0,4	0,7	0,5	0,9	0,6	0,9
$A_i/A_u \geq 4$	0,3	0,5	0,4	0,8	0,4	0,8

Siempre que el valor de este coeficiente sea superior a 0.7, se aplicaron los requisitos mínimos definidos para la envolvente exterior, al elemento que separa el espacio interior útil del NO útil, siendo entonces clasificado como envolvente interior con requisitos de exterior. Cuando el valor es menor o igual a 0.7, se aplican los requisitos mínimos definidos para la envolvente interior, al elemento que separa el espacio interior útil del NO útil, siendo entonces clasificado como envolvente interior con requisitos de interior. (Diário da República, Despacho, 2013)

4.17 Tasa de renovación del aire

Para solucionar los problemas relaciones con la renovación de aire en los edificios, se debe asegurar que la fracción está dotada de medios que permitan una renovación general del aire, especialmente en las ciudades frías donde las ventanas tienden a permanecer cerradas, también asegurar que la permeabilidad al aire de la envolvente es reducida y que no permite infiltraciones excesivas de aire, además valorizar adecuadamente los consumos de energía y la eficiencia de los sistemas mecánicos, si se cuenta con ellos, es preciso garantizar que las entradas de aire no van a causar des confort térmico ni acústico.

Según la normativa REH, en los edificios nuevos se debe asegurar un caudal mínimo de aire de $0.4h^{-1}$ para mantener la calidad del aire interior, se pretende incentivar soluciones de ventilación con caudal entre 0.4 y $0.6 h^{-1}$.

4.17.1 Aun así, se utilizó una metodología de cálculo en función del caudal de aire que se filtra a través de las ventanas, rejillas de ventilación, conductos y ventiladores; siendo la tasa de renovación de aire la suma de los caudales de aire admitidos en el edificio dividida por el volumen ingeniero útil del edificio.

$$R_{ph} = \frac{q_{adm}}{Vol} [h^{-1}] \quad (71)$$

4.17.1.1 Para efectos del cálculo de los caudales de aire que se admiten en la fracción, se necesita conocer el efecto de la impulsión térmica del aire, así,

$$\Delta P = \rho * g * H * \left(1 - \frac{273.15 + \theta_{ext,i}}{273.15 + \theta_{ref,i}}\right) [Pa] \quad (72)$$

En que,

ρ : Masa volúmica del aire exterior que toma el valor de 1.22 [kg/m³]

g : Aceleración de la gravedad, 9.8 [m/s²]

H : Diferencia de cotas entre aberturas, [m]

$\theta_{ext,i}$: Temperatura exterior media mensual del mes más frío

$\theta_{ref,i}$: Temperatura de referencia mínima de confort en la estación de calentamiento, igual a 18°C.

4.17.1.2 El caudal de aire que filtra la envolvente a través de las ventanas está ligado a la clase de la ventana, en Europa las ventanas tienen una clasificación en función de la fuga de aire por superficie total, según (Extrual, 2018), mediante ensayos de laboratorio basados en la norma UNE-EN-1026, se pudo determinar la Tabla 43,

Tabla 43. Fuga de aire por superficie total. Fuente: www.extrual.com

Clase	Permeabilidad al aire a 100 Pa (m ³ /h·m ²)	Presión máxima de ensayo (Pa - km/h)
0	Sin ensayar	Sin ensayar
1	≤ 50	150 - 55 km/h
2	≤ 27	300 - 78 km/h
3	≤ 9	600 - 110 km/h
4	≤ 3	600 - 110 km/h

Entonces, el caudal del aire que atraviesa las ventanas se expresa mediante la siguiente fórmula,

$$q_v = W * \left(\frac{\Delta P}{100}\right)^{0.67} * A_{vanos} \left[\frac{m^3}{h}\right] \quad (73)$$

En que,

A_{vanos} : Área total de los vanos, [m²]

W : Este coeficiente en función de la clase de la ventana así, Tabla 44,

Tabla 44. Coeficiente W en función de la clase de ventana o puerta..

CLASE VENTANA	W
0	100
1	50
2	27
3	9
4	3

4.17.1.3 En las aberturas de admisión de aire en la envolvente exterior, se puede encontrar buena cantidad de caudal para la renovación del aire interior, la Fórmula 74 expresa este valor en función del área de las rejillas,

$$q_v = 0.281 * \Delta P^{0.5} * A \left[\frac{m^3}{h}\right] \quad (74)$$

En que,

A : es el área libre de la abertura.

4.17.1.4 Para conductos de admisión y de evacuación natural del aire, el caudal se evaluado mediante el diámetro de la conducta, así,

$$q_v = C * \Delta P^{0.5} \left[\frac{m^3}{h}\right] \quad (75)$$

En este punto, la constante C se determinó por las entidades portuguesas mediante ensayos y cálculos de las pérdidas de carga existentes en las conductas, de estos ensayos se produjo la Tabla 45 que relaciona la constante, con el diámetro y el largo del conducto.

Tabla 45. Constante de la curva característica de conductos de ventilación natural, C . Fuente: Despacho 15793K –

Tabela 26.

Perda de Carga	Conduta	Constante C
Baixa	$D \geq 200 \text{ mm} \text{ e } A_{livre}/A_{conduta} \geq 70\%$	$\frac{113}{\sqrt{2,03 + 0,14 L}}$
Média	$125 \text{ mm} \leq D < 200\text{mm} \text{ e } A_{livre}/A_{conduta} \geq 70\%$	$\frac{44,2}{\sqrt{1,93 + 0,14 L}}$
Alta	$D < 125 \text{ mm} \text{ ou } A_{livre}/A_{conduta} < 70\%$	$\frac{28,3}{\sqrt{3,46 + 0,21 L}}$
-	$A_{livre}/A_{conduta} < 10\%$	0

En que D , el diámetro de la conducta estará en milímetros y L , en metros. Para los casos en que se presenten conductos rectangulares se utilizará la Fórmula 76, para calcular el diámetro equivalente.

$$D_{eq} = 1.3 * \frac{(a*b)^{0.625}}{(a+b)^{0.25}} \quad [m] \quad (76)$$

Siendo a y b los lados del rectángulo en metros.

4.18 Factores de conversión de energía

Los factores de conversión entre energía final y energía primaria a utilizar en la determinación de las necesidades nominales anuales de energía primaria de edificios de habitación son:

- ❖ $F_{pu} = 2.5 \left[\frac{kWh_{EP}}{kWh} \right]$: Para electricidad, independientemente del origen de la energía;
- ❖ $F_{pu} = 1 \left[\frac{kWh_{EP}}{kWh} \right]$: para combustibles sólidos, líquidos y gaseosos no renovables.

4.19 Valores máximos de necesidades energéticas

El máximo valor de las necesidades nominales anuales de energía primaria corresponde a los valores de referencia tomados de, (Diário da República Portaria, 2013), siendo los valores para un edificio que se supone con consumos inexistentes de energía asociados a la ventilación mecánica y de sistemas de aprovechamiento de energía renovables.

$$N_t = \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{i,k} * N_i}{\eta_{ref,k}} \right) F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{v,k} * N_v}{\eta_{ref,k}} \right) F_{pu,j} + \sum_j \left(\sum_k \frac{f_{a,k} * Q_a / A_p}{\eta_{ref,k}} \right) F_{pu,j} \quad \left[\frac{KWh_{EP}}{m^2 * año} \right] \quad (77)$$

En que,

N_i : Valor máximo para las necesidades nominales anuales de energía útil para calentamiento

N_v : Valor máximo para las necesidades nominales anuales de energía útil para enfriamiento

Q_a : Necesidades de energía útil para preparación de AQS, suplidas por el sistema k

$f_{i,k}$: Parte de las necesidades de energía de calentamiento suplidas por el sistema de referencia k

$f_{v,k}$: Parte de las necesidades de energía de enfriamiento suplidas por el sistema de referencia k

$f_{a,k}$: Parte de las necesidades de energía de preparación de AQS suplidas por el sistema de referencia k

$\eta_{ref,k}$: Valores de referencia para el rendimiento de los diferentes tipos de sistemas técnicos utilizados o previstos para el calentamiento del ambiente, enfriamiento del ambiente y preparación de AQS

j : Fuente de energía

$F_{pu,j}$: Factor de conversión para energía primaria, del numeral 4.17.

4.19.1 El máximo valor para las necesidades nominales anuales de energía útil en la estación de calentamiento tiene la misma estructura del calculado en el numeral 4.2.1, así,

$$N_i = \frac{Q_{tr,i ref} + Q_{ve,i ref} - Q_{gu,i ref}}{A_p} \quad \left[\frac{kWh}{m^2} * año \right] \quad (78)$$

Para la Fórmula 78, el cálculo de los factores que la componen, ($Q_{tr,i ref}$, $Q_{ve,i ref}$ y $Q_{gu,i ref}$) tendrán las siguientes diferencias respecto a los mencionados en los numerales, 4.2.1.1, 4.2.1.2 y 4.2.1.3.

4.19.1.1 El valor de referencia de la transferencia de calor por transmisión a través de la envolvente, $Q_{tr,i ref}$, debe ser determinado considerando, los coeficientes de transmisión térmica superficial, para elementos opacos y con vidrio previstos en la Tabla 46 y coeficientes de transmisión térmica lineal indicados en la Tabla 47 en función de la unión entre los elementos de la envolvente del edificio, utilizando los datos aplicables a las regiones autónomas de Portugal.

Tabla 46. Coeficientes de transmisión térmica superficial de referencia de elementos opacos y de vanos con vidrio, Uref. Fuente: Portaria 349B – Tabela I01

Zona corrente da envolvente:		Com a entrada em vigor do presente regulamento			31 de dezembro de 2015		
		I1	I2	I3	I1	I2	I3
em contacto com o exterior ou com espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} > 0.7$	Elementos opacos verticais	0,80	0,65	0,50	0,80	0,60	0,45
	Elementos opacos horizontais	0,55	0,50	0,45	0,45	0,40	0,35
em contacto com outros edifícios ou espaços não úteis com coeficiente de redução de perdas $b_{tr} \leq 0.7$	Elementos opacos verticais	1,60	1,50	1,40	1,50	1,40	1,30
	Elementos opacos horizontais	1,00	0,90	0,80	0,85	0,75	0,65
Vãos envidraçados (portas e janelas) (U_w)		2,90	2,60	2,40	2,80	2,40	2,20
Elementos em contacto com o solo		0,50			0,50		

Tabla 47. Coeficientes de transmisión térmica lineal de referencia, ψ_{ref} . Fuente: Portaria 349B – Tabela I02

Tipo de ligação	ψ_{ref} [W/(m.°C)]
Fachada com pavimentos térreos Fachada com pavimento sobre o exterior ou local não aquecido Fachada com cobertura Fachada com pavimento de nível intermédio ⁽¹⁾ Fachada com varanda ⁽¹⁾	0,50
Duas paredes verticais em ângulo saliente	0,40
Fachada com caixilharia Zona da caixa de estore	0,20

4.19.1.2 El valor de referencia de la transferencia de calor por ventilación a través de la envolvente, $Q_{ve,i ref}$, debe ser determinado considerando una tasa de renovación de aire de referencia, igual a la tasa de renovación para el edificio en estudio, hasta un máximo de 0,6 renovaciones por hora

4.19.1.3 El cálculo de las ganancias de calor útiles, $Q_{gu,i ref}$, de ser determinado considerando, las ganancias térmicas asociadas al aprovechamiento de la radiación interna siguiendo la fórmula del numeral 4.2.1.3 y para las asociadas al aprovechamiento de la radiación solar así,

$$Q_{sol,i} = G_{sur} * 0.182 * 0.20 * A_p \quad (79)$$

Y para el factor de utilización de las ganancias térmicas en la estación de calentamiento usar 0.6.

4.19.2 El valor máximo para las necesidades nominales anuales de energías útil para enfriamiento de un edificio será calculado de acuerdo con la siguiente expresión,

$$N_v = (1 - \eta_{v ref}) * \frac{Q_{g,v ref}}{A_p} \left[\frac{kWh}{m^2} * año \right] \quad (80)$$

4.19.2.1 Para el cálculo del factor de utilización de ganancias de referencia se utiliza la siguiente relación, para la cual la temperatura de referencia de verano es igual 25°C,

correspondiente a la temperatura máxima de confort.

$$\eta_{v,ref} = \left\{ \begin{array}{l} 0.52 + 0.22 * \ln(\Delta\theta) \\ 0.45 \\ 0.3 \end{array} \left| \begin{array}{l} \Delta\theta > 1 \\ 0 < \Delta\theta \leq 1 \\ \Delta\theta \leq 0 \end{array} \right. \right\} \text{ y } \Delta\theta = \theta_{ref,v} - \theta_{ext,v} \quad (81)$$

Para las ganancias térmicas de referencia en la estación de enfriamiento, se utiliza la Fórmula 82,

$$\frac{Q_{g,v,ref}}{A_p} = \left[q_{int} * \frac{Lv}{1000} + g_{v,ref} * \left(\frac{A_w}{A_p} \right)_{ref} * I_{sol,ref} \right] \left[\frac{kWh}{m^2} \right] \quad (82)$$

En que,

q_{int} : Ganancias medias con el valor de 4 [W/m²]

$I_{sol,ref}$: Radiación solar media de referencia, correspondiente a la radiación incidente en una superficie orientada al Oeste.

Lv : Duración de la estación de enfriamiento, del numeral 4.4.3.

$\left(\frac{A_w}{A_p} \right)_{ref}$: Razón entre el área de vanos y el área interior útil de pavimento, que se asume 0.2.

$g_{v,ref}$: Factor solar de referencia para la estación de enfriamiento, contabilizado 0.43.

4.20 Hoja de cálculo STEEC

Como valor agregado a la investigación, se desarrolló una hoja de cálculo en Excel que permitirá de una manera más sencilla realizar la simulación energética a las unidades familiares.

La hoja de cálculo hecha es llamada STEEC, por sus siglas en español, Simulador Termo Energético de Edificios familiares de Colombia, el cual, en su versión beta contará en su base de datos con información necesaria para el análisis de una estructura ubicada cerca o a los alrededores de Bucaramanga, Bogotá D.C y Cartagena, Figura 14.

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

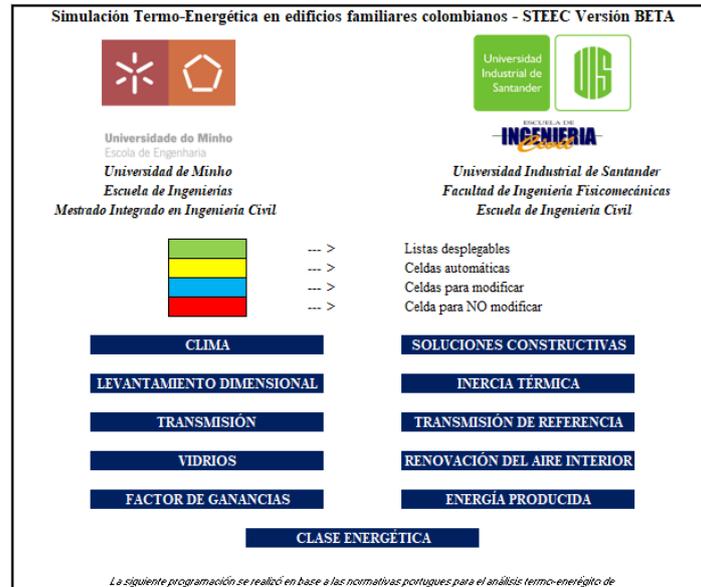


Figura 14. Interfase de STEEC.

