



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

TRABAJO FIN DE MÁSTER
TECNOLOGÍA ENERGÉTICA PARA DESARROLLO SOSTENIBLE

“Desarrollo, calibración, ajuste y validación de un modelo de simulación energética de una vivienda tradicional valenciana mediante el uso de TRNSYS 17”

AUTOR: MORENO AIMACAÑA, MARCO ALBERTO

TUTOR: ROYO PASTOR, RAFAEL

COTUTOR: MARTÍNEZ IBERNÓN, ANA

Curso Académico: 2017-2019

“Febrero 2020”

AGRADECIMIENTOS

Aprovecho la ocasión para agradecer en primer lugar a mi tutor Rafael Royo por la oportunidad de trabajar este proyecto en el cual he aprendido mucho.

En segundo lugar, a mi cotutora Ana Martínez por todo su tiempo empleado en la conducción de este trabajo, y por todo el apoyo que me ha brindado.

Finalmente, quiero agradecer a la Senescyt, institución que me ha otorgado una beca para que pueda cursar mis estudios de Máster en esta prestigiosa y reconocida universidad a nivel internacional.

RESUMEN

Disponer de un modelo energético de un edificio en el que se posibilite verificar su capacidad predictiva para que a su vez permita establecer medidas preventivas que hagan que la demanda energética en una situación climatológicamente distinta a futuro no se incremente y se comporte de la manera esperada es determinante a la hora de tomar decisiones por parte del usuario. Este trabajo realiza el estudio energético de una vivienda típica valenciana (alquería) que tras su rehabilitación se desarrolla un modelo energético que conlleva su calibración y ajuste a través del contraste de medidas experimentales tomadas en el interior de la vivienda (monitorizadas a través de cinco sensores) y las obtenidas tras la simulación del modelo, resultado de usar un archivo climatológico en concreto. En el modelo se ajusta las características constructivas finales, las cargas (según datos de consumos reales y ocupantes de la vivienda), el flujo de aire en las zonas térmicas al implementar un sistema de ventilación natural y mecánica, además de introducir las infiltraciones de manera real en el edificio.

El alcance de este trabajo pretende realizar una verificación de la mejora energética que se ha implementado en el estado actual de la vivienda al comparar el efecto que tiene un archivo climatológico como EnergyPlus, Meteonorm o uno propio construido con datos recogidos de la estación meteorológica de la UPV.

El resultado del estudio indica que siempre que se quiera que los modelos energéticos reproduzcan la realidad, se tiene que hacer un estudio exhaustivo del comportamiento, por tal será muy importante cómo esté funcionando el edificio a nivel térmico, así como los hábitos de uso de las personas, y sin dar menor importancia es el uso de un archivo climatológico cercano a la zona de estudio como el caso de la UPV, que aunque no posea peso estadístico como los dos mencionados anteriormente que usan datos recogidos a lo largo de varios años, pero sin embargo tiene datos actuales y medidos en la zona, que servirán para realizar diferentes predicciones a futuro.

Palabras Clave: TRNSYS, TRNBuild, TRNFlow, Trnsys3d, Edificio Multizona, Datos Climatológicos.

RESUM

Disposar d'un model energètic d'un edifici en el qual es possibilita verificar la seua capacitat predictiva perquè al seu torn permeta establir mesures preventives que facen que la demanda energètica en una situació climatològicament diferent a futur no s'incremente i es comporte de la manera esperada és determinant a l'hora de prendre decisions per part de l'usuari. Aquest treball realitza l'estudi energètic d'un habitatge típic valencià (alquería) que després de la seua rehabilitació es desenvolupa un model energètic que comporta el seu calibratge i ajust a través del contrast de mesures experimentals preses a l'interior de l'habitatge (monitorades a través de cinc sensors) i les obtingudes després de la simulació del model, resultat d'usar un arxiu climàtic en concret. En el model s'ajusta les característiques constructives finals, les càrregues (segons dades de consums reals i ocupants de l'habitatge), el flux d'aire en les zones tèrmiques en implementar un sistema de ventilació natural i mecànica, a més d'introduir les infiltracions de manera real en l'edifici.

L'abast d'aquest treball pretén realitzar una verificació de la millora energètica que s'ha implementat en l'estat actual de l'habitatge en comparar l'efecte que té un arxiu climàtic com EnergyPlus, Meteonorm o un propi construït amb dades recollides de l'estació meteorològica de la UPV.

El resultat de l'estudi indica que sempre que es vulga que els models energètics reproduïsquen la realitat, s'ha de fer un estudi exhaustiu del comportament, per tal serà molt important com estiga funcionant l'edifici a nivell tèrmic, així com els hàbits d'ús de les persones, i sense donar menor importància és l'ús d'un arxiu climàtic pròxim a la zona d'estudi com el cas de la UPV, que encara que no posseïska pes estadístic com els dos esmentats anteriorment que usen dades recollides al llarg de diversos anys, però no obstant això té dades actuals i mesurades en la zona, que serviran per a realitzar diferents prediccions a futur.

Paraules clau: TRNSYS, TRNBuild, TRNFlow, Trnsys3d, Edifici Multizona, Dades Climatològiques.

ABSTRACT

To have an energy model of a building in which it is possible to verify its predictive capacity so that in turn it allows to establish preventive measures that make the energy demand in a climatologically different situation in the future does not increase and behaves in the expected way is determinant at the time of taking decisions on the part of the user. This work carries out the energy study of a typical Valencian house (alquería) that after its rehabilitation develops an energy model that involves its calibration and adjustment through the contrast of experimental measures taken inside the house (monitored through five sensors) and those obtained after the simulation of the model, the result of using a specific weather file. The model adjusts the final constructive characteristics, the loads (according to real consumption data and occupants of the dwelling), the air flow in the thermal zones by implementing a natural and mechanical ventilation system, as well as introducing the infiltrations in a real way in the building.

The scope of this work aims to perform a verification of the energy improvement that has been implemented in the current state of the house by comparing the effect of a weather file such as EnergyPlus, Meteonorm or an own built with data collected from the UPV weather station.

The result of the study indicates that whenever it wants the energy models to reproduce reality, an exhaustive study has to be made of the behavior, so it will be very important how the building is working at a thermal level, as well as people's habits of use, and without giving less importance is the use of a weather file close to the study area as the case of the UPV, which although it does not have statistical weight as the two previously mentioned that use data collected over several years, but nevertheless it has current and measured data in the area, which will serve to make different predictions for the future.

Keywords: TRNSYS, TRNBuild, TRNFlow, Trnsys3d, Multizone Building, Weather Data.



DOCUMENTOS CONTENIDOS EN EL TFM

MEMORIA.....	1
ANEXOS	103

ÍNDICE

Contenido de la Memoria

ÍNDICE	xiii
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	3
1.1 ANTECEDENTES	3
1.1.1 Optimización avanzada	5
1.2 OBJETIVO	7
1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO	7
1.4 CONTEXTO ENERGÉTICO Y JUSTIFICACIÓN	9
1.5 ESTRATEGIAS NORMATIVAS	11
1.5.1 Estándar de Construcción Passivhaus	13
1.5.2 Código Técnico de la Edificación (DB HE y DB-HS)	17
CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE DATOS DE ARCHIVOS CLIMATOLÓGICOS	19
2.1 ENERGYPLUS	23
2.2 METEONORM	24
2.3 UPV	25
2.4 COMPARACIONES	26
2.4.1 Empleando Mapa de Calor	27
2.4.2 Empleando Perfil de Curva	30
2.4.3 Empleando Dispersión	31
2.5 PREPARACIÓN DEL ARCHIVO UPV PARA EL MODELO	32
CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	33
3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS	34
3.2 ZONAS TÉRMICAS	36
3.3 ENVOLVENTE TÉRMICA	37
3.3.1 Cerramientos	37
3.3.2 Huecos	39
3.4 CUMPLIMIENTO DE EXIGENCIAS	40
3.4.1 Superaislamiento	40
3.4.2 Inercia térmica	41

3.4.3	Puentes térmicos.....	41
3.4.4	Ventanas y puertas de alta calidad.....	41
3.4.5	Hermeticidad.....	42
3.4.6	Ventilación natural cruzada en verano.....	42
3.4.7	Ventilación controlada con recuperador de calor.....	43
CAPÍTULO 4. GANANCIAS DE CALOR.....		45
4.1	GANANCIA DE CALOR VS. CARGA TÉRMICA.....	45
4.2	MÉTODO DE CÁLCULO.....	46
4.2.1	Flujo de calor Convectivo.....	46
4.2.2	Flujo de calor Radiante.....	47
4.3	GANANCIAS PRESENTES EN EL EDIFICIO.....	48
4.4	GANANCIAS DE CALOR INTERNAS.....	49
4.4.1	Tasas de calor y Potencia.....	49
4.4.2	Estimación del consumo de equipos e iluminación.....	53
4.4.3	Vinculación al modelo.....	57
CAPÍTULO 5. AJUSTE DEL MODELO.....		60
5.1	ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS.....	61
5.1.1	Sin aislamiento.....	61
5.1.2	Con aislamiento.....	63
5.2	GANANCIAS INTERNAS.....	65
5.2.1	Convectivas y Radiantes.....	69
5.3	IMPLEMENTAR VENTILACIÓN NATURAL Y MECÁNICA.....	70
5.3.1	Caudal de Ventilación Mecánica.....	70
5.3.2	Control de Ventilación Natural y Mecánica.....	74
5.3.3	Ajuste.....	77
5.4	CAMBIO DE LOS HÁBITOS ENERGÉTICOS.....	83
5.5	CONTRASTE CON ARCHIVOS ENERGYPLUS Y METEONORM.....	86
CAPÍTULO 6. VALIDACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL MODELO.....		90
6.1	VALIDACIÓN.....	90
6.2	OPTIMIZACIÓN.....	94
6.2.1	Caudal y Rendimiento del Recuperador.....	94
6.2.2	Activación de una Bomba de Calor.....	97

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO.....	99
7.1 CONCLUSIONES	99
7.2 TRABAJO FUTURO	101
BIBLIOGRAFÍA.....	159
FUENTE DE FIGURAS	161

Contenido de los Anexos

ÍNDICE	xiii
ANEXO 1. SIMULACIÓN DEL EDIFICIO	105
1.1 TRNSYS3D PARA SKETCHUP.....	105
1.1.1 Diseño del edificio	105
1.1.2 Tipos de construcción y Condiciones de adyacencia	107
1.2 SIMULATION STUDIO.....	114
1.2.1 Creación del proyecto.....	114
1.2.2 Types utilizados en el modelo.....	115
1.2.3 Conexiones a considerar.....	117
1.2.4 Ecuaciones.....	120
1.3 TRNBUILD	124
1.3.1 Inputs & Outputs	127
1.3.2 Wall Type Manager.....	128
1.3.3 Layer Type Manager	129
1.3.4 Window Type Manager	129
1.3.5 Gain Type Manager	131
1.3.6 Schedule Type Manager	132
1.4 TRNFLOW	133
1.4.1 Air Flow Nodes.....	134
1.4.2 Air Link Type	137
1.4.3 Airflow Network	141
1.4.4 Inputs & Outputs	144
1.5 TEMPERATURAS EN 3D.....	145

ANEXO 2. GRÁFICAS DE DATOS	147
2.1 SENSORES DE LA VIVIENDA	147
2.1.1 Temperatura Interior	149
2.1.2 Humedad Relativa Interior	152
2.2 CURVA DE CARGA ANUAL.....	155
2.2.1 Horaria.....	155
2.2.2 Diaria	156
2.2.3 Mensual.....	156
2.2.4 Total.....	157
BIBLIOGRAFÍA.....	159
FUENTE DE FIGURAS	161

Lista de Figuras

Figura 1. Optimización de superficie de ventanas en la fachada sur	4
Figura 2. Optimización avanzada de superficie de ventanas	5
Figura 3. Demanda total anual para cada estrategia de optimización	6
Figura 4. Emisiones de CO ₂ equivalente por sector. Histórico y proyección a 2030.....	9
Figura 5. Consumo de energía final en el sector residencial	10
Figura 6. Previsión indicativa anual de viviendas rehabilitadas energéticamente del 2021- 2030	10
Figura 7. Jerarquía de cumplimiento de las leyes.....	11
Figura 8. Normativa española vigente respecto a eficiencia energética	13
Figura 9. Renovación de aire para enfriar mediante de tubos enterrados	14
Figura 10. Comportamiento de un edificio con diferente inercia térmica.....	16
Figura 11. Categorías Passivhaus según el factor de EPR consumida y producida	17
Figura 12. Límite del consumo de Energía Primaria total para uso residencial privado	18
Figura 13. Distancia de las estaciones meteorológicas a la vivienda	20
Figura 14. Radiación solar (E)	23
Figura 15. Dirección y velocidad del viento (E)	23
Figura 16. H. Relativa y temperatura ambiente (E)	23
Figura 17. Presión atm. y profundidad nieve (E)	24
Figura 18. Radiación solar (M).....	24
Figura 19. Dirección y velocidad del viento (M)	25
Figura 20. H. Relativa y temperatura ambiente (M).....	25
Figura 21. Radiación solar promedio mensual (izq.) y acumulada (der.), (U)	25
Figura 22. Dirección y velocidad del viento (U)	26
Figura 23. H. Relativa y temperatura ambiente (U).....	26
Figura 24. Comparación de la Rad. Global Horizontal	27
Figura 25. Comparación de la Temperatura Ambiente	28
Figura 26. Comparación de la Humedad Relativa.....	29
Figura 27. Comparación mediante perfil de curva de la Temperatura Ambiente	30
Figura 28. Comparación de la HR = f(T°).....	31
Figura 29. Comparación de la Dir.Viento = f(T°)	31
Figura 30. Formato que contiene el archivo de la UPV para su reconocimiento en TRNSYS	32

Figura 31. Orientación del edificio y la influencia solar en determinada estación	34
Figura 32. Fachadas del edificio incluido dimensiones principales de fachadas y huecos	34
Figura 33. Distribución de los espacios del edificio, PB (arriba) y P1 (abajo)	35
Figura 34. Zonas térmicas del edificio, PB (izq.) y P1 (der.)	36
Figura 35. Factores que intervienen en la radiación de onda corta	42
Figura 36. Esquema del intercambio de calor que realiza un Recuperador	44
Figura 37. Origen de la diferencia entre ganancia de calor instantánea y carga térmica	45
Figura 38. Balance térmico de convección en una zona térmica	46
Figura 39. Balance térmico de radiación hacia paredes y ventanas	47
Figura 40. Ganancias de calor actantes en la simulación energética	48
Figura 41. Tipos de ganancia por la forma que entra al edificio	48
Figura 42. Programación horaria de ocupación de la vivienda	50
Figura 43. Programación horaria de ocupación, estilo gráfico circular	50
Figura 44. Pérdida de energía en forma de calor de bombillas	51
Figura 45. Transferencia de calor convectiva (izq.) y radiante (der.) de un equipo	53
Figura 46. Gráfico de barras del consumo por período de factura	55
Figura 47. Vinculación al modelo de horarios variables para equipos e iluminación	57
Figura 48. Horario diario variable de la cocina de inducción	57
Figura 49. Horario diario variable del frigorífico combi	58
Figura 50. Horario anual variable del convector eléctrico	58
Figura 51. Horario diario variable de la iluminación	58
Figura 52. Horario diario durante todo el año para equipos	59
Figura 53. Pasos a seguir para el ajuste del modelo	60
Figura 54. Modelo para ajuste de elementos constructivos con TRNSYS	61
Figura 55. Ajuste de elementos constructivos sin aislamiento en muros exteriores	62
Figura 56. Detalle del ajuste de elementos constructivos del 6 al 8 de febrero	62
Figura 57. HR en ajuste de elementos constructivos sin aislamiento de muro exterior	63
Figura 58. Ajuste de elementos constructivos con aislamiento en muros exteriores	64
Figura 59. Comparación de temperaturas de las dos plantas de la vivienda	64
Figura 60. HR en ajuste de elementos constructivos con aislamiento de muro exterior	65
Figura 61. Modelo para ajuste de ganancias internas con TRNSYS	66
Figura 62. Ajuste de ganancias internas	67