Como se puede observar en la Figura 14, la información se organiza por pestañas en donde el usuario debe introducir información básica acerca de los elementos constructivos, la arquitectura y demás aspectos de la casa que sean precisos para el cálculo de la clasificación energética, también una sencilla tabla de convenciones que indica el tipo de celdas que se encontrarán dependiendo el color de relleno, Tabla 49,

Tabla 48. Convenciones de tipo de celdas para el uso de STEEC.

	--- >	Listas desplegables
	--- >	Celdas automáticas
	--- >	Celdas para modificar
	--- >	Celda para NO modificar

4.20.1 Clima: En la primera pestaña, se encuentra la información referente a la ubicación de la estructura, Figura 15.

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

Datos climáticos - Despacho 15793-F/2013	
<i>Ubicación</i>	Bogotá
<i>Tipología</i>	T4
<i>GD</i>	1266.00
<i>ZONA INV</i>	I1
<i>M</i>	11.96
<i>θext, i</i>	13.62
<i>Gh</i>	1533.00
<i>Gsur</i>	20.69
<i>Cota</i>	2560
<i>Latitud</i>	
<i>Longitud</i>	
<i>θext, v</i>	14.38
<i>ZONA VER</i>	V1
<i>Lv</i>	30.24

Figura 15. Datos climáticos STEEC.

4.20.2 Soluciones constructivas: En esta pestaña estará la información de cada uno de los elementos de la casa, hagan parte de la envolvente o no, allí se deberá poner la configuración de las paredes de la envolvente exterior e interior, la cubierta, los entrepisos, el pavimento térreo y las paredes divisorias. Para cada uno de los elementos se define también el tipo de elemento (EL1, EL2, EL3), la presencia de aislante térmico y caja de aire, Figura 16.

Soluciones constructivas						
Paredes exteriores METODOLOGÍA						
Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m°C]	Rt [m ² °C/W]	Densidad [kg/m ³]	Peso [kg/m ²]
1	lucida para exterior	3 manos	0	0.00		0.31
2	Mortero	15	1.3	0.01	1950	29.25
3	EPS	30	0.04	0.75	20	0.6
4	Ladrillo	200	0.34	0.59	1000	200
5	Mortero	15	1.3	0.01	1950	29.25
6	lucida para interior	3 manos	0	0.00		0.31
	Total	260.00	Rsi	0.13	Total	259.72
	EL1		Rse	0.04	Msi	229.56
			Sum, Rt	1.36	Aislante?j	SI
			U	0.65	Caja de Aire	NO

Figura 16. Soluciones constructivas STEEC.

4.20.3 Levantamiento dimensional: El levantamiento dimensional de la unidad corresponde a la realidad construida o que se pretende construir, en esta pestaña es necesario digitar al Área total del lote, el pie derecho medio de la casa e información

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

relacionada con el área de paredes, elementos de la envolvente y vidrios que la componen en función de su orientación, Figura 17.

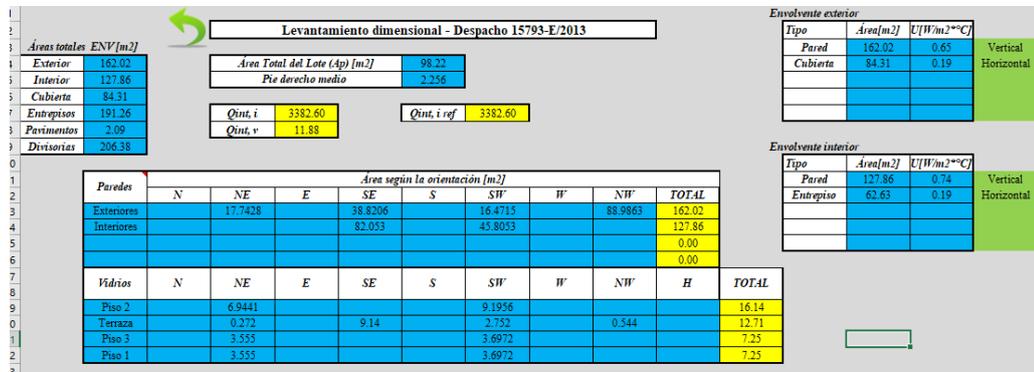


Figura 17. Vista general de la pestaña de Levantamiento dimensional en STEEC.

Además de la información de las áreas mencionadas anteriormente es necesario, insertar las áreas de las rejillas para cada una de las ventanas, la diferencia de las cotas de las ventanas (altura de cada ventana), las palas horizontales y verticales de estas; esta información deberá estar ubicada de la misma manera que las áreas para el funcionamiento correcto de la hoja de cálculo, Figura 18.

Vidrios	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	H
Piso 2		6.9441				9.1956			
Terraza		0.272		9.14		2.752		0.544	
Piso 3		3.555				3.6972			
Piso 1		3.555				3.6972			

Área rejillas	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	H
Piso 2		0				0			
Terraza		0		0		0		0	
Piso 3		0				0			
Piso 1		0				0			

Figura 18. Simetría en la ubicación de la información para el levantamiento dimensional en STEEC.

4.20.4 Cálculo de la inercia térmica: Esta pestaña es casi automática, ya que solo es necesario seleccionar de las listas desplegables de la izquierda cada uno de los elementos de la casa y así obtener el valor de la inercia térmica, Figura 19.

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

Cálculo de la inercia térmica						
Elemento	Msi	Área Si [m2]	Tipo	r	Msi*r*Si/Ap	It
Pared exterior	229.56	162.02	EL1	1	378.6735	Fuerte
Pared interior	97.81	127.86	EL1	1	127.326274	
Cubierta	9.75	84.31	EL1	1	8.3691967	
Entrepisos	9.75	191.26	EL1	1	18.9857972	
Pavimento	150.00	2.09	EL2	1	3.19181429	
Pared divisoria	113.12	206.38	EL3	1	237.687901	
				TOTAL	774.234483	

Figura 19. Cálculo de la inercia térmica STEEC.

4.20.5 Trasmisión: La información necesaria para el cálculo de los coeficientes de transmisión térmica es toda requerida en esta pestaña. Es necesario digitar los valores para los coeficientes de absorción, el perímetro del área en contacto con el suelo de la envolvente y algunos otros datos para el cálculo de los puentes térmicos, el *btr* y demás coeficientes de trasmisión térmica, Figura 20.

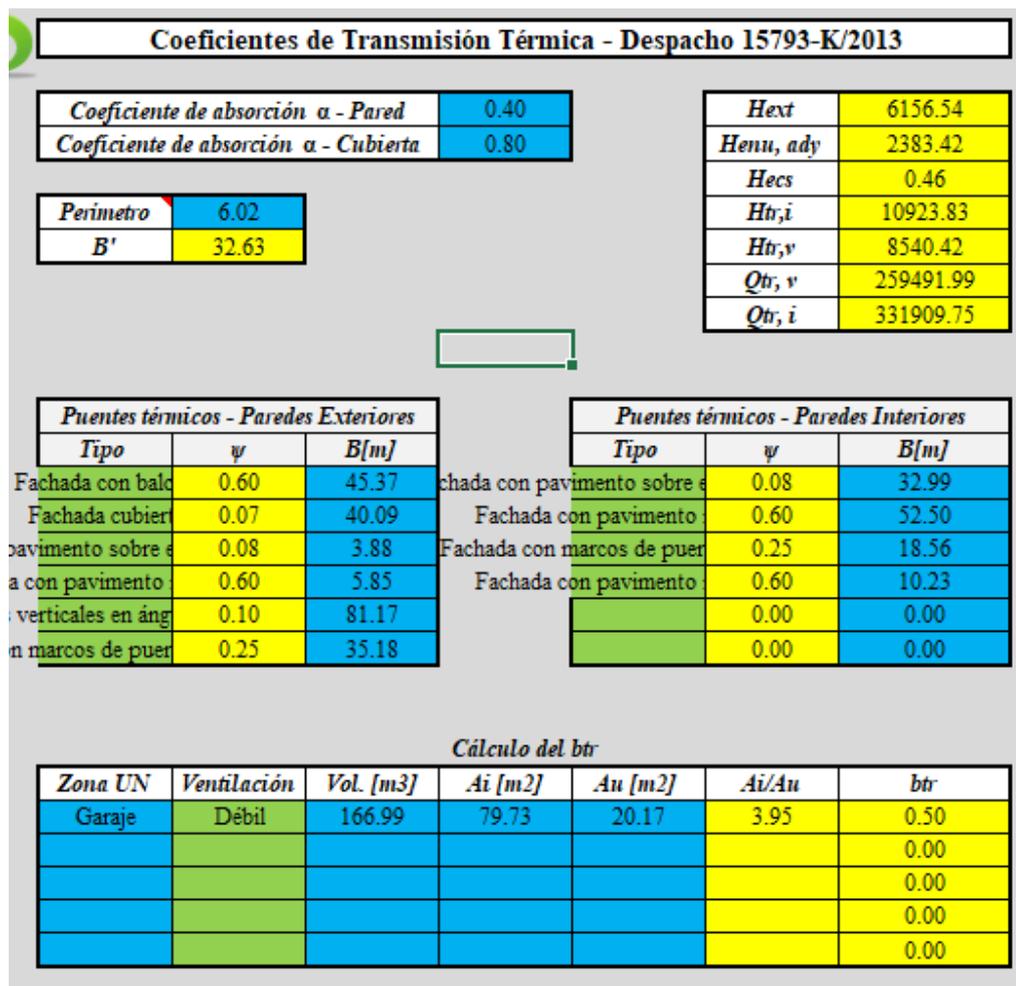


Figura 20. Coeficientes de transmisión térmica STEEC.

4.20.6 Transmisión de referencia: Esta pestaña es totalmente automática, sin embargo, la información es visible para ayudar al usuario a llevar un control de la simulación hasta este punto e ir haciéndose una idea de cómo se está comportando la unidad en estudio termo energéticamente hablando.

4.20.7 Vidrios: La configuración de las ventanas tiene una relación directa con la absorción de la energía solar, por ello en esta pestaña se definirán de valores predeterminados la configuración de las ventanas de la casa, seleccionando si tiene un vidrio sencillo o doble, el material del marco, la presencia de cuadrícula y el tipo de vidrio que lo compone, Figura 21.

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

Cálculo de g_t para los vidrios									
Config.	Doble								
Material	Madera o PVC								
Clase	4								
Cuadrícula	NO								
Tipo	asa 8mm + Incoloro 4 a 8mm								
Metodología									
g_{vi}	0.45				$Q_{sol, i}$	1566.73			
g_{vc}	0.35				$Q_{sol, v}$	5639.71			
gT	0.21				$Q_{g, i}$	4949.33			
Fw invierno	0.90				$Q_{g, v}$	5651.59			
g_i	0.41								
Área según la orientación [m²]									
Vidrios	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW	H
Piso 2	0.00	6.94	0.00	0.00	0.00	9.20	0.00	0.00	0.00
Terraza	0.00	0.27	0.00	9.14	0.00	2.75	0.00	0.54	0.00
Piso 3	0.00	3.56	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	0.00	0.00
Piso 1	0.00	3.56	0.00	0.00	0.00	3.70	0.00	0.00	0.00

Figura 21. Información de los vidrios para el cálculo de g_t en STEEC.

4.20.8 Renovación aire interior: Los extractores permanentes, los conductos de ventilación que hagan parte de la unidad en estudio tendrán que ser analizados en esta pestaña, simplemente digitando los watts de energía que consume cada extractor, el diámetro y la altura que tendrán los conductos, Figura 22.

Rph - Tasa de renovación del aire interior									
Extractores trabajo permanente									
Tipo	Watts	Vf [m³/h]							
roan 16x16x9.6	11	450							
Ventanas	3.93								
C. Persianas	27.51								
Ventiladores	450.00								
Rejillas	0.00								
Conductos	416.11								
Rph	4.05				Rph, ref	0.60			
Hve	75.34				Hve, ref	45.20			
Qve, i	2289.09				Qve, i, ref	1373.45			
Qve, v	2289.09								
Conductos	1	1	0	0	0	0	0	0	0
dif. Cotas [m]	13.1	13.1							
Diámetro [mm]	320	320							
Api conductos	2.36	2.36	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
qconductos	88.26	88.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Figura 22. Cálculo de Rph en STEEC.

4.20.9 Factor de ganancias: Pestaña totalmente automática que permite verificar los valores de los factores de utilización de ganancias para tener en cuenta en el cálculo.

4.20.10 Energía producida: En esta pestaña se hace la pregunta de si se tienen sistemas en la unidad para el calentamiento o enfriamiento del ambiente y/o calentamiento de aguas sanitarias; estos sistemas pueden ser renovables o no renovables y dado el caso de que la unidad no tenga sistemas adjuntos en el momento de la simulación la programación tomará valores por defecto para poder generar una

clasificación energética, suponiendo el peor de los casos posibles.

Al ingresar la información sobre un sistema es necesario llenar las celdas completamente con el número de unidades a instalar, la referencia, la producción en kW y los demás parámetros que allí se encuentran especificados.

4.20.11 Clase energética: Se encuentra la clasificación energética de la unidad luego de la simulación termo energética, allí se pueden visualizar las necesidades de invierno, verano, la energía necesaria para el funcionamiento de los extractores, la necesidad de calentar el agua y el total de la energía renovables producida, Figura 23.

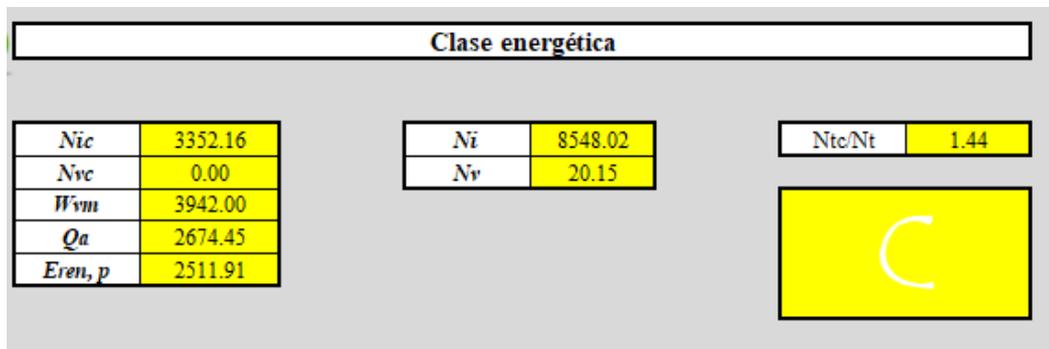


Figura 23. Clasificación energética con STEEC.

5 Capítulo

5.1 Modelo

La demostración de la metodología desarrollada en esta investigación será aplicada a una casa familiar de cuatro plantas, de tipología T4. En el Anexo C están los planos de planta y respectivos cortes del caso de estudio, Figura 24.



Figura 24. Modelo 3D del caso de estudio, vista exterior.