Figura 63. Detalle del ajuste de ganancias internas de 16 al 21 de febrero	67
Figura 64. Comparación de temperaturas entre plantas, incluido ganancias internas.....	68
Figura 65. HR en ajuste de ganancias internas	68
Figura 66. Cuantificación de las ganancias internas producidas en cada zona	69
Figura 67. Cuantificación de las ganancias por convección y radiación totales	70
Figura 68. Flujos de aire para la ventilación mecánica	71
Figura 69. Intercambio de calor a través de los flujos de aire en el recuperador	74
Figura 70. Ventilación natural cruzada	74
Figura 71. Control de la ventilación en función de cada época del año	75
Figura 72. Modelo para ajuste de implementar la ventilación con TRNSYS	77
Figura 73. Ajuste de probar implementando solo la ventilación natural.....	78
Figura 74. Detalle del ajuste de ventilación natural de 21 al 26 de febrero	78
Figura 75. Detalle del ajuste de ventilación natural del 10 al 14 de julio	79
Figura 76. Ajuste de probar implementando solo la ventilación mecánica	80
Figura 77. Detalle del ajuste de ventilación mecánica del 16 de febrero al 4 de marzo.....	80
Figura 78. Detalle del ajuste de ventilación mecánica del 16 al 27 de agosto.....	81
Figura 79. Ajuste de implementar la ventilación natural y mecánica	81
Figura 80. Detalle del ajuste de ventilación natural y mecánica del 14 al 22 de junio	82
Figura 81. Modelo para refinar el ajuste moficando hábitos energéticos con TRNSYS	83
Figura 82. Refinar el ajuste moficando hábitos energéticos.....	84
Figura 83. Detalle de refinar el ajuste moficando hábitos energéticos del 11-18 agosto.....	84
Figura 84. Detalle de refinar el ajuste moficando hábitos energéticos, 26-oct al 2-nov	85
Figura 85. Humedad Relativa moficando hábitos energéticos	85
Figura 86. Modelo para contrastar con archivos EnergyPlus y Meteronorm	86
Figura 87. Contraste sin refinar el modelo. EnergyPlus, Meteonorm, UPV	88
Figura 88. Contraste refinado el modelo. EnergyPlus, Meteonorm, UPV.....	89
Figura 89. Comparación de variación del caudal, 160 m ³ /h (izq.) y 178 m ³ /h (der.) del 3 al 7 de febrero	96
Figura 90. Control de temperaturas implementando un sistema activo	97
Figura 91. Demanda de calefacción, refrigeración y energía demandada de la vivienda	98
Figura 92. Inercia térmica real vivienda durante una semana de febrero	100
Figura 93. Creación de una zona térmica (izq.) y zona térmica finalizada (der.)	105
Figura 94. Creación de los huecos en la superficie de la zona térmica	106

Figura 95. Diseño final 3D del edificio visto en perspectiva transparente	106
Figura 96. Tipos de Construcciones predinadas en Trnsys3D	107
Figura 97. Definición manual de adyacencia en una superficie	108
Figura 98. Identificación de las adyacencia para la zona SalonCocina	109
Figura 99. Identificación de las adyacencia para la zona Aseo	110
Figura 100. Identificación de las adyacencia para la zona Entrada.....	111
Figura 101. Identificación de las adyacencia para la zona Cambra.....	112
Figura 102. Comprobación de la adyacencia en una superficie.....	113
Figura 103. Creación del modelo con Simulation Studio	114
Figura 104. Archivos generados al crear un proyecto en TRNSYS	114
Figura 105. Vinculación del archivo climatológico al Type respectivo	117
Figura 106. Perfil de temperatura del suelo en función del día del año	119
Figura 107. Perfil de temperatura del suelo en función de la profundidad	119
Figura 108. Parámetros requeridos para calcular la temperatura de suelo	120
Figura 109. Sustitución del Type56 por uno compatible con TRNFlow	124
Figura 110. Números de superficie según la orientación de la fachada	125
Figura 111. Cálculo para la radiación horizontal usando datos externos	126
Figura 112. Conexión de la radiación horizontal al Building usando datos externos	126
Figura 113. Interfaz del Airnode para una zona térmica en TRNBild.....	127
Figura 114. Inputs por defecto del Type56.....	127
Figura 115. Cuadro para la creación de cerramientos opacos.....	128
Figura 116. Cuadro para la creación de un nuevo material en TRNBuild	129
Figura 117. Cuadro para definir el acristalamiento y marco de un hueco	129
Figura 118. U-value del PVC según Catálogo del CTE	130
Figura 119. Biblioteca de acristalamientos de TRNBuild	130
Figura 120. Asociar el hueco a la superficie respectiva del Airnode.....	130
Figura 121. Ingreso de potencia radiante y convectiva de equipos.....	131
Figura 122. Asociar las ganancias al respectivo Airnode	131
Figura 123. Creación de horarios semanales (izq.) y diarios (der.)	132
Figura 124. Concepto de acoplamiento de TRNFlow.....	133
Figura 125. Valores Cp para relación de geometría 2:1, en condición descubierta	134
Figura 126. Cuadro del administrador de External Node en TRNFlow	135

Figura 127. Cuadro del administrador de Auxiliary Node en TRNFlow	135
Figura 128. Definición de la altura del nodo.....	136
Figura 129. Cuadro administrador del Thermal Airnode en TRNFlow	136
Figura 130. Cuadro administrador de Large Opening en TRNFlow.....	138
Figura 131. Cuadro administrador de <i>Straight Duct</i> en TRNFlow	139
Figura 132. Cuadro administrador del <i>Fan</i> en TRNFlow	140
Figura 133. Interpretación de la Red de Flujo de Aire en TRNFlow	143
Figura 134. Generación del archivo *.eso para visualizar las temperaturas en 3D	145
Figura 135. Temperatura interior en 3D más alta de la vivienda.....	145
Figura 136. Temperatura interior en 3D más baja de la vivienda.....	145
Figura 137. Registrador de humedad-temperatura Extech RHT10.....	147
Figura 138. Archivo con datos unificados de sensores de la vivienda	148
Figura 139. Conexión del Type99 de los sensores al modelo	148
Figura 140. Temperatura interior del sensor ubicado en la cocina	149
Figura 141. Temperatura interior del sensor ubicado en la entrada	149
Figura 142. Temperatura interior del sensor ubicado en la entrada derecha	150
Figura 143. Temperatura interior del sensor ubicado en la cambra-cama.....	150
Figura 144. Temperatura interior del sensor ubicado en la cambra-columna.....	151
Figura 145. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la cocina.....	152
Figura 146. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la entrada	152
Figura 147. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la entrada derecha.....	153
Figura 148. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la cambra-cama	153
Figura 149. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la cambra-columna.....	154
Figura 150. Curva de carga anual - horaria.....	155
Figura 151. Curva de carga anual - diaria	156
Figura 152. Curva de carga anual - mensual.....	156
Figura 153. Curva de carga anual - total.....	157

Lista de Tablas

Tabla 1. Valores de optimización de demanda del trabajo previo	6
Tabla 2. Procedencia de los archivos climatológicos empleados	8
Tabla 3. Integración de los diferentes entornos de TRNSYS	8
Tabla 4. Principios básicos en los que se sustenta el estándar Passivhaus.....	15
Tabla 5. Comparación de exigencias del CTE 2019 y Passivhaus	18
Tabla 6. Coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas y la vivienda.....	20
Tabla 7. Variables a analizar de los archivos climatológicos	21
Tabla 8. Datos estadísticos de los archivos climatológicos	22
Tabla 9. Significado de las variables contenidas en el encabezado del archivo *.f90.....	32
Tabla 10. Superficie y volumen de las zonas térmicas.....	36
Tabla 11. Propiedades de los materiales de los cerramientos	37
Tabla 12. Composición de los cerramientos con su respectivo U-value	38
Tabla 13. Composición de los huecos con su respectivo U-value.....	39
Tabla 14. Componentes principales del SATE usado en la envolvente	40
Tabla 15. Tasas de ganancia de calor por persona según la zona térmica.....	49
Tabla 16. Potencia total de la iluminación LED.....	51
Tabla 17. Potencia de los equipos con mayor relevancia en la vivienda que consumen electricidad	52
Tabla 18. Potencia del Recuperador de calor según el caudal de aire	52
Tabla 19. Parte radiante y convectiva de equipos e iluminación.....	54
Tabla 20. Consumos de la vivienda detallados al mes durante el 2018.....	54
Tabla 21. Consumo de equipos e iluminación que producen y no ganancia de calor	56
Tabla 22. Distribución de los elementos que producen ganancias internas.....	59
Tabla 23. Variación del U-value del muro exterior en función del aislamiento	61
Tabla 24. Cálculo de la ventilación mínima exigida por el CTE DB-HS3	71
Tabla 25. Equilibrio de flujos de extracción y suministro de aire	72
Tabla 26. Cálculo del caudal de ventilación mecánica para el Recuperador de Calor	73
Tabla 27. Presión estática y caudal de ventilación según la velocidad del motor	73
Tabla 28. Control de ventilación basado en la temperatura exterior e interior de la vivienda ..	76
Tabla 29. Contraste de resultados de los tres archivos climatológicos	87
Tabla 30. Validación por cada estación del año, sin refinar el modelo energético.....	92