Para la implementación de la metodología desarrollada, se utilizará la programación en Excel STEEC (Simulación Termo-Energética en Edificios familiares de Colombia), desarrollada a lo largo de la investigación con el fin de hacer el análisis más tangible y fácil de entender.

En un principio se va a realizar la simulación en las ciudades de Bucaramanga, Cartagena y Bogotá. Estas ciudades fueron seleccionadas por su importancia dentro del país, ya que hacen parte de las ciudades más importantes del territorio colombiano y por sus climas

“extremos” dentro del contexto general nacional.

En el caso de Bogotá, la capital de Colombia se seleccionó ya que, según datos históricos tomados de (AccuWeather, Inc, 2018) y (UPME, 2018), durante todo el año se pueden presentar temperaturas por debajo de los 5 grados, para Cartagena, siendo el caso totalmente opuesto de Bogotá, se presentan temperaturas muy altas, que conllevan a condiciones termo energéticas parecidas a las del verano en Portugal pero con duración de un año completo y por último la ciudad de Bucaramanga, siendo sede de mi alma mater, representando las ciudades colombianas con temperaturas medias dentro de las temperaturas de referencia o en otras palabras dentro del rango de confort.

5.2 Soluciones constructivas

5.2.1 Soluciones tradicionales

El método constructivo, fue definido con respecto a la construcción tradicional colombiana, según (Legis S.A., 2018), a nivel nacional el sistema constructivo más empleado para VIS (viviendas de interés social) y no VIS es la mampostería confinada, especialmente en las ciudades de Bogotá, Medellín y Bucaramanga, donde representa un 71,52%, Figura 25.

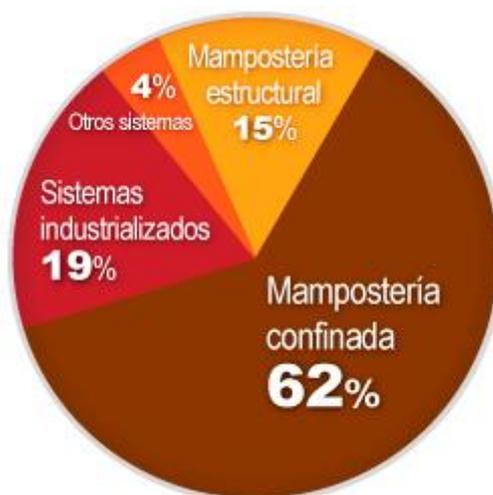


Figura 25. Sistemas constructivos más utilizados para viviendas familiares en Colombia. Fuente: UPME – Ecoingeniería Estudio

Sin embargo, la situación colombiana respecto a Portugal en aspectos sísmicos es mucho más grave, Colombia es un país con un alto riesgo de sismo y por ende sus construcciones a lo largo del tiempo se han enfocado en el desarrollo de estructuras que garanticen la vida de los usuarios en cualquier situación que comprometa el edificio.

De, (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010), se tiene que una construcción en mampostería confinada no puede superar los dos niveles.

Por este motivo el caso de estudio va a tener un sistema de soporte estructural de viga columnas, con mampostería en muros exteriores y divisorios, pero sin ninguna función estructural.

Siguiendo esta idea, la configuración de los elementos de la envolvente será como lo que es presentado en los puntos siguientes,

5.2.1.1 Paredes de la envolvente exterior, en la Tabla 49 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 26 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 49. Paredes exteriores tradicionales.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m*C]	Rt [m2*C/W]	Densidad [kg/m3]	Peso [kg/m2]
1	Pintura exterior	3 manos	0	0		0.31
2	Mortero	15	1.3	0.012	1950	29.25
4	Ladrillo	200	0.34	0.588	1000	200
5	Mortero	15	1.3	0.012	1950	29.25
6	Pintura interior	3 manos	0	0		0.31



Figura 26. Pared exterior tradicional.

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

5.2.1.2 Paredes de la envolvente interior, en la Tabla 50 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 27 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 50. Paredes interiores tradicionales.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m*C]	Rt [m2*C/W]	Densidad [kg/m3]	Peso [kg/m2]
1	Pintura exterior	2 manos	0	0		0.31
2	Estuco	15	0.4	0.038	1000	15
4	Ladrillo	120	0.34	0.353		82.50
5	Estuco	15	0.4	0.038	1000	15
6	Pintura interior	2 manos	0	0		0.31

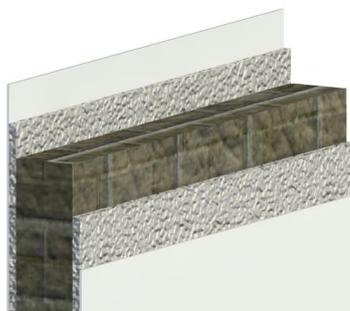


Figura 27. Pared divisoria y de envolvente interior para construcción tradicional.

5.2.1.3 Paredes divisorias, en la Tabla 51 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 27 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 51. Paredes divisorias tradicionales.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m*C]	Rt [m2*C/W]	Densidad [kg/m3]	Peso [kg/m2]
1	Pintura interior	2 manos	0	0		0.31
2	Estuco	15	0.4	0.038	1000	15
4	Ladrillo	120	0.34	0.353		82.50
5	Estuco	15	0.4	0.038	1000	15
6	Pintura interior	2 manos	0	0		0.31

5.2.1.4 Pavimento terreo, en la Tabla 52 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 28 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 52. Pavimento terreo tradicional.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m°C]	Rt [m ² *C/W]	Densidad [kg/m ³]	Peso [kg/m ²]
2	Piso en piedra	10	1.3	0.008	1750	17.5
3	Betún asfáltico	2.5	0.17	0.015	1050	2.63
4	Mortero	20	1.3	0.015	1000	20
5	C. de limpieza	150	0.36	0.417	1000	150

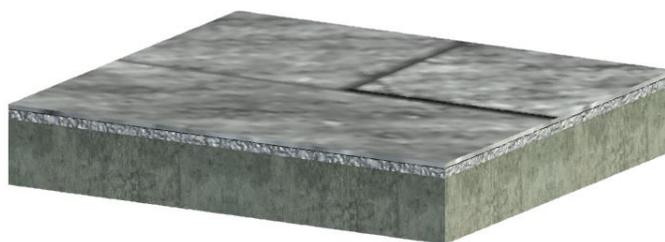


Figura 28. Pavimento térreo.

5.2.1.5 Entrepisos, son las placas que dividen los pisos de la fracción, en este caso la adhesión de EPS es para mitigar la transferencia de calor que se puede presentar entre el garaje que es una zona NO útil y el primer piso (Ver planos del Anexo C) y como valor agregado la disminución de la transferencia del sonido, en la Tabla 53 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 29 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 53. Entrepisos tradicionales.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m°C]	Rt [m ² *C/W]	Densidad [kg/m ³]	Peso [kg/m ²]
1	Cerámica	5	1.3	0.004		20.74
2	Mortero	20	1.3	0.015	1000	20
3	Placa aligerada	50	0.85	0.059	1400	70
5	Aire	50	0.025	2	1.23	0.06
6	Placa de yeso	13	0.25	0.052	750	9.75

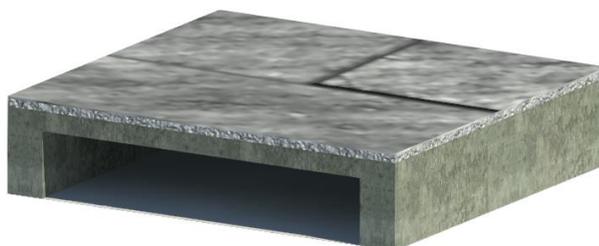


Figura 29. Entrepiso sin aislamiento.

5.2.1.6 Cubierta, es un elemento de la envolvente exterior y tiene necesidades de térmicas y la función de hacer el edificio hermético, por eso se agrega EPS y el Betún asfáltico, para la mitigación de estas necesidades respectivamente, en la Tabla 54 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 30 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 54. Cubierta tradicional.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m*C]	Rt [m ² *C/W]	Densidad [kg/m ³]	Peso [kg/m ²]
1	Betún asfáltico	2.5	0.17	0.015	1050	2.625
2	Mortero	20	1.3	0.015	1000	20
3	Placa aligerada	50	0.85	0.059	1400	392.00
5	Aire	50	0.025	2	1.23	0.062
6	Placa de yeso	13	0.25	0.052	750	9.75

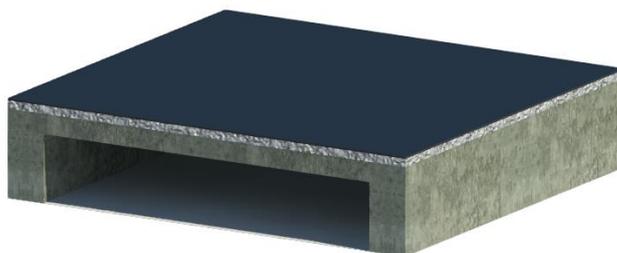


Figura 30. Cubierta sin aislamiento.

5.2.2 Soluciones mejoradas

Pretendiendo mejorar un poco el desempeño energético de los elementos de la envolvente sin afectar drásticamente los modelos de construcción colombianos tradicionales, se agregó a los elementos de la envolvente exterior e interior una capa de aislante térmico para que ayude a la conservación de la energía de los espacios útiles. Cabe resaltar que existen muchas más configuraciones o soluciones más eficaces con respecto al tema, sin embargo, la modificación arbitraria de los métodos de construcción podrían generar un rechazo por parte de la sociedad de la construcción a las ideas que esta investigación pretenda demostrar.

Entonces, para la configuración de los elementos de la envolvente se tiene que,

5.2.2.1 Paredes exteriores, además de la configuración tradicional en Colombia, de

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

adiciona una capa de EPS (poliestireno expandido), haciendo la función de aislante térmico para la conservación de la energía térmica, en la Tabla 55 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 31 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 55. Paredes exteriores.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m*C]	Rt [m2*C/W]	Densidad [kg/m3]	Peso [kg/m2]
1	Pintura exterior	3 manos	0	0		0.31
2	Mortero	15	1.3	0.012	1950	29.25
3	EPS	30	0.04	0.75	20	0.6
4	Ladrillo	200	0.34	0.588	1000	200
5	Mortero	15	1.3	0.012	1950	29.25
6	Pintura interior	3 manos	0	0		0.31



Figura 31. Pared de la envolvente exterior con aislamiento.

5.2.2.2 Paredes interiores, para las paredes interiores de la envolvente, las cuales separan espacios útiles de espacios NO útiles o edificios adyacentes, tendrán una capa de EPS también como aislante térmico, pero el bloque de mampostería será más delgado, ya que son elementos que no tienen tanta exposición y no presentan tanta pérdida de calor por transmisión, en la Tabla 56 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 32 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 56. Paredes interiores.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m*C]	Rt [m2*C/W]	Densidad [kg/m3]	Peso [kg/m2]
1	Pintura exterior	2 manos	0	0		0.31
2	Estuco	15	0.4	0.038	1000	15
3	EPS	30	0.04	0.75	20	0.6
4	Ladrillo	120	0.34	0.353		82.50
5	Estuco	15	0.4	0.038	1000	15
6	Pintura interior	2 manos	0	0		0.31



Figura 32. Pared de la envolvente interior con aislamiento.

5.2.2.3 Paredes divisorias, tienen simplemente el trabajo de la división interior de la fracción o casa familiar, estos elementos no tienen ninguna función térmica y no hacen parte de la envolvente, es posible la adhesión de aislantes para mitigar la transmisión del sonido, pero eso no hace parte del enfoque de esta investigación, en la Tabla 57 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 27 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 57. Paredes divisorias.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m*C]	Rt [m2*C/W]	Densidad [kg/m3]	Peso [kg/m2]
1	Pintura interior	2 manos	0	0		0.31
2	Estuco	15	0.4	0.038	1000	15
4	Ladrillo	120	0.34	0.353		82.50
5	Estuco	15	0.4	0.038	1000	15
6	Pintura interior	2 manos	0	0		0.31

5.2.2.4 Pavimento terreo, es el elemento en contacto con el suelo, en este caso no hay presencia de aislamiento térmico, aunque el pavimento sea parte de la envolvente, ya que

las pérdidas de calor a través del suelo se desprecian, por esto su clasificación es de elemento sin necesidades de aislamiento, en la Tabla 58 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 28 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 58. Pavimento terreo.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m°C]	Rt [m ² *C/W]	Densidad [kg/m ³]	Peso [kg/m ²]
2	Piso en piedra	10	1.3	0.008	1750	17.5
3	Betún asfáltico	2.5	0.17	0.015	1050	2.63
4	Mortero	20	1.3	0.015	1000	20
5	C. de limpieza	150	0.36	0.417	1000	150

5.2.2.5 Entrepisos, son las placas que dividen los pisos de la fracción, en este caso la adhesión de EPS es para mitigar la transferencia de calor que se puede presentar entre el garaje que es una zona NO útil y el primer piso (Ver planos del Anexo C) y como valor agregado la disminución de la transferencia del sonido, en la Tabla 59 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 33 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 59. Entrepisos.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m°C]	Rt [m ² *C/W]	Densidad [kg/m ³]	Peso [kg/m ²]
1	Cerámica	5	1.3	0.004		20.74
2	Mortero	20	1.3	0.015	1000	20
3	Placa aligerada	50	0.85	0.059	1400	70
4	EPS	120	0.04	3	13	1.56
5	Aire	50	0.025	2	1.23	0.06
6	Placa de yeso	13	0.25	0.052	750	9.75

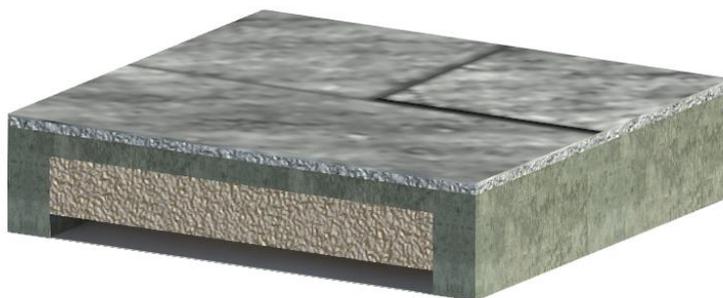


Figura 33. Entrepiso con aislamiento.

5.2.2.6 Cubierta, es un elemento de la envolvente exterior y tiene necesidades de térmicas y la función de hacer el edificio hermético, por eso se agrega EPS y el Betún asfáltico, para la mitigación de estas necesidades respectivamente, en la Tabla 60 se muestran las capas que componen el elemento constructivo y en la Figura 34 se ilustra una imagen 3D renderizada, realizada con el software Revit 2017 de Autodesk.

Tabla 60. Cubierta.