Tabla 31. Validación anual y promedio, sin refinar el modelo energético.....	92
Tabla 32. Validación por cada estación del año, refinado el modelo energético	93
Tabla 33. Validación anual y promedio, refinado el modelo energético	93
Tabla 34. Cálculo del caudal del Recuperador para cada zona si el flujo total es 141 m ³ /h	95
Tabla 35. Comportamiento anual y promedio de la curva simulada al variar el caudal a 141 m ³ /h	95
Tabla 36. Cálculo del caudal del Recuperador para cada zona si el flujo total es 178 m ³ /h	95
Tabla 37. Comportamiento anual y promedio de la curva simulada al variar el caudal a 178 m ³ /h	95
Tabla 38. Energía anual demandada de calefacción y refrigeración en la vivienda	97
Tabla 39. Características de la bomba de calor	98
Tabla 40. Cantidad de objetos creados en el diseño del edificio con Trnsys3D.....	108
Tabla 41. Condiciones de adyacencia establecidas en Trnsys3D para la zona: SalonCocina	109
Tabla 42. Condiciones de adyacencia establecidas en Trnsys3D para la zona: Aseo	110
Tabla 43. Condiciones de adyacencia establecidas en Trnsys3D para la zona: Entrada	111
Tabla 44. Condiciones de adyacencia establecidas en Trnsys3D para la zona: Cambra	112
Tabla 45. Representación de las superficies de sombreamientos en Trnsys3D.....	113
Tabla 46. Types utilizados en el modelo energético de TRNSYS.....	115
Tabla 47. Orientaciones de las superficies del edificio en contacto con el aire exterior	125
Tabla 48. Datos de entrada para el cada Thermal Airnode	136
Tabla 49. Datos de ingreso para cada <i>Large Opening</i> en TRNFlow	139
Tabla 50. Datos de ingreso para cada <i>Straight Duct</i> en TRNFlow.....	140
Tabla 51. Datos de ingreso para el <i>Fan</i> en cada punto de Extracción y Suministro de aire.....	141
Tabla 52. Air links de flujos de aire en TRNFlow	142
Tabla 53. Contenido multimedia de la alquería para visualizar o descargar	146
Tabla 54. Distribución de los sensores en la vivienda.....	147

Nomenclatura

AEMET:	Agencia Estatal de MET eorología
Airnode:	Espacio de aire representado por un nodo térmico en una zona
ASHRAE:	A merican S ociety of H eating, R efrigerating and A ir- C onditioning E ngineers
COP:	C oefficient O f P erformance (eficiencia en calefacción)
CTE:	Código Técnico de la Edificación
CTS:	C onduction T ime S eries
DB-HE:	Documento B ásico de a Horro E nergético
DB-HS:	Documento B ásico de S alubridad
EER:	E nergy E fficiency R atio (eficiencia en refrigeración)
EPNR:	Energía P rimaria N o R enovable
EPW:	E nergy P lus W eather file
IDAE:	Instituto para la D iversificación y A horro de la E nergía
IEA:	I nternational E nergy A gency
IGME:	Instituto G eológico y M inero de España
Input:	Variable de entrada en la simulación de un modelo
MAPE:	M ean A bsolute P ercentage E rror (Error porcentual absoluto medio)
Output:	Variable de salida o resultado en la simulación de un modelo
PNIEC:	P lan N acional I ntegrado de E nergía y C lima
RMSE:	R oot M ean S quare E rror (Raíz del error cuadrático medio)
RTS:	R adiant T ime S eries
TRNSYS:	T Ra N sient S Ystem S imulation
Type:	Componente descrito por un modelo matemático en el motor de simulación de TRNSYS y representado en el Simulation Studio
UPV:	U niversidad P olitécnica de V alencia
U-value:	Transmitancia térmica



DOCUMENTO

MEMORIA

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1.1 ANTECEDENTES

El presente documento recoge la continuidad de un Trabajo Fin de Grado¹ previo, en el que se realizó el estudio energético de una vivienda típica valenciana (alquería) con el objetivo de reducir la demanda energética de climatización, en donde se analizaron un conjunto de medidas para llegar a cumplir el límite de demanda impuesto por el estándar Passivhaus² de 15 kWh/m²-año, tanto para calefacción como para refrigeración, de esta manera incrementando las ganancias de calor y reduciendo las pérdidas de energía en invierno, y lo contrario en verano.

Las decisiones analizadas consistieron en estrategias de diseño que se fueron implementando una a una para reducir la demanda e ir probando cual afecta más y cual no, para de esta forma tomar la mejor decisión en cada una de las medidas elegidas. Teniendo en cuenta que las medidas se establecieron de acuerdo al estándar Passivhaus estas fueron pasivas en su mayoría, como se especifica [1]:

Pasivas

- Aislamiento
- Superficie de ventanas en fachadas
- Sombreamiento de ventanas
- Ventilación natural cruzada

Activas

- Ventilación con recuperador
- Sobreventilación controlada

El uso de un recuperador de calor para la ventilación mecánica en el estándar Passivhaus se considera como característico del mismo, razón por la cual esta medida también se podría considerar como pasiva.

Se tiene en cuenta que la vivienda tenía 101.97 m² de superficie y 227.86 m³ de volumen, además se partía de condiciones no favorables y se iba a rehabilitar para su uso, donde la demanda de calefacción y refrigeración total de la vivienda eran de 320 y 16 kWh/m² respectivamente, teniendo como temperaturas límite de confort entre (20-26) °C, pues sin duda valores de demanda que estarían fuera del límite del estándar, pero sobre todo la demanda de calefacción ya que en la vivienda había altos niveles de infiltración en los cerramientos que conforman la envolvente del mismo, además de que carecía de aislamiento térmico y tampoco se tenía la correcta distribución de ventanas, así como la cantidad necesaria de las mismas en las diferentes fachadas.

¹ Este apartado de ANTECEDENTES tiene como finalidad recoger información y datos obtenidos del trabajo realizado previamente por Ana Martínez, para una mejor comprensión del desarrollo del presente documento.

² Estándar de construcción basado en la arquitectura sostenible para que un edificio sea energéticamente eficiente. Más adelante se realizará una introducción a esta normativa y la comparación con otras.

El desarrollo de la optimización energética de la vivienda se comenzó por la parte de mayor demanda, y una vez conseguida está se siguió con la reducir la demanda de refrigeración. Para ello se iba sumando cada estrategia a la anterior, cumpliendo el orden siguiente:

- a) Se empezó por aumentar las superficies de las ventanas en la fachada sur, cambiando el espesor del aislamiento de la envolvente y ensayando los rendimientos del recuperador. Así los mejores resultados se atribuyeron a que se debería usar lana mineral de roca como aislamiento (12 cm en cubierta y muros, y 16 cm en el suelo de la planta baja), aumentar las superficies de las ventanas sur³ a 2.4 m² (ver Figura 1), y que el recuperador funcionase con una eficiencia del 75% entendida como la tasa de recuperación de calor. De esta manera, las demandas fueron en torno a los 5 y a 28 kWh/m² para calefacción y refrigeración respectivamente.
- b) Una vez logrado establecer la demanda bajo el límite para la calefacción se actúa para bajar la demanda de refrigeración, realizando sombreadamientos a las ventanas sur y aumentando el caudal de ventilación en el período de refrigeración señalado. Teniendo como mejor resultado el activar sombras en un periodo del año (4-may al 5-nov) a la vez que la temperatura interior sea mayor a 24 °C, además de sobreventilar a 6 ren/h cuando la temperatura exterior sea menor o igual a 25 °C. De esta manera, se logra mantener casi invariable la demanda de calefacción y se baja a alrededor de 13 kWh/m² la demanda de refrigeración.
- c) Se ensaya con bajar aún más la demanda de refrigeración ya que la ventilación controlada con el recuperador no juega a favor en todo momento y se decide que para los meses de verano (15-jun al 13-sep) no se use el recuperador y que por las noches no exista sobreventilación en el dormitorio por cuestiones de confort. De este modo, se obtiene una demanda de 4.82 y 8.63 kWh/m² para calefacción y refrigeración respectivamente.

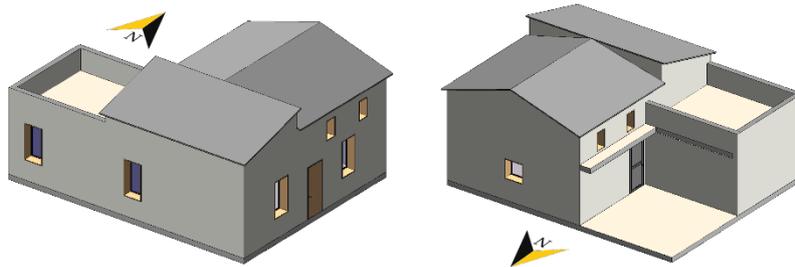


Figura 1. Optimización de superficie de ventanas en la fachada sur

Cumplidas las expectativas del estándar Passivhaus, de aquí se parte para implementar una optimización más avanzada en la que el objetivo sea obtener un consumo de energía casi nulo.

Para lograr esto se vuelve a actuar sobre varios de los parámetros anteriormente ejecutados, adicionalmente se ensaya con las superficies de ventanas del resto de fachadas (norte, este, oeste), se implementa diferente tipo de acristalamiento en las ventanas y se analiza si es conveniente el uso de una carpintería con rotura de puente térmico⁴.

³ Esto es considerando que la dimensión de una ventana es de 1.5×0.8 m que da una superficie de 2.4 m².

⁴ Finalmente, en el trabajo anterior se indicó que el uso de una carpintería con rotura de puente térmico no justifica un cambio de ésta ya que la variación de la demanda total es casi despreciable.

1.1.1 Optimización avanzada

Una vez cumplido con el límite del Passivhaus, el objetivo es reducir la demanda a valores cercanos a cero para que así el consumo igualmente sea prácticamente nulo. Para esto se implementó estrategias más avanzadas de optimización donde los resultados conseguidos de cada una iban reduciendo las demandas según se sumaba la estrategia precedente de la siguiente forma:

- I. Se parte de que la vivienda está sin aislamiento y que arquitectónicamente posee las superficies de las ventanas sur con 2.4 m², como se muestra en la Figura 1. Eliminación de infiltraciones cumpliendo con el estándar Passivhaus, implementación de una ventilación de 0.6 ren/h, y se incorpora las cargas térmicas de los aparatos y personas según horarios de habitabilidad comunes.
- II. Aislamiento con lana mineral de roca en toda la envolvente de la vivienda, con un espesor de 16 cm.
- III. Cambio de acristalamientos en todas las ventanas por vidrios bajo emisivos 4/8/4.
- IV. Adición de 3 ventanas extras en la fachada sur, como se muestra en la Figura 2.
- V. Sombreamiento en ventanas de las fachadas sur, este y oeste en época estival.
- VI. Puesta en marcha del recuperador todo el tiempo y una ventilación adicional (sobreventilación) con un control de activación establecido para la época de verano.
- VII. Llevar a cabo una ventilación mecánica controlada para el recuperador y una ventilación natural con periodos de activación optimizados para ambos.

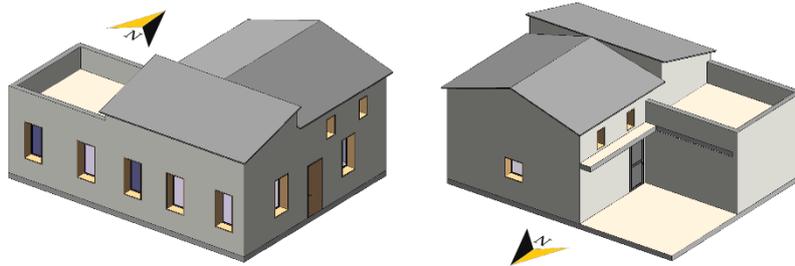


Figura 2. Optimización avanzada de superficie de ventanas

Se puede evaluar que a medida que se iba implementando las estrategias de optimización avanzadas descritas anteriormente, la demanda se iba reduciendo conforme se puede observar en la Tabla 1, teniendo en cuenta que se partía de un modelo energético que no tenía incorporado cargas térmicas, a consecuencia de que la vivienda estaba deshabitada pero lista para ser rehabilitada⁵.

La Figura 3 es una gráfica de la Tabla 1, donde se puede evaluar que tras la rehabilitación se logró mejorar mayormente la demanda de calefacción y al final de llevar a cabo toda la optimización se puede observar que se cumplió con el objetivo del trabajo en obtener una demanda para calefacción y refrigeración muy cercanas a cero⁶.

⁵ Antes de la rehabilitación la vivienda consistía de dos plantas que no tenían comunicación interna entre las mismas, y a la planta superior se accedía por una escalera que estaba situada en el patio.

⁶ Hoy en día es uno de los principales propósitos de la Comisión Europea que los edificios sean de muy bajo consumo de energía en la línea de lo que plantea el estándar Passivhaus, es por esto que los países que la integran en 2020 están obligados a desarrollar estándares de eficiencia energética.

Tabla 1. Valores de optimización de demanda del trabajo previo

Estrategia	Demanda de calefacción (kWh/m ²)	Demanda de refrigeración (kWh/m ²)	Demanda total (kWh/m ²)
Sin rehabilitar	320	16.2	336.3
I	137.5	42.2	179.6
II	11.2	24.7	36
III	6.9	25.1	32
IV	3.4	32.9	36.3
V	3.4	16.1	19.6
VI	0.1	7.1	7.2
VII	0.1	1.7	1.8

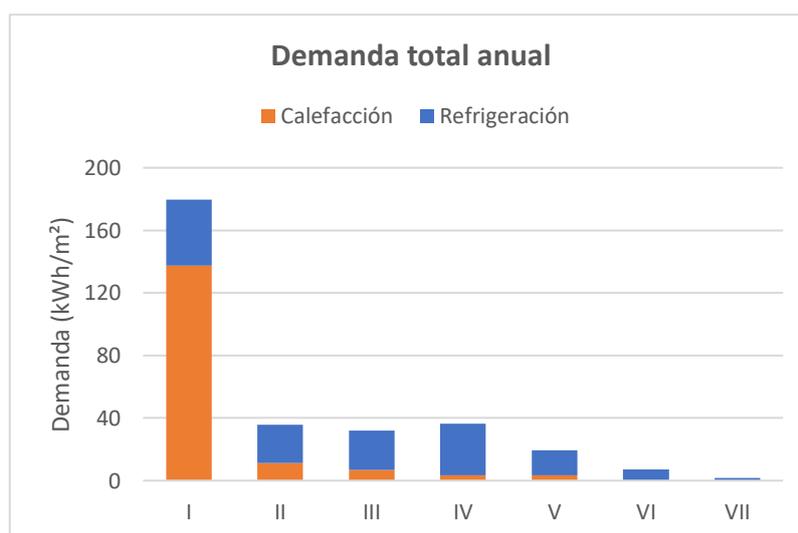


Figura 3. Demanda total anual para cada estrategia de optimización

Una vez concluida la optimización energética del trabajo previo en 2015, posteriormente se tomó en cuenta varias de las estrategias, que se llevaron a cabo en la rehabilitación real de la vivienda entre 2016-2017. Cabe indicar que no se optó por considerar todas las estrategias optimización energética estudiadas debido a diferentes razones como, el cambió la distribución y diseño, la ampliación de la superficie de la vivienda, entre otras.

Hoy en día el diseño del edificio ya rehabilitado es algo distinto al que se analizó anteriormente, además que la composición de los cerramientos y ventanas es diferente a las que se habían estudiado en ese entonces. Esto más otros factores como la experiencia de la habitabilidad en la vivienda por parte del usuario, hacen que se requiera un estudio nuevo con todos los factores y características propios y externos de la misma.

Varios de los nuevos factores reales a tener en consideración se analizarán a lo largo del desarrollo del presente trabajo, algunos de ellos contemplados desde el punto de vista del usuario, ya que se tiene que residir para darse cuenta de cómo funciona en la realidad la vivienda. Particularidades del comportamiento energético que son útiles al momento de tomar decisiones para realizar un cambio, mejora o continuo uso de estas por parte del usuario. Comportamiento que se llevará a cabo a través de un modelado energético.

1.2 OBJETIVO

El objetivo principal del presente documento es llevar a cabo un estudio en el que se ajuste, compare y valide el modelo energético de una alquería o vivienda típica valenciana, apoyándose de la simulación realizada mediante software, que posibilite verificar su capacidad predictiva al hacer pronósticos sobre su comportamiento, para que a su vez permita establecer medidas preventivas que hagan que la demanda energética de la vivienda en estudio, en una situación climatológicamente distinta en el futuro no se incremente y se comporte de la manera esperada.

Los objetivos específicos para lograr el comportamiento energético esperado de la vivienda (en adelante también edificio) son:

- Desarrollar un archivo climatológico actual y propio, generado a lo largo de todo un año con datos realmente cercanos al emplazamiento del edificio, y comprobar que la simulación con este archivo es más cercana a la realidad, en comparación con el uso oficial de reconocidos pero antiguos archivos climatológicos.
- Definir las características geométricas del edificio y la composición actual de los cerramientos existentes en toda la envolvente.
- Introducir las ganancias de calor internas reales que se producen en el edificio, consecuencia de la ocupación de las personas y horas de funcionamiento de equipos e iluminación, considerando el consumo emitido cada mes por las facturas de electricidad.
- Simular de una manera real el comportamiento que tiene el edificio con la influencia que representa poner en marcha la ventilación mecánica o natural.
- Proponer al usuario estrategias energéticas del uso adecuado de la vivienda que sean producto del análisis de los resultados obtenidos, de tal manera que se consigan ahorros energéticos manteniendo el confort térmico al interior de la misma.
- Cumplir con la normativa española vigente, considerando que la limitación a la demanda se la cuantifica a través de la transmitancia térmica de la envolvente, y el consumo energético límite a través de la EPNR⁷ y EP total.
- Considerar los principios básicos que plantea el estándar Passivhaus, siguiendo la línea de su característica principal en mantener un alto confort al interior del edificio con un bajo consumo de energía.