Capa	Material	Espesor [mm]	λ [W/m*C]	Rt [m2*C/W]	Densidad [kg/m3]	Peso [kg/m2]
1	Betún asfáltico	2.5	0.17	0.015	1050	2.625
2	Mortero	20	1.3	0.015	1000	20
3	Placa aligerada	50	0.85	0.059	1400	392.00
4	EPS	120	0.04	3	13	1.56
5	Aire	50	0.025	2	1.23	0.062
6	Placa de yeso	13	0.25	0.052	750	9.75

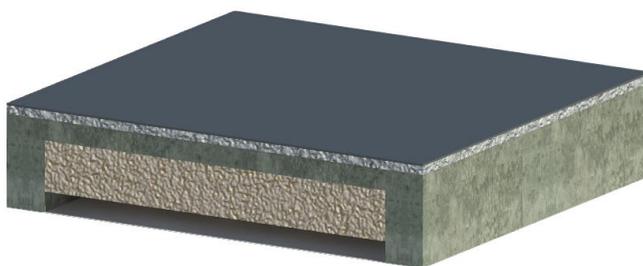


Figura 34. Cubierta plana con aislamiento.

5.3 Sistemas de AQS

5.3.1 Sistemas tradicionales

Durante el desarrollo de este documento, se han presentado las grandes diferencias entre las ciudades en estudio, en el caso de Bucaramanga y Cartagena, no se instalaron sistemas para el calentamiento de las aguas sanitarias.

En Bogotá, a diferencia de Bucaramanga y Cartagena, se implementó un sistema de calentamiento de las aguas sanitarias a gas natural ya que, en Colombia según (DANE, 2016), cerca del 65% de los hogares cuentan con acceso a gas natural.

Este sistema estará instalado en la cocina de la unidad doméstica en estudio, ligado a la red principal de gas natural, utilizado para abastecer de agua caliente todos los puntos

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

hidráulicos en los baños incluyendo duchas y lavamanos, además un punto de agua caliente para la lavadora y otro en la cocina, ver planos en el Anexo C.

El equipamiento técnico se supuso con las características técnicas de la Tabla 61 y su descripción gráfica en la Figura 35.

Tabla 61 Características del sistema de calentamiento de aguas sanitarias. Fuente: Catálogo Challenger WHG 7060

CARACTERÍSTICAS DE PRODUCTO	
Línea	Calentadores de paso
Referencia Industrial	1.7060.60
Código EAN	7707061697028
Tipo de aparato	Calentador de paso a gas
Acabado	Titanium (.60)
Tensión de alimentación	3 V c.d
Categoría	I2H
Tipo	B11BS
Frecuencia	N.A
Caudal nominal	6 L/min
Caudal mínimo	3 L/min
Presión nominal agua	2 bar (29psi)
Presión nominal gas	20 mbar
Tipo de gas utilizado	Natural
Consumo (Qn)	37,75 MJ/h (10,5 kW)
Tipo de rosca conexión	½" NPS
Diametro ducto evacuación	9,03 cm
Control	Pantalla digital y perillas
Dimensiones de empaque	56,5 cm x 34,5 cm x 17,5 cm (F x P x A)
Peso neto	5,3 Kg
Peso bruto	6,5 Kg

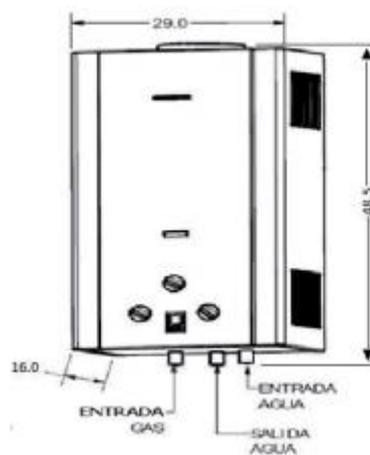


Figura 35 Descripción gráfica del sistema de calentamiento de aguas sanitarias. Fuente: Catálogo Challenger WHG

7060

5.3.2 Sistemas de mejora

En busca de mejorar el desempeño de un edificio familiar, además de modificar su sistema constructivo, es necesario implementar sistemas eficientes y si es posible, que utilicen energías limpias para así disminuir las emisiones y los costos de utilización del inmueble.

En función de lo mencionado anteriormente, se reemplazó el sistema tradicional de calentador de aguas sanitarias por un panel fotovoltaico de 3.7 m² y una capacidad de 175 Litros, mostrado en la Figura 36.

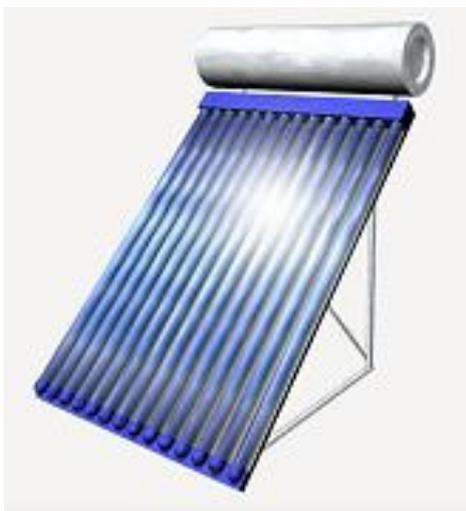


Figura 36. Panel fotovoltaico para el calentamiento de las aguas sanitarias.

Este sistema está destinado a abastecer los mismos puntos hidráulicos que el sistema a gas natural, con un costo consumo nulo y siendo la opción más amigable con ambiente que se pudo implementar, se logró mejorar de manera notable el desempeño energético del edificio familiar.

5.4 Obstrucciones

Para el modelo, las obstrucciones que se analizaron fueron solo las generadas por las palas verticales y horizontales propias de la configuración arquitectónica, haciendo un corte en las obstrucciones verticales al sudeste de la estructura para permitir una mayor exposición de los vidrios y una mejor captación de energía solar, como se puede observar en los planos del Anexo C, ya que se desconocen obstrucciones reales que externas que puedan existir en los lugares estudiados, sin embargo, el cálculo del factor F_h para las obstrucciones externas se tiene en cuenta con el valor 1, y en el software STEEC.

5.5 Vidrios

Los vidrios representan al igual que la inclusión del aislamiento térmico en los elementos de la envolvente, una de las grandes variaciones a la construcción tradicional colombiana, la presencia de vidrios dobles genera una variación, las diferencias entre los valores de transmisión térmica para una ventana de vidrio simple y una con vidrio doble puede llegar a ser hasta del 50 % según valores de (LNEC, 2016).

Para la simulación térmica se utilizaron dos tipos de ventanas, sin tener distinción alguna entre las ciudades; para el análisis tradicional una ventana con vidrio simple de 4mm de espesor y marco en aluminio, y para el análisis con las mejoras una ventana con vidrio doble de 6mm de espesor para la lámina exterior, caja de aire y 4mm de espesor para la lámina interior con marco en PVC.

A continuación, en la Figura 37 se presentará una representación gráfica de las ventanas utilizadas para la simulación térmica en las unidades domésticas sin mejoras, a su vez en la Figura 38 las ventanas para la simulación térmica de la estructura con mejoras.

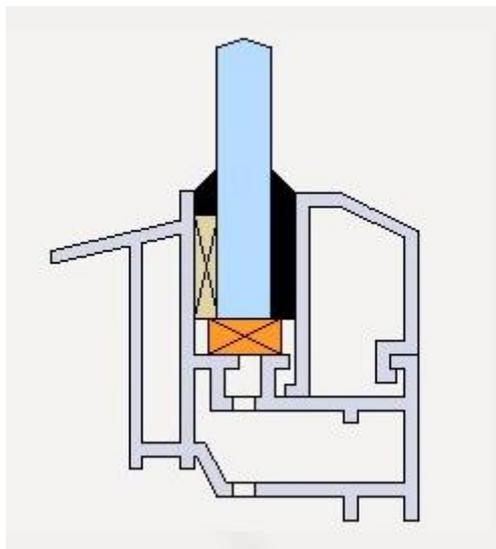


Figura 37. Configuración de la ventana de vidrio simple implementada en la simulación termo energética STEEC.

Fuente. (CYPE, 2018)

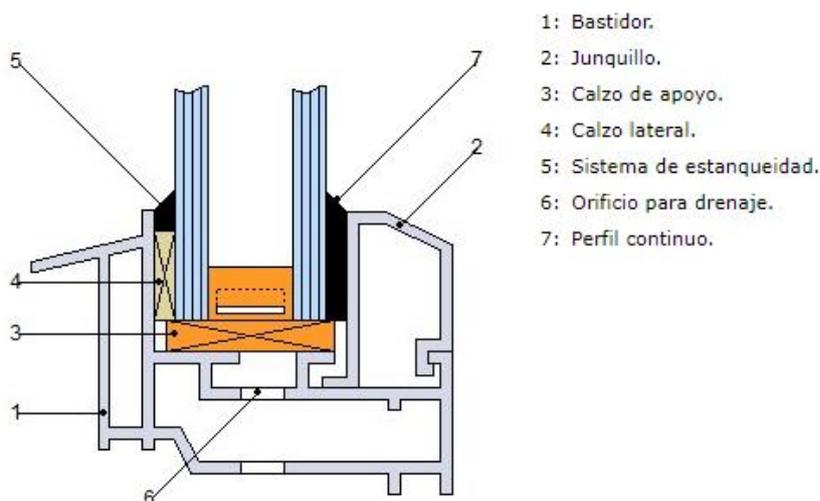


Figura 38. Configuración de vidrio doble para la simulación energética STEEC en Bogotá con mejoras. Fuente: (CYPE, 2018)

5.6 Inercia térmica

Naturalmente el sistema constructivo viga/columna en concreto reforzado, tiene la suficiente masa para brindar a las edificaciones una inercia térmica fuerte, en el análisis realizado se corrobora esta información como se muestra en la Tabla 62.

Tabla 62. Inercia térmica del caso de estudio.

Elemento	Msi	Area Si [m2]	Tipo	r	Msi*r*Si/Ap	It
Pared exterior	229.56	162.02	EL1	1	378.6735	Fuerte
Pared interior	97.81	127.86	EL1	1	127.326274	
Cubierta	9.75	84.31	EL1	1	8.3691967	
Entrepisos	9.75	191.26	EL1	1	18.9857972	
Pavimento	150.00	2.09	EL2	1	3.19181429	
Pared divisoria	113.12	206.38	EL3	1	237.687901	
				TOTAL	774.234483	

5.7 Renovación del aire interior

Para mejorar la renovación del aire interior en la estructura y superar el valor de referencia de $0.6h^{-1}$, en la estructura se adicionaron pequeños extractores de trabajo permanente, ubicados en cada uno de los baños y dos en la cocina (Ver Anexo C)

Los extractores de trabajo permanente con un caudal de $75 m^3/h$, brindan una completa circulación del aire dentro de la envolvente, conectados a los conductos de evacuación de

aire definidos en el *Anexo C*, garantizando una tasa de renovación del aire interior de $4.05h^{-1}$ para todas las ciudades.

Este dato fue normalizado para que en todas las variaciones del análisis siempre fuera constante con el mismo valor y hacer depender los resultados de las modificaciones en los elementos constructivos y la instalación de sistemas de energías renovables.

5.8 Bogotá

La ciudad capitalina fue escogida para realizar la simulación energética porque presente temperatura a lo largo del año por debajo de la temperatura mínima de confort Anexo A, en algunas noches llegas casi a cero grados centígrados, además de ser el Distrito Capital colombiano, es una mega ciudad con aproximadamente 10,2 millones de habitantes en su área metropolitana y con 1775 km^2 , así que un aporte capitalino en la eficiencia energética realmente aportaría a disminución de las emisiones del país.

La estructura en Bogotá estará ubicada a 2560 msnm, en el barrio Mirandela, el cual hace parte de la zona norte de la ciudad capitalina, el lote tiene una latitud de $4^{\circ}45'57.17''$ NORTE y una longitud de $74^{\circ}2'57.58''$ OESTE.

5.8.1 Los siguientes son los resultados de la simulación térmica para una construcción tradicional en la ciudad de Bogotá mediante la hoja de cálculo STEEC, Figura 39, utilizando la configuración del numeral 5.2.1.

Clase energética					
N_{ic}	3336.92	N_{i}	8548.02	$N_{tc/Nt}$	2.62
N_{vc}	0.00	N_v	20.15		
W_{vm}	3942.00				
Q_a	2674.45				
$E_{ren, p}$	0.00				

Figura 39. Simulación termo energética STEEC para Bogotá método tradicional.

5.8.2 A continuación, Figura 40, los resultados de la simulación energética para la estructura con la configuración de sus elementos según el numeral 5.2.2

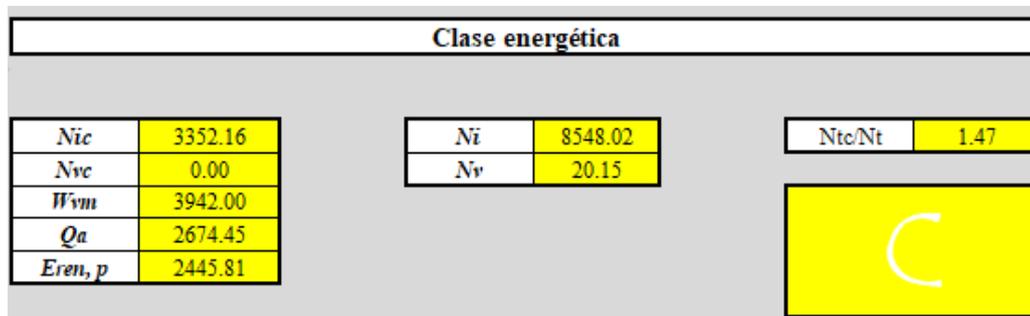


Figura 40. Simulación termo energética STEEC para Bogotá con mejoras.

5.9 Bucaramanga

Bucaramanga es una de las ciudades más importante del nororiente colombiano, sus temperaturas oscilan el rango de confort, sin embargo, tiende a estar por encima del nivel máximo teniendo ciertas necesidades de enfriamiento, pero no muy extremas, la capital santandereana cuenta con una población metropolitana aproximada de 1,14 millones de habitantes y es el hogar de mi alma mater la Universidad Industrial de Santander.

La ubicación de la unidad en estudio en el barrio Lagos del Cacique a 1038 msnm, con una latitud 7°6'26.12'' NORTE y una longitud de 73°5'47.59'' OESTE.

5.9.1 Después de la simulación térmica en la capital Santandereana, utilizando el método tradicional de construcción y sin la inclusión de sistemas energéticos, es decir, STEEC supone sistemas por defecto tenemos los siguientes resultados, Figura 41.

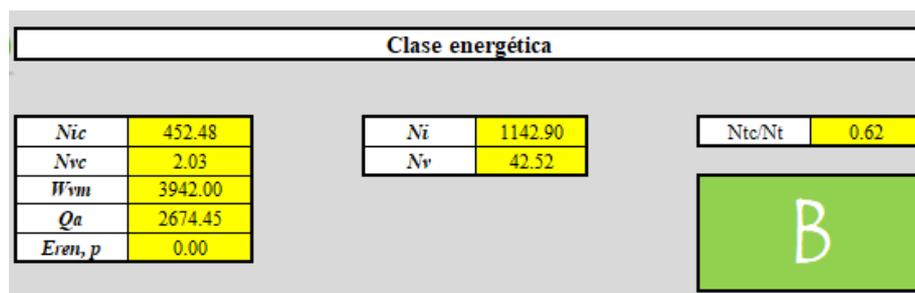


Figura 41. Simulación termo energética STEEC para Bucaramanga método tradicional.

5.9.2 Al pretender optar por una mejoría, para la propuesta se utilizó la configuración de los elementos de la envolvente propuesta en el numeral 5.2.2 y la implementación de ventanas de vidrio doble con marco en PVC, Figura 42.