1.3 ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

La estructura para ejecutar el estudio consta de tres partes principales:

1. Creación de un archivo climatológico propio del emplazamiento del edificio.
2. Uso de herramientas informáticas para simular el modelo energético.
3. Uso de parámetros estadísticos para la validación del modelo.

La primera, trata de la recopilación de datos climatológicos de todo el año 2018 solicitados a la Unidad de Medio Ambiente de la UPV para crear un archivo de código de lectura compatible con el software empleado (ver capítulo 2.5), que será utilizado para el estudio del modelo energético y que a su vez éste será comparado con diferentes archivos climatológicos para evaluar las

⁷ Acrónimo utilizado para definir al consumo energético de energía primaria de origen no renovable, expresado generalmente en kWh/m²·año.

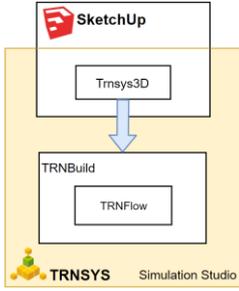
diferencias que se tiene en el modelo y si procede su validación. Los archivos con los que también se realiza el estudio y tienen un respaldo netamente estadístico por sus fuentes de procedencia son los que se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Procedencia de los archivos climatológicos empleados

Fuente	Archivo Climatológico	Extensión
EnergyPlus Weather Files	ESP_Valencia.082840_IWEC	
Meteonorm Files	ES-Valencia-Airp-82840	
Universidad Politécnica de Valencia	Estación-VLC-UPV-2018	

La segunda, se basa en el uso de un programa de simulación energética llamado TRNSYS⁸ en su versión 17 que posee diversos entornos comunicados entre sí como se indica en la Tabla 3. Para mayor comprensión de cómo se utilizaron estas herramientas informáticas en el desarrollo del modelo se puede seguir simultáneamente el ANEXO 1. En primer lugar, se utilizó Trnsys3D para ingresar las características geométricas del edificio, así como establecer las condiciones de adyacencia entre los diferentes tipos de construcciones y el exterior. Luego, se usa Simulation Studio para crear un proyecto donde se conectan los parámetros necesarios para que el modelo funcione con todas las condiciones reales que le afectan energéticamente; a su vez en este se inserta el modelo 3D creado anteriormente y con TRNBuild se incorpora características no geométricas como, materiales, construcciones, horarios, ganancias de calor interna y climatización. Por último, con TRNFlow, una herramienta dentro de la anterior permite calcular el flujo de aire al interior de las zonas térmicas al implementar un sistema de ventilación natural y mecánica, además de introducir las infiltraciones de manera real en el edificio.

Tabla 3. Integración de los diferentes entornos de TRNSYS

Herramienta	Logo	Función	Integración
Trnsys3D paraSketchUp		Ingresa la geometría del edificio y condiciones de adyacencia	
Simulation Studio		Crea el modelo energético con las conexiones entre componentes	
TRNBuild		Incorpora construcciones, materiales, horarios y ganancias	
TRNFlow		Implementa ventilación natural y mecánica, e infiltraciones	

La tercera, se apoya en el uso de parámetros estadísticos como el MAPE y RMSE para establecer que el modelo energético creado con el archivo climatológico procedente de datos de la UPV puede ser válido como archivo estadístico para utilizarse en condiciones futuras y predecir el comportamiento del edificio si se modifica algún parámetro específico, p.ej. ganancias, etc.

⁸ Acrónimo de un software que se utiliza para simular el comportamiento de sistemas transitorios.

1.4 CONTEXTO ENERGÉTICO Y JUSTIFICACIÓN

Hoy en día es trascendental actuar para contrarrestar el cambio climático que asecha a todo el planeta y como prioridad fundamental es reducir las emisiones contaminantes que lo producen sino a final de siglo tendremos un incremento de la temperatura media del planeta de 3.2 °C trayendo consecuencias graves para el mismo y los seres que lo habitamos. Para hacer frente a esta problemática desde la política energética de España que está influida por un acuerdo global alcanzado en París en 2015, existe un Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) que ha sido catalogado como el mejor de la UE, desde el que se pretende reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a través de la inclusión de energías renovables y eficiencia energética.

En un contexto global se pretende reducir las emisiones de 327 millones de toneladas de CO₂ equivalente (MtCO₂-eq) a 227 MtCO₂-eq para finalizar el 2030. Los sectores que más reducen emisiones según el PNIEC respecto a 2020 son generación eléctrica, transporte, industria (combustión) y residencial, teniendo este último una reducción de 7 MtCO₂-eq, y todos estos cuatro sectores en conjunto representan un ahorro del 86% del total de emisiones de CO₂ que se emitirían al ambiente [2], como se indica en la Figura 4.

Años	1990	2005	2015	2020*	2025*	2030*
Transporte	59.199	102.310	83.197	85.722	74.638	57.695
Generación de energía eléctrica	65.864	112.623	74.051	63.518	27.203	19.650
Sector industrial (procesos de combustión)	45.099	68.598	40.462	40.499	37.246	33.530
Sector industrial (emisiones de procesos)	28.559	31.992	21.036	21.509	22.026	22.429
Sectores residencial, comercial e institucional	17.571	31.124	28.135	26.558	23.300	19.432
Ganadería	21.885	25.726	22.854	23.247	21.216	19.184
Cultivos	12.275	10.868	11.679	11.382	11.086	10.791
Residuos	9.825	13.389	14.375	13.657	11.898	9.650
Industria del refino	10.878	13.078	11.560	12.247	11.607	10.968
Otras industrias energéticas	2.161	1.020	782	721	568	543
Otros sectores	9.082	11.729	11.991	14.169	13.701	13.259
Emisiones fugitivas	3.837	3.386	4.455	4.715	4.419	4.254
Uso de productos	1.358	1.762	1.146	1.231	1.283	1.316
Gases fluorados	64	11.465	10.086	8.267	6.152	4.037
Total	287.656	439.070	335.809	327.443	266.343	226.737

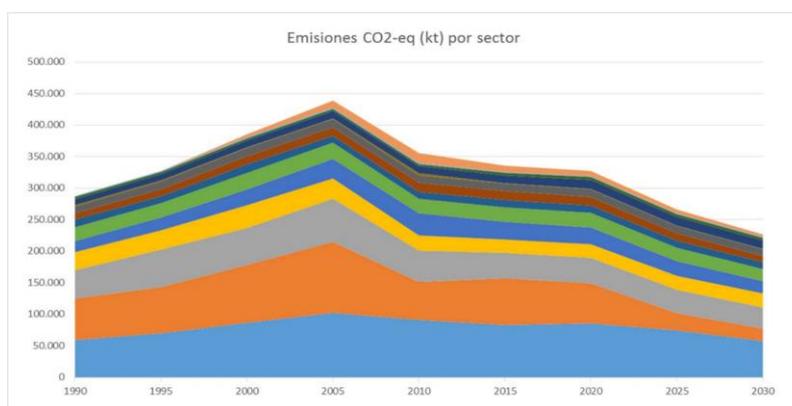


Figura 4. Emisiones de CO₂ equivalente por sector. Histórico y proyección a 2030

Es por ello que, desde el sector residencial, objeto de este trabajo resulta fundamental participar con la reducción de emisiones de uno de los cuatro sectores que más influencia tiene, y permanece alineados a las políticas establecidas del PNIEC para aumentar la proporción de energías renovables y mejorar la eficiencia energética para alcanzar el horizonte del 2030.

Siguiendo en la misma línea, pero teniendo en cuenta de que fuente proviene la energía final del sector residencial, resulta que no ha sido muy alentador a la actualidad en cuanto al uso de las energías renovables, pero como se dijo anteriormente que se tiene como propósito el incrementar el uso de estas y reducir drásticamente la dependencia de productos petrolíferos, así como disminuir el resto de energías proveniente de otras fuentes de producción. Si se interviene activamente y se cumple con esta previsión se incrementará la contribución de energías renovables como energía final pasando de 2.6 millones de toneladas equivalentes de petróleo (Mtep) en 2020 a 3.1 Mtep para el final del 2030, es decir un incremento del 19% como la segunda fuente principal de energía final, como se indica en la Figura 5, mostrando también una comparativa con el sector terciario.