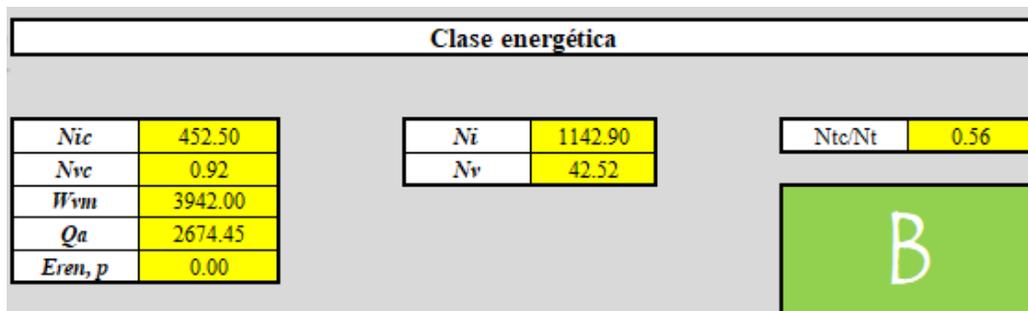


Figura 42. Simulación termo energética STEEC para Bucaramanga con mejoras.

5.10 Cartagena

Cartagena es el distrito turístico y cultural del caribe colombiano que conserva gran historia de la historia de la independencia colombiana, con muy altas con respecto a las del viejo continente y la temperatura máxima de confort, Cartagena de Indias cuenta con aproximadamente 1.04 millones de habitantes y con una expansión territorial de 609 km².

La casa familiar en la ciudad de Cartagena de Indias está ubicada en el barrio Manga a tan solo 6 msnm a una latitud de 10°25'2,35" NORTE y una longitud de 75°32'18.42" OESTE.

5.10.1 En la ciudad cartagenera simulamos energéticamente hablando la estructura con la solución constructiva típica colombiana y sin ningún tipo de sistemas, Figura 43.

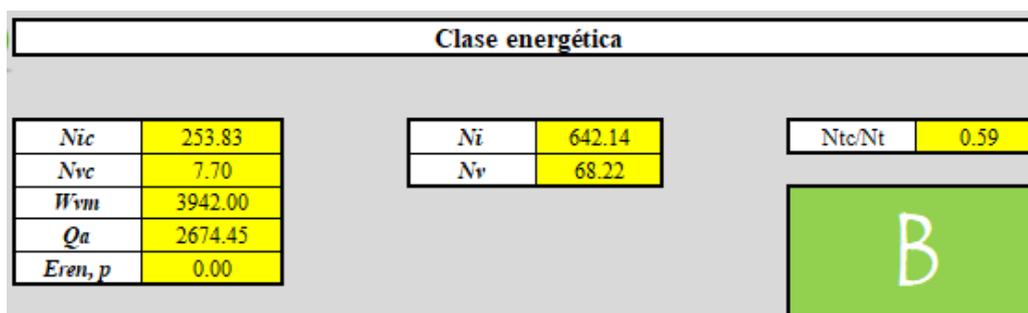


Figura 43. Simulación termo energética STEEC para Cartagena método tradicional.

Y para la simulación energética implementando la utilización de aislamientos térmicos y vidrios más eficientes, Figura 44.

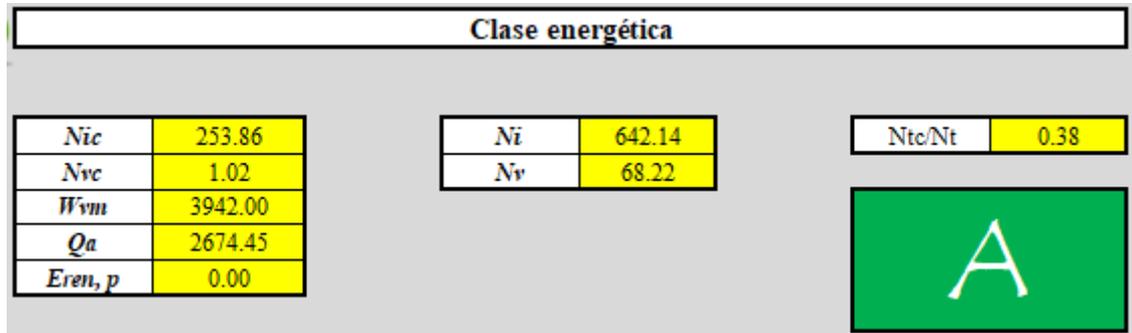


Figura 44. Simulación termo energética STEEC para Cartagena con mejoras.

6 Capítulo

6.1 Análisis de resultados

Con la práctica de la simulación termo energética STEEC, se encontró que el caso de estudio con la solución constructiva tradicional colombiana, por su peso y por ende una inercia térmica elevada, posee un sobresaliente desempeño en frente a las necesidades energéticas de enfriamiento, tanto en Bucaramanga como en Cartagena. La evaluación del desempeño energética obtuvo resultados que están encima del rango aceptable en las normativas europeas.

En Colombia las casas ubicadas en las ciudades con necesidades energéticas de calentamiento, como Bogotá, y a diferencia de lo observado en las otras dos localidades, los desempeños energéticos son extremadamente bajos, ya que la utilización de sistemas para el calentamiento del agua reduce significativamente el desempeño al realizar el análisis termo energético STEEC.

En los tres casos se mejoraron los desempeños energéticos haciendo una modificación pequeña a los sistemas constructivos y la configuración de las ventanas, allí se optó por incluir aislantes térmicos a los elementos de la envolvente más expuestos y modificando los vidrios simples con marco de aluminio, por vidrios dobles realizados en PVC además en Bogotá se reemplazó el sistema de calentamiento de aguas sanitarias a gas natural, por un sistema completamente amigable con el medio ambiente; de esta manera el desempeño energético pudo ser mejorado; para estas propuestas, se tuvo en cuenta no realizar cambios de gran escala en los elementos, evitando generar aumentos en los costos de construcción y de instalación muy elevado.

Mediante las Figuras 45, 46, 47 y 48 se muestra la relación de las diferencias de costos para los diferentes elementos que se modificaron, teniendo en cuenta que los costos de construcción general van a ser los mismos, los cuales no fueron calculados en este trabajo ya que el presupuesto de obra no hace parte de los objetivos de la investigación, sin embargo, una noción del aspecto económico siempre es necesario en cualquier obra civil.

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

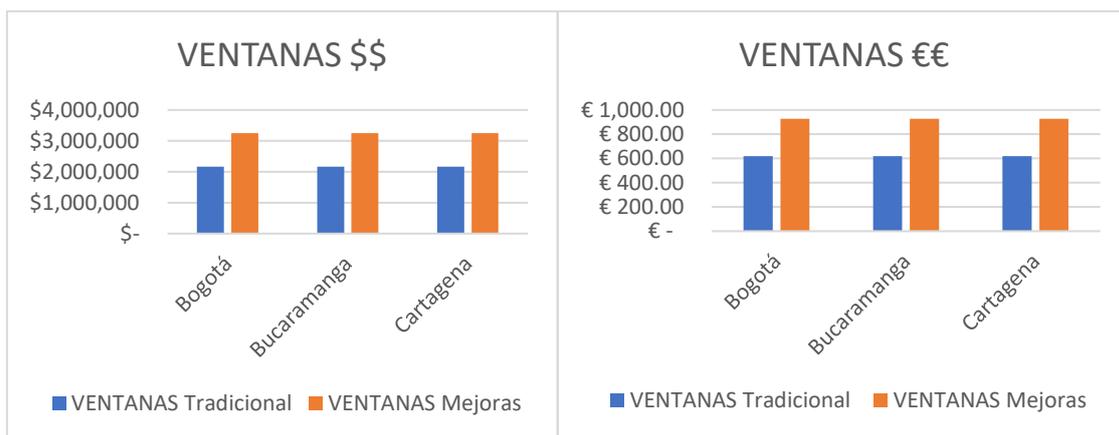


Figura 45. Relaci3n econ3mica del costo de inversi3n de las ventanas en \$(Pesos colombianos) y en   (Euros)



Figura 46. Relaci3n econ3mica del costo de inversi3n del aislamiento en \$(Pesos colombianos) y en   (Euros)



Figura 47. Relaci3n econ3mica del costo de inversi3n de los sistemas técnicos en \$(Pesos colombianos) y en   (Euros)

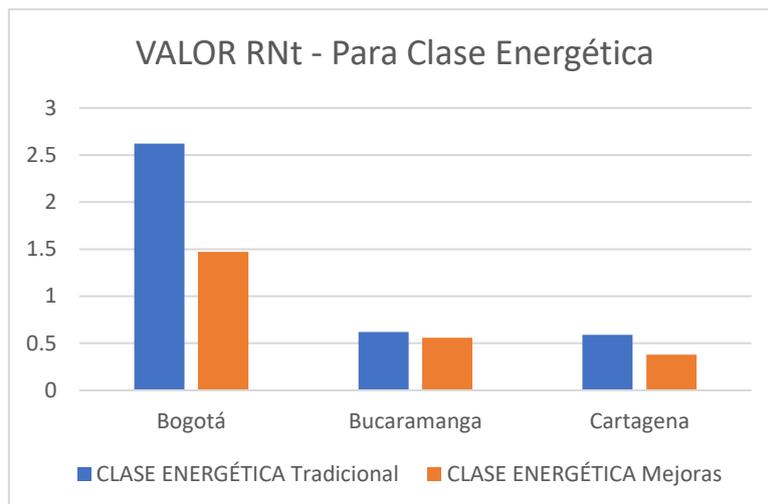


Figura 48. Comparación de la clase energética con la construcción tradicional y con mejoras.

6.2 Conclusiones

Al analizar las legislaciones de eficiencia energética tanto en Colombia y en Europa se pudo concluir que el país latinoamericano, aunque a avanzado en ciertos aspectos de la energía generando documentos y decretos que promuevan el óptimo uso de la misma, aún le hace falta dar el siguiente paso para los edificios. La utilización de las certificaciones de sostenibilidad con la metodología LEED a algunos edificios por partes del Concejo Colombiano de Construcción Sostenible (CCCS), no aporta lo suficiente al país y no genera la conciencia necesaria para que sea una práctica común a la hora de la construcción de las viviendas familiares.

Con la metodología propuesta en esta investigación y la hoja de cálculo STEEC, se pretende hacer la simulación energética más cercana y tangible para los profesionales de la construcción. Colombia necesita una normativa con valores mínimos que exija una clasificación energética a cada edificio o unidad para la expedición de las licencias de construcción, solo de esta manera el país podrá avanzar en el uso de la eficiencia energética en los edificios familiares un escalón más y disminuir en gran cantidad las emisiones que estos generan.

La nacionalización de certificados energéticos para las casas también le dará al usuario una idea de los gastos de utilización de la casa que está o va a utilizar, según la experiencia en Europa, la inversión inicial en la construcción de una vivienda con clasificación energética sobresaliente se ve recuperada con los gastos de utilización bajos, ya que

cuando el suministro eléctrico y la climatización de los espacios, están abastecidos por una buena utilización de las energías primarias renovables y el buen desempeño termo energético de la estructura, se podrían obtener valores bajos incluso nulos llegando a la actual meta europea de construir edificios con emisiones cero.

Claro está que para un mejor uso de la metodología en la simulación termo energética en Colombia de edificios familiares, se necesita un apoyo y un equilibrio de sistemas con etiquetas de clase energética, ya que la utilización de los electrodomésticos o los mismos sistemas energéticos adheridos a la estructura como soluciones termo energética se vería notoriamente mejorada si estos cuentan con sus propias etiquetas de clase energética garantizado que usan de la manera más óptima y eficaz la energía que consumen.

Por último, con esta metodología y la hoja de cálculo STEEC, se espera hacer conciencia en la comunidad de profesionales de la construcción para que en un futuro con la ayuda de las nuevas generaciones de Ingenieros Civiles, Arquitectos y demás carreras relacionadas con la materia, podamos construir una Colombia con edificios completamente eficientes y poder obtener de nuestras tierras todo el potencial que aún se encuentra sin aprovechar, Colombia cuenta con todo lo necesario para ser una gran potencia y solo depende de los futuros profesionales llevar el país a conseguir esta meta.

6.3 Trabajos futuros

Radiación solar colombiana: Colombia cuenta con un atlas de Radiación colombiana el cual muestra metodologías de cálculo para la cantidad de energía incidente en placas inclinadas, sin embargo, para el desarrollo de esta metodología en el caso de cálculo de factores como I_{sol} , F_{mv} y X_j , necesitan valores en dirección a todos los puntos cardinales. Un trabajo futuro constaría de la generación de las tablas de datos para cada uno de los departamentos colombianos y poder reemplazar en la hoja de cálculo STEEC aquellos valores solares tomados de los Despachos de la normativa portuguesa acercándonos un poco más a la realidad con la simulación termo energética en Colombia por medio de esta metodología.

Factor de corrección topográfico, a : en las Fórmulas 29, 33, 34 y 50; se puede observar este factor de corrección topográfica, el cual viene en función de la topografía de la zona en estudio, en esta investigación como fue mencionado anteriormente, se tomó con el

valor de uno. Sería de gran ayuda para la mejora de la hoja de cálculo STEEC y la complementación de la metodología de simulación termo energética colombiana realizar el cálculo de este factor a nivel nacional.

Factores de sombra: En esta metodología las ventanas de un edificio juegan un papel muy importante ya que son los principales colectores de energía solar durante el día, el tener una ventana con la orientación adecuada puede mejorar en gran cantidad el desempeño energético de una vivienda, para esto el análisis de los factores de sombra en Colombia y la definición de las trayectorias solares en el país, sería un trabajo muy interesante a desarrollar que incluiría más ramas del conocimiento y acercaría en gran medida los valores de esta metodología a la realidad.

Referencias bibliográficas

- AccuWeather, Inc. (28 de Febrero de 2018). *AccuWeather*. Obtenido de <https://www.accuweather.com/es/co/bucaramanga/111417/month/111417?monyr=1/01/2017#>
- Alis, J. (2014). *Metodología para la evaluación energética de edificios comerciales en Colombia basados en estándares y normas internacionales*. Medellín.
- ANAE. (7 de Mayo de 2018). ANAE. Obtenido de <http://www.asociacion-anae.org/noticias/la-nueva-directiva-europea-sobre-eficiencia-energetica-nos-afectara-mas-todos>
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente - NSR 10*. Bogotá.
- Bernal, H. (2011). *Eficiencia energética desde la arquitectura*. Bogotá: Arquitectura e Interiores.
- Carolina Ramirez, J. D. (2015). Tendencia anual de los grados día cafeto y los grados día broca en la región andina ecuatorial de Colombia. *Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria*, 51-63.
- CEPAL. (2014). *Eficiencia Energética en América Latina y el Caribe*. Santiago de Chile: Naciones Unidas.
- Clima. (10 de Octubre de 2018). *ES.climate*. Obtenido de <https://es.climate-data.org/location/5115/>
- Consejo Colombiano de Construcción Sostenible. (9 de Abril de 2018). CCCS. Obtenido de CCCS: <https://www.cccs.org.co/wp/capacitacion/talleres-de-preparacion-leed/>
- CYPE. (13 de Mayo de 2018). *Generador de precios*. Obtenido de http://www.colombia.generadordeprecios.info/obra_nueva/L_Carpinteria__close_ts__cerrajeria__v/Vidrios/Simples/Luna_de_vidrio_simple.html
- Diário da República. (1991). *DL 40/90*. Lisboa.
- Diário da República. (2013). *Despacho n.º 15793*. Lisboa.
- Diário da República. (2013). *Portaria n.º 349*. Lisboa.

- ESMAP. (2010). *Review of policy framework for increased reliance on wind energy in Colombia*.
- Extrual. (24 de Abril de 2018). *Extrual*. Obtenido de <http://www.extrual.com/es/noticias/articulos-tecnicos/como-se-determina-la-permeabilidad-al-aire-de-una-ventana>
- Fundación Bariloche. (2006). *Consultoría para la formulación estratégica del plan de uno racional de energía y de fuente no convencionales de energía 2007 - 2025*.
- Gallegos, H. G. (2002). *Notas sobre radiación solar*. Buenos Aires.
- Giraldo, S. G. (07 de Marzo de 2018). *VamosPorColombia*. Obtenido de <https://vamosporcolombia.wordpress.com/2011/02/15/42/>
- IGAC. (01 de Marzo de 2018). *GeoPortal*. Obtenido de <http://geoportal.igac.gov.co/ssigl2.0/visor/galeria.req?mapaId=7&title=Mapa%20Base>
- IMPROINDE SAS. (5 de Mayo de 2018). *Improinde*. Obtenido de <https://www.improinde.com/energia-solar-fv>
- INTERCOM. (19 de Marzo de 2018). *Construmática*. Obtenido de http://www.construmatica.com/construpedia/Resistencia_T%C3%A9rmica
- Lains, P. (1994). *O estado e a industrialização em Portugal, 1945 - 1990*.
- Larraín, S., & Paz Aedo, M. (2008). *Política energética en america latina: Presente y Futuro*. Santiago de Chile: ANDES Ediciones.
- Legis S.A. (2018 de Abril de 2018). *Construdata*. Obtenido de http://www.construdata.com/Bc/Otros/Archivos/como_se_construye_en_colombia.asp
- LNEC. (2016). *Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente dos edifícios*. Lisboa: LNEC.
- M. Macías, L. G. (2009). *Metodología y herramienta VERDE para la evaluación de la sostenibilidad en edificios*. Madrid.
- Mejía, G. (2013). Estudio comparativo entre la legislación de eficiencia energética de Colombia y España. 122-135.

- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). Reglamento colombiano de construcción sismo resistente - NSR 10. En V. y. Ministerio de Ambiente, *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente - NSR 10* (págs. E1-E40). Bogotá.
- Ministerio de Minas . (02 de Febrero de 2018). *Minminas*. Obtenido de <https://www.minminas.gov.co/reglamentos-tecnicos1>
- Ministerio de Minas y Energía. (2010). *PAI PROURE 2010 - 2015*. Bogotá.
- MME & UPME. (2016). *PAI PROURE 2017 - 2022*. Bogotá.
- NUTS. (2008). *Nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos III*. Lisboa.
- OLADE. (2017). *Eficiencia energética en américa latina y el caribe: Avances y oportunidades*. Pymedia.
- Rodríguez, A. (27 de Abril de 2018). *Firmas*. Obtenido de http://www.milenio.com/firmas/universidad_politecnica_de_tulancingo/Sistemas-eolicos-potencia-zonas-urbanas_18_992480799.html
- Rodríguez, M. (2013). Uso y cálculo de los Grados día. *Inesem*.
- Sameed Burle. (01 de Marzo de 2018). *FloodMap*. Obtenido de <http://www.floodmap.net/Elevation/CountryElevationMap/?ct=CO>
- Serrano, P. (27 de Abril de 2018). *Certificados Energéticos*. Obtenido de <http://www.certificadosenergeticos.com/biomasa-acs-calefaccion-refrigeracion-viviendas>
- Solar, C. (8 de Febrero de 2018). *CubaSolar*. Obtenido de <http://www.cubasolar.cu/Biblioteca/Energia/Energia56/HTML/Articulo05.htm>
- SUNCOLOMBIA. (26 de Abril de 2018). *suncolombia*. Obtenido de <http://www.suncolombia.com/cual-es-el-precio-de-un-panel-solar-en-colombia-y-donde-encontrarlos/>
- Susunaga, J. (2014). *Construcción sostenible, una alternativa para la edificación de viviendas de interés social y prioritario*. Bogotá.
- twenergy. (25 de Abril de 2018). *twenergy*. Obtenido de <https://twenergy.com/a/que-es-la-energia-primaria-1792>

UE. (7 de Mayo de 2018). *EUR-Lex*. Obtenido de <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=legissum:en0029>

Unión Europea. (02 de Febrero de 2018). *Europa - Energía*. Obtenido de https://europa.eu/european-union/topics/energy_es

UPME & IDEAM. (2005). *Atlas de radiación solar de Colombia*. Bogotá: Imprenta Nacional de Colombia.

UPME. (02 de Febrero de 2018). *UPME*. Obtenido de <http://www1.upme.gov.co/Paginas/Demanda-y-Eficiencia-Energetica.aspx>

Zanoni, J. R. (2005). *¿Qué pueden hacer las políticas energéticas por la integración?* México D.F.

Anexos

Anexo A

Tabla 63. Temperaturas medias diarias para la ciudad de Cartagena.

CARTAGENA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	27.5	28.5	28	30	29	30.5	30	29	30	29.5	30	29
2	28	27.5	28	30	29	30.5	30	29.5	30	30	31	29
3	27.5	28	29	30.5	31	30	27	30	29.5	29	29	29.5
4	26.5	27.5	28.5	29	29.5	31	29	29.5	29.5	29.5	29.5	29
5	24.5	28	29	30.5	30	28.5	30	27.5	29.5	28	29.5	30
6	28.5	28.5	27.5	30.5	27.5	31	30.5	29.5	30.5	28	29	29
7	28	28.5	27.5	29	27.5	29.5	30	30	29.5	29	29	29.5
8	28	28	27	30	28	27.5	29.5	30.5	28.5	30.5	28	27.5
9	28	29.5	28.5	29.5	27	29	29	29.5	27.5	30.5	28	27.5
10	27	28	27.5	30	28	29	30	29.5	27.5	29.5	27	28.5
11	27	28	28.5	29	29	30.5	29	30	29	30.5	28.5	29.5
12	27.5	28	28.5	29	27.5	27.5	28.5	29.5	29.5	30	29.5	28
13	27	27.5	28.5	29	28.5	29	30	30	28.5	31	29.5	27.5
14	27	28	29	28	28.5	28.5	30	30	28.5	31	28	29
15	26.5	28	28.5	29	30.5	28.5	29	30	30.5	30	28.5	28.5
16	27	27.5	29	30	28.5	29.5	29.5	29.5	30.5	30.5	28	29
17	27	28	28.5	28.5	29	28	30	30	28.5	31	26	29
18	26	28.5	27.5	29	30	28.5	29.5	30	27	31	26.5	28.5
19	26.5	28	28	30	30.5	29.5	30.5	29	29	29	27	29
20	26.5	27	28	27	29.5	29.5	27	28.5	29	30.5	28.5	28
21	27.5	28	28	29	30	27.5	28	29	29.5	30.5	28.5	28.5
22	26.5	28	28.5	29.5	31	29	29.5	30.5	29	30	29	28.5
23	26.5	27	27.5	29.5	30	29.5	27.5	30	28	28.5	29.5	28
24	26.5	27	29	30	29.5	29	29	30	30	28.5	29.5	28
25	27	27.5	28	28.5	31	29	30.5	29.5	29.5	28	30	28
26	28.5	30	28.5	29.5	30	28.5	29	28.5	28	29.5	29	28
27	27	28.5	28	29.5	30	29	29.5	30.5	29.5	27.5	29	28
28	27.5	28.5	28	31.5	29.5	30	30	29	29.5	28.5	29.5	27.5
29	27.5	-	28	31	29.5	29	27.5	29	29.5	26.5	30	28
30	28	-	30.5	30	29.5	30.5	26	27.5	28.5	28.5	29	29
31	29	-	28.5	-	30.5	-	29	29.5	-	28.5	-	28.5

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

Tabla 64. Temperaturas medias diarias para la ciudad de Bucaramanga.

BUCARAMANGA	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	23	24	23.5	22.5	23.5	23.5	24	22.5	25	23	23	22.5
2	24.5	23	22	24	21.5	24	23	23	24.5	22	23.5	22.5
3	24.5	24	22.5	25.5	22.5	24.5	23	22.5	22	22	23	22.5
4	23.5	25.5	24	24.5	23	24	23	23.5	23	21	21.5	22.5
5	23	24.5	23	25	23.5	23.5	22.5	22.5	23	22	22	22.5
6	23	24.5	23	25	22.5	24	23.5	23.5	23.5	20.5	23	23.5
7	22.5	25	22	24.5	21.5	22	23.5	23	23	22.5	21.5	24.5
8	22.5	25	23.5	22	23	21	23.5	23	21	23.5	22.5	22.5
9	19.5	24.5	21	21	21	22.5	24	23	23	22.5	22.5	22.5
10	20.5	24	23.5	23	22.5	23	23	23.5	22	22.5	21	22
11	21.5	23	22	21	20.5	23.5	23	23	23.5	22.5	22.5	22.5
12	22	24	19	22.5	21.5	20.5	20	22	23.5	21.5	23.5	21.5
13	22	24	22.5	22.5	22.5	23	23	23	22	24	22.5	21
14	22	23.5	23	20.5	23	23	22.5	24	23	23.5	22	21.5
15	22	24	21.5	22	21.5	20.5	22	23.5	23.5	24.5	22	22.5
16	22	24	22	24	23	21.5	23.5	24	23	24	22	23.5
17	22.5	22	23	22.5	23	21.5	22	23.5	21	23.5	22	23.5
18	22.5	22	23	23.5	23.5	22	22.5	24	23.5	24	21	22.5
19	23.5	24	23.5	21.5	24	21	23	21.5	23.5	23	21.5	23
20	23	23.5	21.5	22	23	23	22.5	23	23	24.5	20.5	22
21	22	24.5	23	22	22.5	22	22.5	23	23	24	23	23
22	22.5	23	20	23	21.5	22.5	23	23.5	24.5	22.5	22	22.5
23	22.5	23	21.5	24	23	22.5	24	23.5	23	24	22.5	23.5
24	23	23.5	21.5	23	23	23	23.5	22.5	23	22	21.5	23
25	21.5	23.5	22.5	22	24.5	23	25	23	23	23	22.5	22.5
26	23	23.5	22	22	23	22.5	23	23	23.5	22.5	23	22
27	23	22.5	22.5	22.5	22	21	23.5	23.5	24	23.5	23.5	22.5
28	24.5	24	22.5	24	23	22	23.5	21.5	22.5	23	23.5	22.5
29	24	-	23	24.5	22.5	23.5	24	23	23	19.5	23.5	23
30	23	-	22	28	23	22	22	22	21.5	22	23	22.5
31	23.5	-	22.5	-	23	-	20	23	-	23	-	22.5

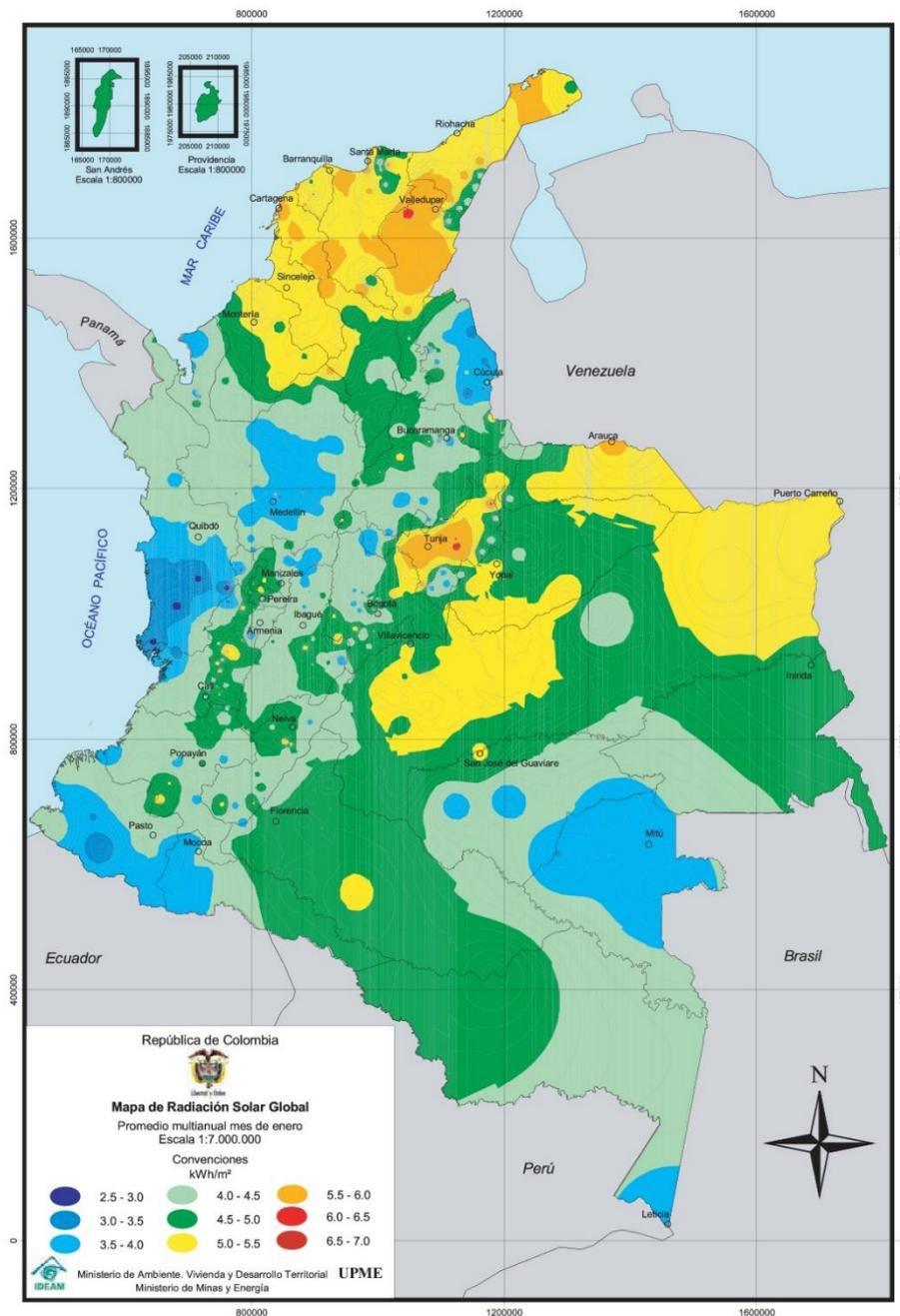
Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.

Tabla 65. Temperaturas medias diarias para la ciudad de Bogotá.