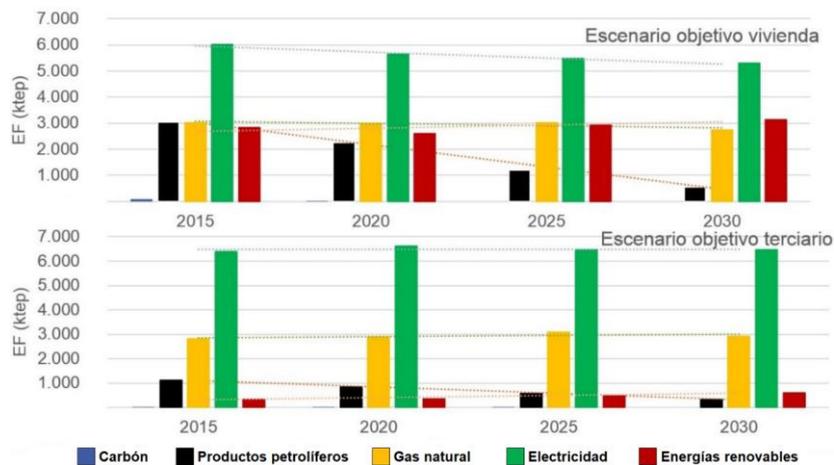


Figura 5. Consumo de energía final en el sector residencial

Profundizando más en relación con el estudio de este trabajo se tiene planificado intervenir en 1 200 000 viviendas para su rehabilitación en el periodo comprendido desde 2021 hasta 2030 (ver Figura 6), es por ello que es esencial elaborar modelos energéticos de viviendas nuevas o a rehabilitar, en los que se analice la reducción del consumo de energía para satisfacer las mismas demandas o dicho de otra manera el incremento de la eficiencia energética. Por consiguiente, se justifica el hacer un uso eficiente de la climatización en las viviendas, como intenta llevar a cabo el estudio de este trabajo a través del estudio eficiente de una ventilación natural y mecánica proveniente del recuperador de calor conservando temperaturas internas de confort.

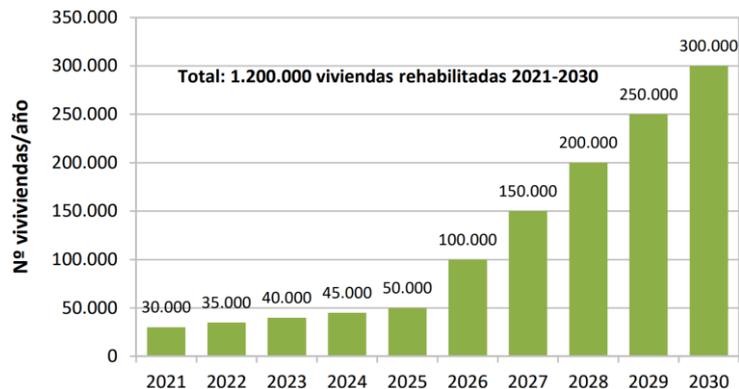


Figura 6. Previsión indicativa anual de viviendas rehabilitadas energéticamente del 2021-2030

Asimismo, el realizar estos modelos energéticos en edificios existentes en el sector residencial permite establecer medidas de eficiencia energética como mejorar las condiciones de ventilación del edificio, verificar que la envolvente térmica consiga reducir las pérdidas de energía, entre otras. Es por ello que este trabajo pretende realizar una verificación final de la mejora energética que se ha implementado en el estado actual de la vivienda, haciendo uso de diferentes archivos climáticos para verificar el comportamiento de la misma, y además aportar posibles sugerencias al usuario si es que hay que cambiar algún hábito de uso energético en la vivienda que afecte la calidad del ambiente interior, por ende, el bienestar del mismo.

1.5 ESTRATEGIAS NORMATIVAS

Para llevar a cabo los objetivos que se plantean en el contexto energético dentro nuestro ámbito de estudio, se tiene que cumplir con un marco normativo para mejorar la eficiencia energética de los edificios residenciales, y por consiguiente la reducción de gases de efecto invernadero. A continuación, se exponen las estrategias normativas en cuestión de eficiencia energética aún vigentes que ayudaran a conseguir tales propósitos. Cabe enfatizar que estas tienen una jerarquía de cumplimiento, donde cada una está condicionada por objetivos generales planteadas en su normativa superior, ver Figura 7.

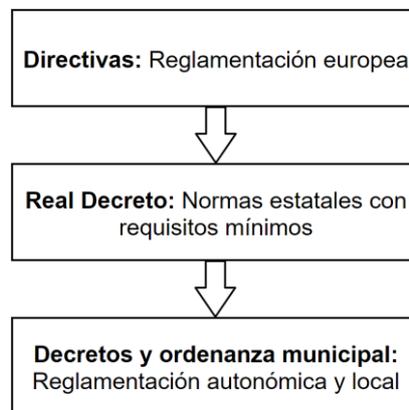


Figura 7. Jerarquía de cumplimiento de las leyes

Normativas europeas

Conocidas como Directivas Europeas que obligan a cumplir objetivos concretos a todos los países miembros de la Unión Europea (UE) o a un país en específico. Tienen como Estrategia Europea alcanzar el “Energy 2020” y hasta el “Energy 2050”. La primera estrategia propone reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en 20%, incrementar a un 20% la producción de energía primaria de carácter renovable e incrementar un 20% la eficiencia energética, todo hasta finales del 2020; mientras que la segunda tiene como meta a 2050 conducir hacia una sociedad baja en carbono. Dos principales Directivas que pretenden conseguir estos objetivos son:

1. **Directiva 2010/31/UE** relativa a la eficiencia energética de los edificios, del Parlamento Europeo y del Consejo, junio del 2010.
2. **Directiva 2012/27/UE** relativa a la eficiencia energética de los edificios, del Parlamento Europeo y del Consejo, octubre del 2012.

La primera Directiva elimina una anterior denominada “Directiva 2002/91/CE:EPBD” y establece nuevas exigencias como:

- Endurecimiento de los requisitos de eficiencia energética en los edificios que deberán ser revisados periódicamente en intervalos no superiores a los 5 años.
- Revisión de la normativa española.
- Fomentar la construcción de edificios con consumo de energía casi nulo⁹.
- A partir del 2021 **todo** edificio nuevo debe ser de consumo de energía casi nulo.

La segunda Directiva plantea un marco común de medidas para el fomento de la eficiencia energética, además propone auditorías y sistemas de gestión en la que se quiere que todos sus estados miembros los adopten.

Normativas españolas

Las normativas que en España están subordinadas por las Directivas europeas, se regulan a través de los Reales Decretos, y en lo que concierne a eficiencia energética en la edificación se tiene:

1. **Real Decreto 235/2013**, del 5 de abril, en el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.
2. **Real Decreto 238/2013**, del 5 de abril, en el que se modifican determinados artículos e instrucciones técnicas del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), aprobado por Real Decreto 1027/2007, del 20 de julio y corrección de errores.
3. **Real Decreto 314/2016**, del 17 de marzo, aprueba el Código Técnico de la Edificación
4. **Real Decreto 564/2017**, a través de éste se hizo una modificación del RD 235/2013 en la Disposición Adicional Segunda, en la que decía que “todos los edificios nuevos que se construyan a partir del 31 de diciembre de 2020 serán de consumo de energía casi nulo” y se agregó la condición donde dice que “los requisitos mínimos que deben satisfacer los edificios serán los que en cada momento los determine el CTE”.
5. **Orden FOM/1635/2013**, del 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE de Ahorro de Energía, del Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado por Real Decreto 314/2006, del 17 de marzo.
6. **Real Decreto 732/2019**, del 20 de diciembre, en el que modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2016.

Esta breve evolución de la normativa que rige en el ámbito de la eficiencia energética en la edificación se la puede entender mejor en la Figura 8, así como destacar que acaba de ser publicado un BOE¹⁰ donde mediante Real Decreto 732/2019 se ha modificado el CTE entrando en vigencia el nuevo CTE DB-HE 2019 pero la **aplicación** del mismo será obligatoria 9 meses después de su entrada en vigor, es decir, contados a partir del 28 de diciembre de 2019 inclusive.

Este documento nos obliga a diseñar de una manera diferente tanto los nuevos edificios, como los que se amplíen o reformen con casi con las mismas exigencias, motivo por el cual las futuras construcciones deberán regirse a una normativa más exigente.

⁹ También conocidos en inglés como “nearly zero energy building” (nZEB), o en español las siglas ECCN.