BOGOTÁ	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1	14	13	14.5	16	16.5	15.5	15	14	13	15.5	15.5	15.5
2	14	13	13.5	16.5	14	14	15	13.5	14.5	16	15	15.5
3	14.5	13	13.5	16	15	15	15.5	14	14	16.5	15	14.5
4	14	14	11.5	15	15.5	15	14	14	13	15.5	13.5	14.5
5	13	14	15	14.5	15	14	12.5	15	13	16	14	14.5
6	14.5	14	16.5	12	15	14.5	15	13.5	13	14	14.5	13
7	14.5	14.5	15.5	12	14.5	15.5	14.5	14.5	15.5	12.5	16.5	12.5
8	15	13	13	13.5	15	14.5	13.5	15	14.5	12.5	15	14
9	13.5	12.5	15	14	14.5	15	14	15	14.5	12.5	15.5	15.5
10	15	14	15.5	16	15.5	16	15	13	14.5	13.5	16.5	15
11	14.5	14	16.5	15.5	16	15	15	15	16	14.5	16	15
12	13.5	16	13	16	16	16	14	14	13	13	14	15
13	14.5	15	14.5	16	16	15.5	14	13.5	15	14.5	14.5	15
14	14.5	11.5	15.5	14.5	12	16	12.5	14	14.5	15	16	15
15	15	11.5	14.5	15.5	11	15	13.5	14.5	15	15.5	15	10.5
16	15.5	11.5	15	14	17	15	14.5	14.5	13	15	15.5	12.5
17	15	11.5	14	14	14.5	13	14.5	16	15	14	14.5	14.5
18	15	14	14.5	14.5	17.5	15	15.5	15.5	14.5	15	15	11
19	14.5	14	13.5	15	16	15.5	14.5	12.5	14	13.5	15	13.5
20	14	16.5	13.5	15	15	15.5	15	15.5	16	14	15	13.5
21	11.5	14.5	15.5	16	16	15.5	15	14	15.5	17.5	12.5	13.5
22	11	13	15.5	16	12.5	14.5	15.5	12.5	13.5	15	14	15.5
23	10.5	12.5	15	15.5	14	15.5	16	13	13.5	13.5	13	15.5
24	13	14	14	15	15	14.5	14.5	13	15	13.5	14	14
25	13.5	15	15.5	13.5	14.5	15	16	13.5	14.5	14.5	15	15
26	14.5	14.5	14.5	14	15	13.5	13.5	14.5	12.5	13.5	14.5	14.5
27	13.5	13.5	16.5	15.5	14	15.5	13	13.5	12.5	14	14	15
28	13.5	15	13.5	13.5	14	15	15	15	13.5	15	15	14.5
29	12.5	-	14.5	15.5	14	15	14.5	11.5	15.5	14.5	15.5	14.5
30	12.5	-	13.5	14.5	14.5	16	14.5	14	14	14.5	15.5	15
31	14.5	-	15.5	-	14.5	-	13.5	15	-	15	-	15

Anexo B

En este anexo se presentan algunos de los mapas de radiación media mensual tomados de (UPME & IDEAM, 2005).

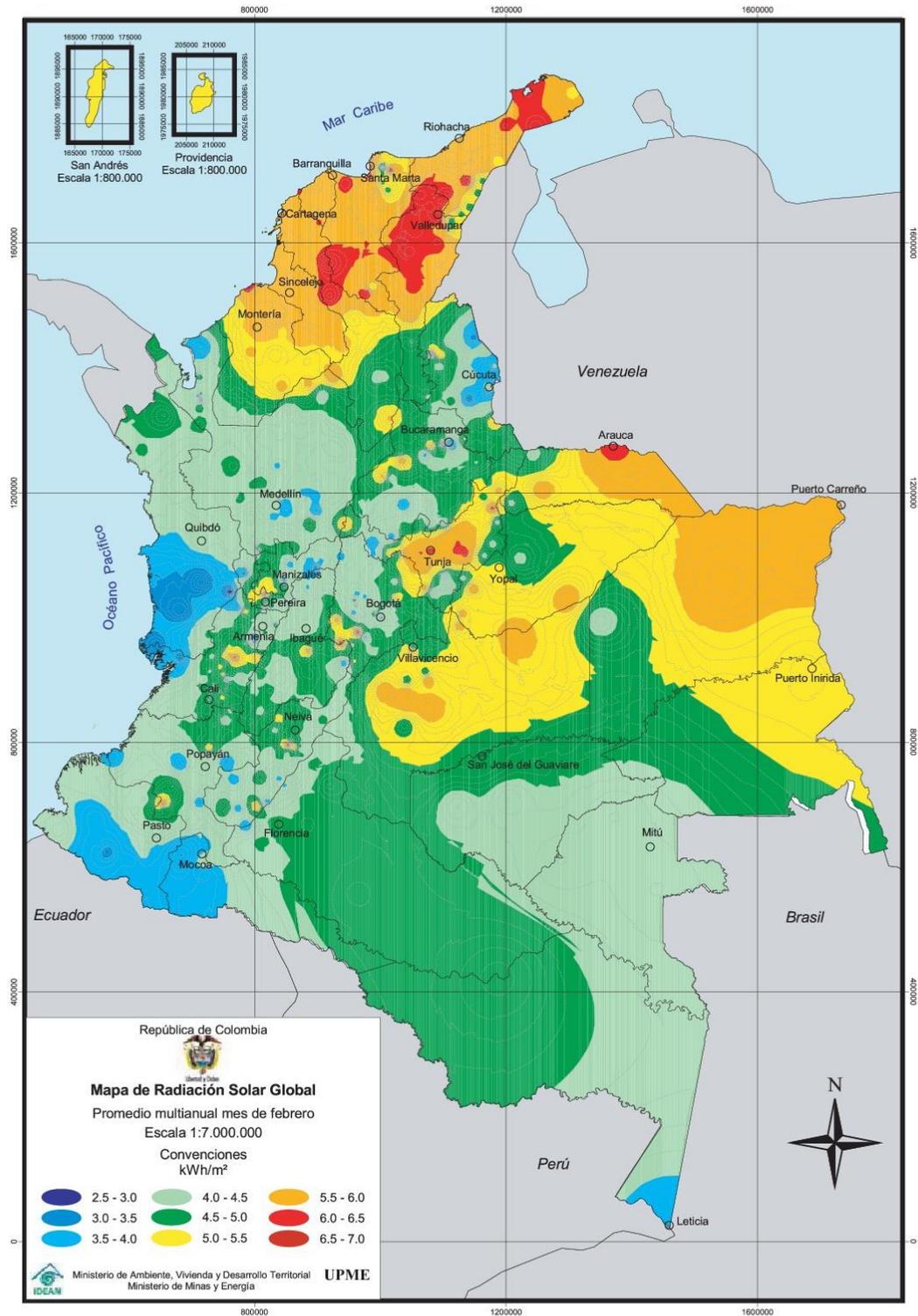


28

Figura 49. Mapa de radiación solar global, promedio multianual mes de enero. Fuente: (UPME & IDEAM, 2005)

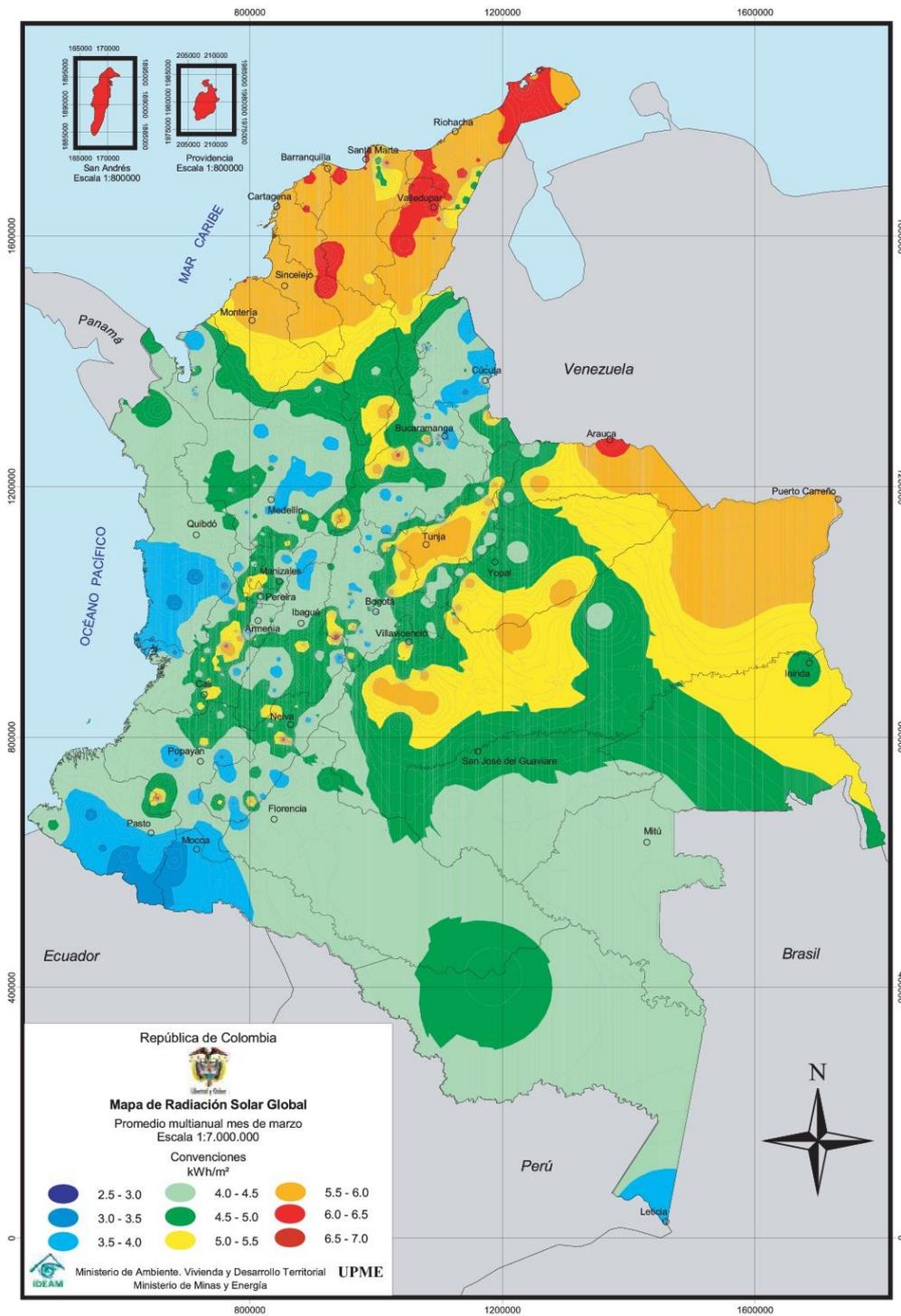
página 28

Metodología para el análisis termo-energético de edificios familiares en Colombia con base en las normativas europeas.



29

Figura 50. Mapa de radiación solar global, promedio multianual mes de febrero. Fuente: (UPME & IDEAM, 2005)
página 29



30

Figura 51. Mapa de radiación solar global, promedio multianual mes de marzo. Fuente: (UPME & IDEAM, 2005)

página 30

Anexo C



Figura 52. Corte A del caso de estudio:



Figura 53. Corte B del caso de estudio.



Figura 54. Fachada Noreste del caso de estudio.



Figura 55. Facha Suroeste del caso de estudio.

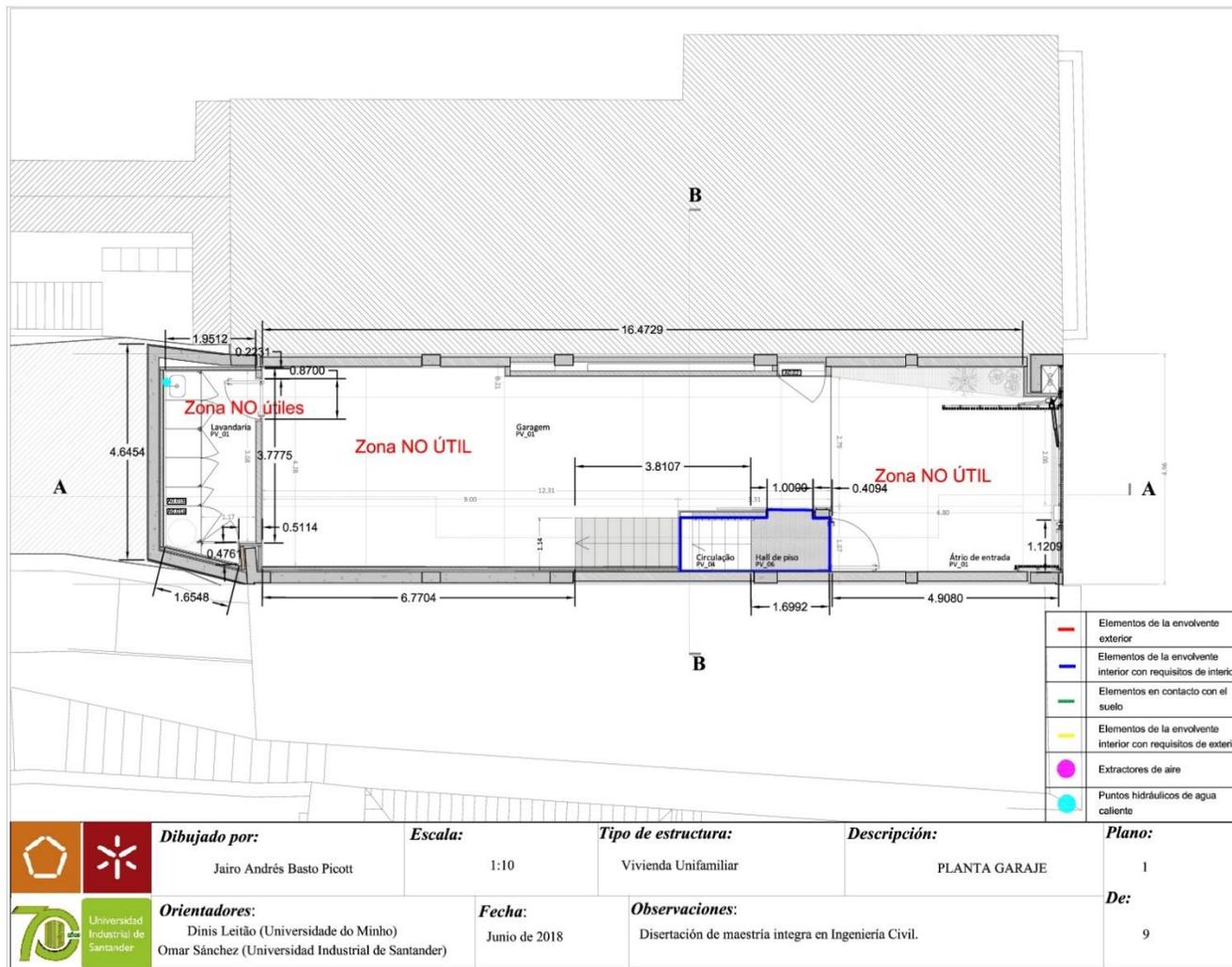


Figura 56. Plano de planta del garaje del caso de estudio.

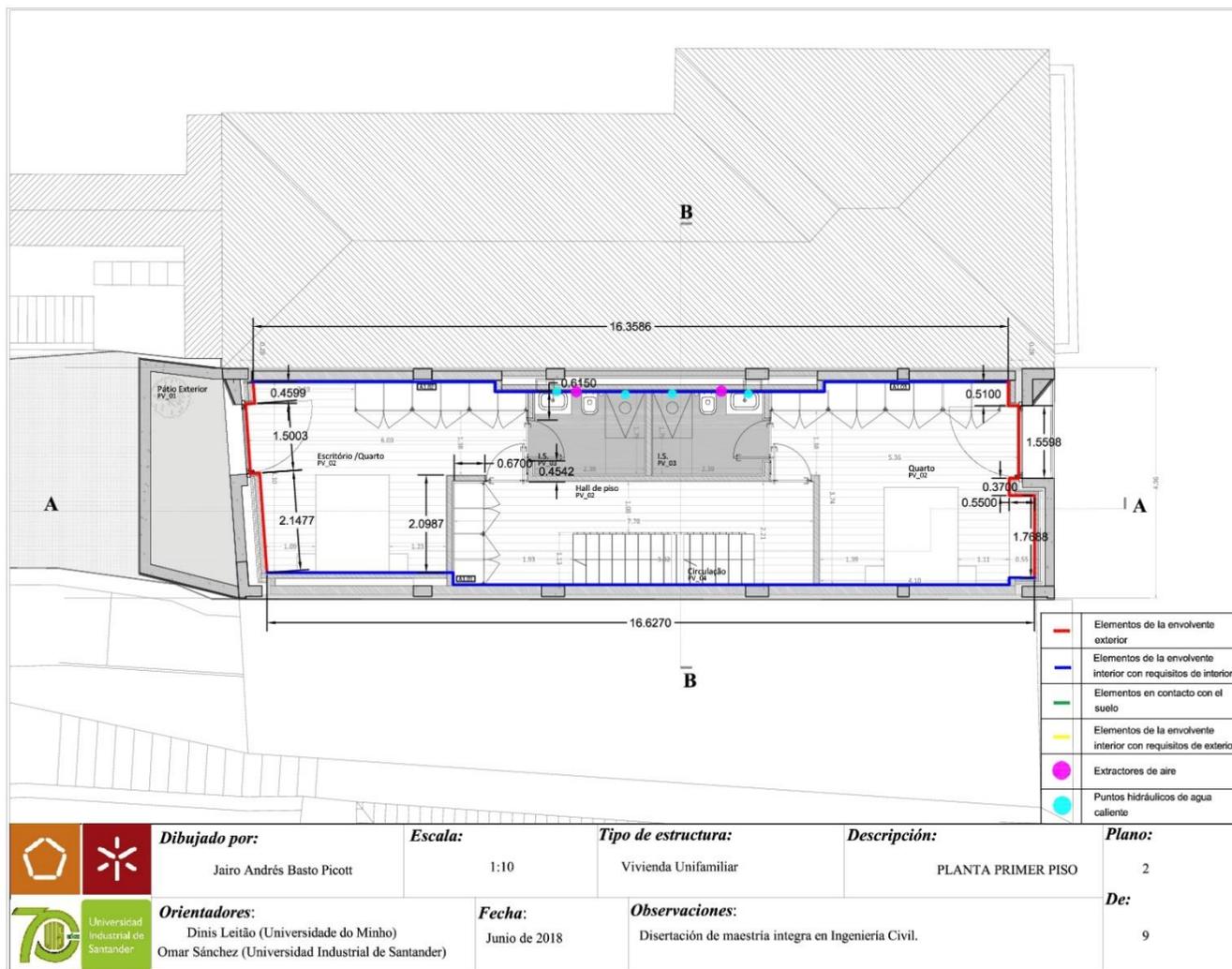


Figura 57. Plano de planta del primer piso del caso de estudio.

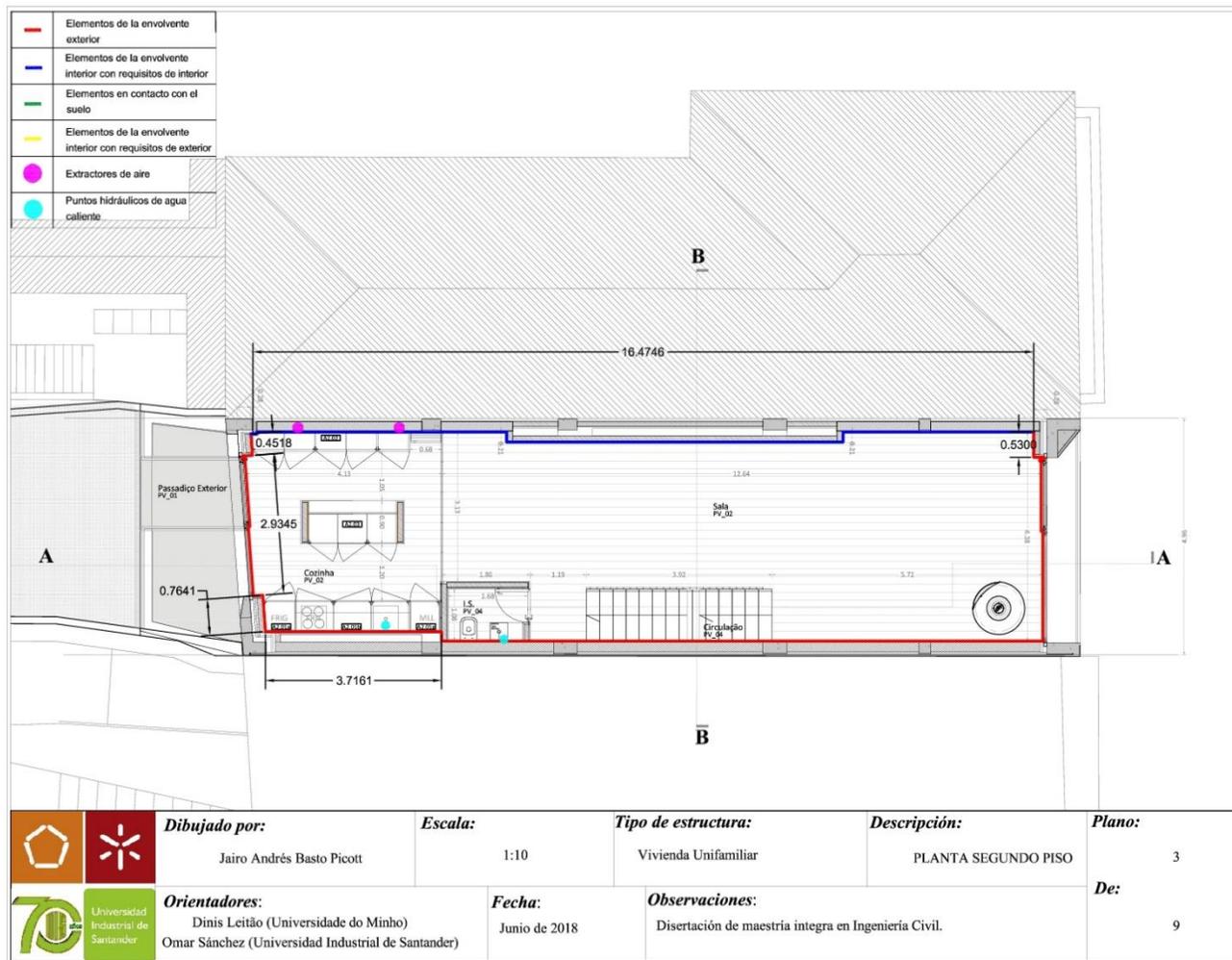


Figura 58. Plano de planta del segundo piso del caso de estudio.

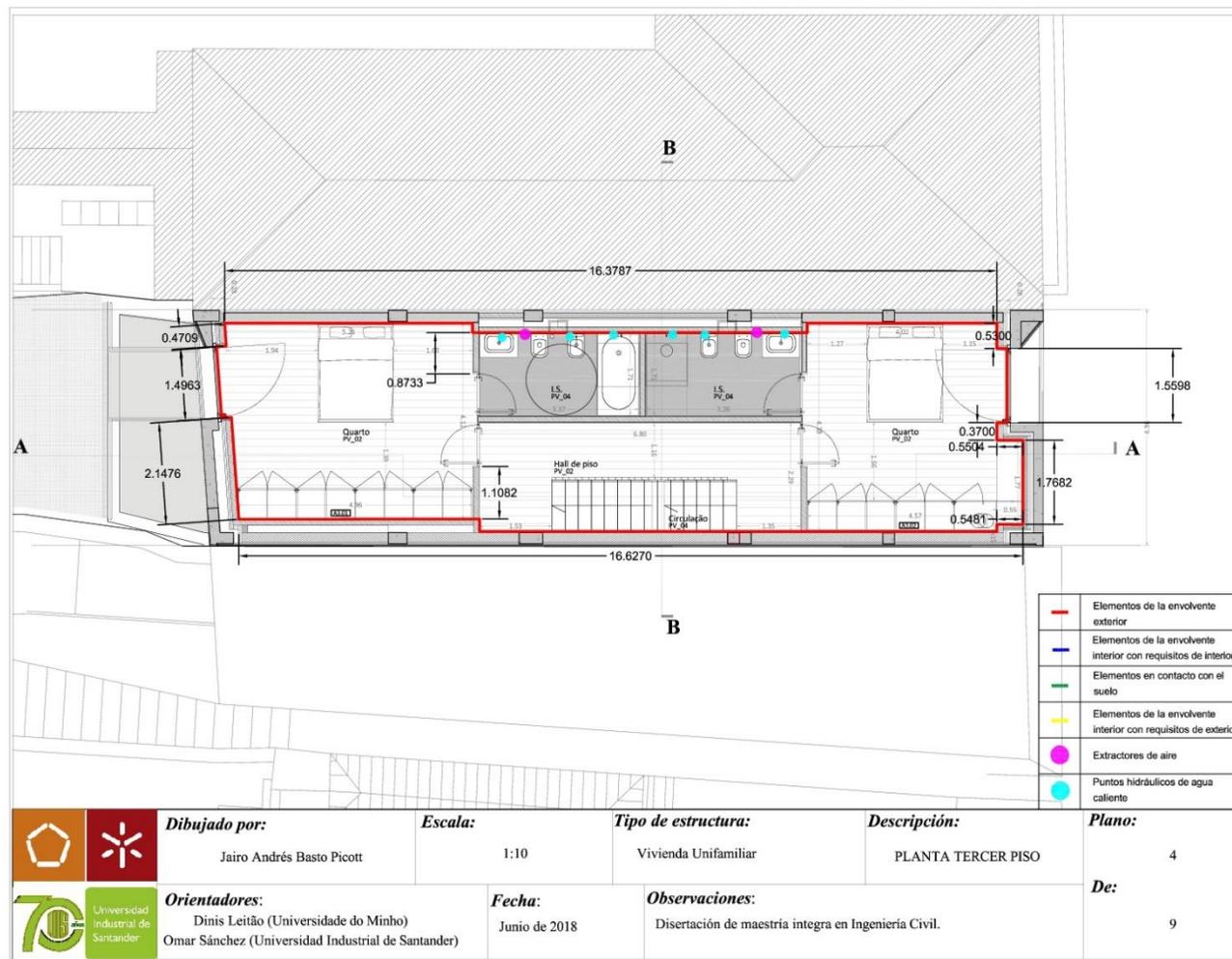


Figura 59. Plano de planta del tercer piso del caso de estudio.

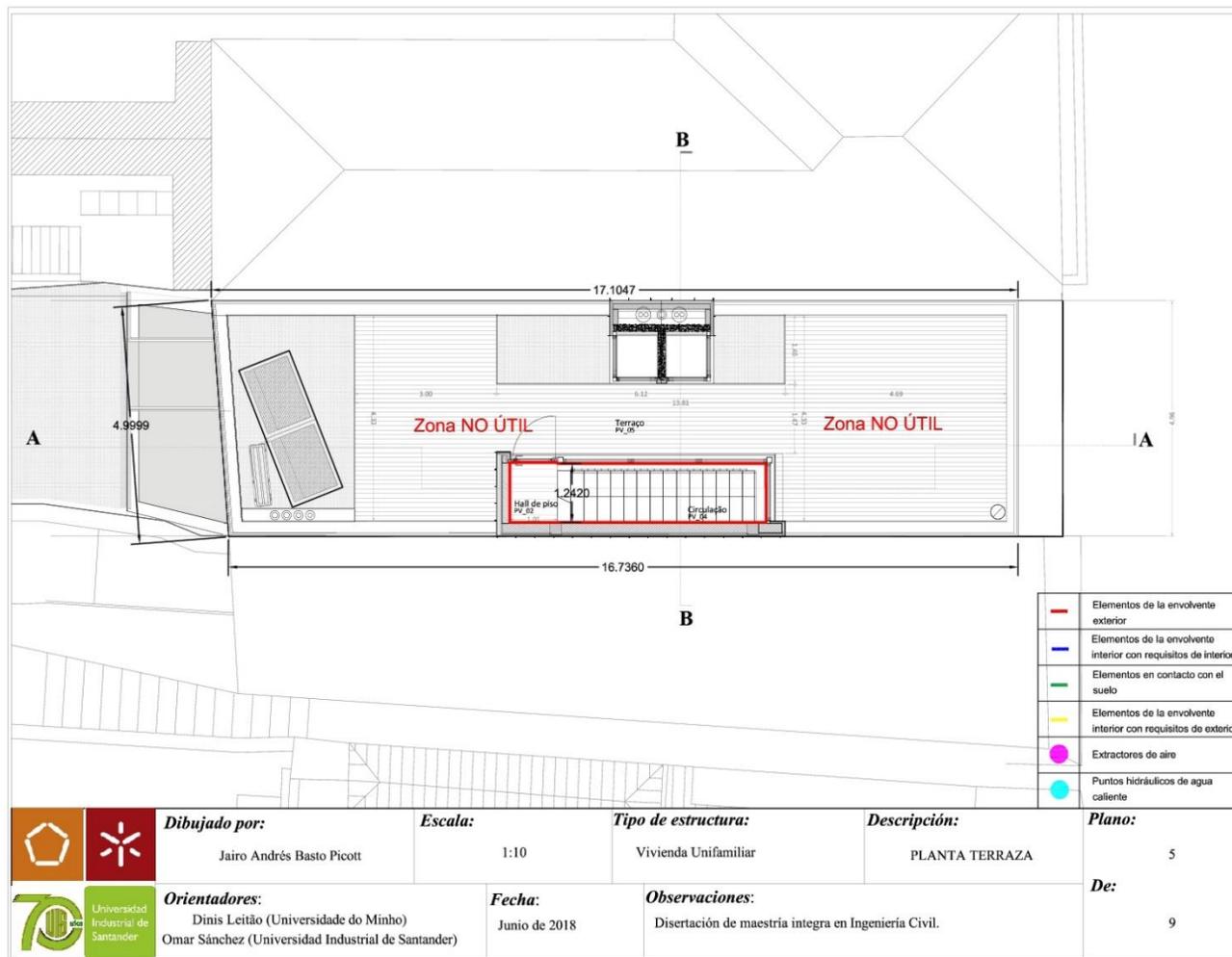


Figura 60. Plano de planta de la terraza del caso de estudio.