¹⁰ Boletín Oficial de Estado

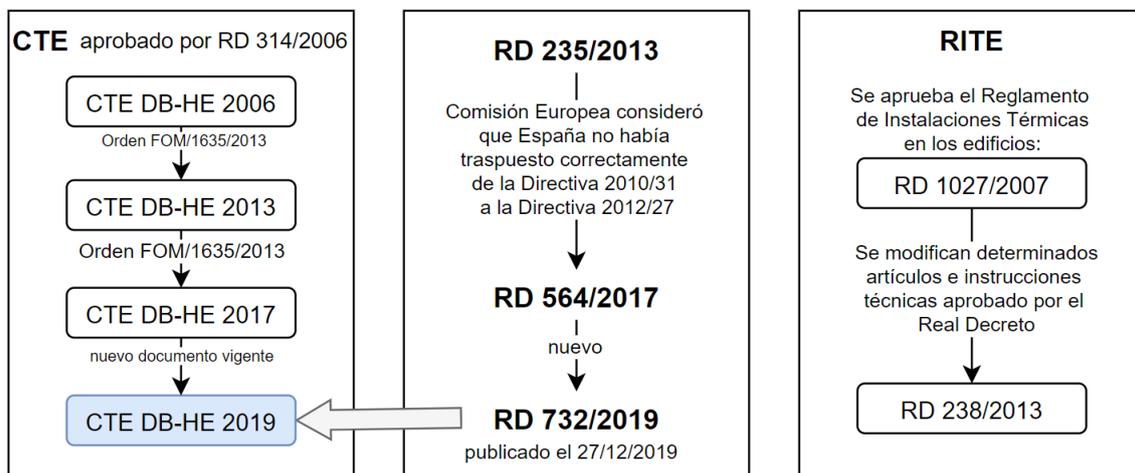


Figura 8. Normativa española vigente respecto a eficiencia energética

Es importante indicar que la normativa del CTE aplicada al estudio de este trabajo, se ha llevado a cabo con dos Documentos Básicos, siendo el primero el de *Ahorro de Energía* en su última versión DB-HE-2019, y el segundo Documento Básico el de *Salubridad* en se apartado de calidad de aire interior DB-HS3-2017, donde el uso y aplicación de este último será justificado en el CAPÍTULO 5.

1.5.1 Estándar de Construcción Passivhaus

Estándar originario de Alemania y sus alrededores que actualmente se está extendiendo a climas mediterráneos y no debe ser confundido con un sello medioambiental ni una marca comercial sino es una metodología de diseño y construcción donde su principal característica es adoptar medidas pasivas en las que se combina un elevado confort interior con un muy bajo consumo de energía.

Por lo cual un edificio pasivo que cumpla con el estándar debe estar caracterizado por tener gran espesor en el aislamiento de la envolvente térmica además de ser muy riguroso con el control de los puentes térmicos y las infiltraciones no deseadas, una gran calidad de los materiales en las puertas y ventanas, un aprovechamiento óptimo de la radiación solar, sin olvidar el uso de ventilación mecánica con recuperador de calor para alcanzar una buena climatización al interior sin necesidad de recurrir a otros sistemas. [3]

Asimismo, los criterios con los que se diseña un edificio Passivhaus se deben basar en acertada combinación y optimización de:

- **Orientación:** una buena orientación contribuye a tener una favorable iluminación natural, acumulación de calor solar en invierno o protegerse de la radiación solar en verano. Por ello es que la orientación influye en la demanda energética del edificio. Además, permite el aprovechamiento de la energía solar gratuita para la calefacción pasiva en invierno, y es fundamental para climas con una alta radiación solar como es el caso de la vivienda en estudio, que se encuentra en un clima mediterráneo con una orientación idónea dado que, una de las fachadas que cuenta con varias ventanas se orienta hacia el sur. De la misma forma, no se debe olvidar la implementación de voladizos o simplemente sombreamiento al interior para la protección del sol en verano.

- **Compacidad:** Definida como el cociente entre la superficie envolvente exterior y el volumen que encierra, así una alta compacidad reduce las pérdidas energéticas del edificio, es decir mientras más bajo sea el valor obtenido se tendrá mayor compacidad. No obstante, no se la debe tener como un objetivo sino más bien como una consideración en el diseño arquitectónico del edificio, siendo tan solo un parámetro más para reducir la demanda energética. Como ejemplo de la misma se muestra la compacidad de la alquería, o como lo define el CTE, Ecuación [1] y [2], respectivamente:

$$Compacidad = \frac{Superficie_{envolvente}}{Volúmen_{encerrado}} = \frac{291.48 \text{ m}^2}{267.27 \text{ m}^3} = 1.09 \text{ m}^{-1} \quad [1]$$

$$Compacidad_{CTE} = \frac{Volúmen_{encerrado}}{Superficie_{envolvente}} = \frac{267.27 \text{ m}^3}{291.48 \text{ m}^2} = 0.917 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2} \quad [2]$$

- **Sombreamiento:** Una característica del estándar es adoptar medidas pasivas y que mejor que tener calefacción gratuita en invierno a través de la energía solar, pero se debe poseer sombreado frente a la radiación en verano ya que es un inconveniente por sus elevadas temperaturas. La protección frente a la radiación solar permite optimizar los huecos del edificio para así maximizar las ganancias solares en invierno y reducirlas en verano.
- **Reflectividad solar:** Así mismo es importante que las ventanas posean vidrios con buena reflectividad así se disminuye la absorción de la radiación solar, y en consecuencia disminuyendo la demanda de refrigeración en verano. Esto no es muy favorable en verano en países al norte de Europa ya que las temperaturas no son tan desfavorables.

Un criterio que no se remonta en el diseño del estándar sino más bien en uno de sus principios es la ventilación con recuperación de calor, pero en climas cálidos o donde la temporada veraniega se caracteriza por temperaturas elevadas se debe considerar medidas para que el enfriamiento sea igualmente pasivo, como protecciones solares en las ventanas o el mantener aire interior a temperatura moderada a través de la renovación exterior con tubos enterrados debajo del edificio, como se muestra en la Figura 9

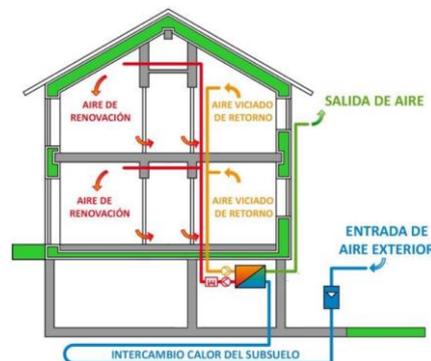
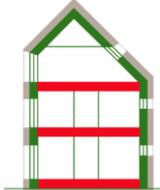
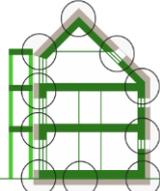
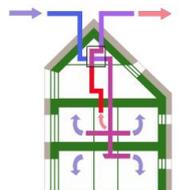
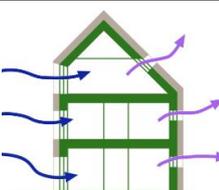
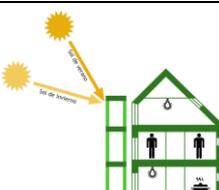


Figura 9. Renovación de aire para enfriar mediante de tubos enterrados

Las exigencias o principios básicos sobre los que se cimenta el estándar Passivhaus se definen en la Tabla 4, donde algunos conceptos se obtuvieron de la Guía del Estándar Passivhaus [3], y las imágenes de la página web Energiehaus Edificios Pasivos [4].

Tabla 4. Principios básicos en los que se sustenta el estándar Passivhaus

Criterio	Descripción	Representación
Superaislamiento	Se refiere a que la envolvente tenga un buen aislamiento térmico continuo, que impida la entrada de calor en verano y la salida del mismo en invierno. En función del clima se debe optimizar el espesor ya que hay un punto que partir del cual el espesor del aislamiento no es tan relevante.	
Inercia térmica	Capacidad que un elemento constructivo en contacto directo con el aire para absorber y almacenar una cantidad de energía hasta alcanzar un punto de saturación en el que el flujo energético se invierte y la energía vuelve a fluir desde el elemento constructivo hacia el aire.	
Eliminación de puentes térmicos	Los puentes térmicos son lugares de geometría lineal o puntual en los que la envolvente se debilita debido a un cambio de su composición o al encuentro de distintos elementos constructivos, es por ello que el aislamiento debe ser continuo.	
Ventanas y puertas de alta calidad	Las carpinterías son los puntos más débiles energéticamente de la envolvente, por lo que el estándar utiliza vidrios dobles o triples rellenos de gas noble, mejorando los coeficientes de transmitancia térmica, además que sean bajo emisivos.	
Hermeticidad	Se hace un control de las infiltraciones de aire para evitar pérdidas energéticas no deseadas que influye en la eficiencia del edificio, de modo que se pueda calefactar usando la ventilación mecánica con recuperación de calor. Se la puede comprobar con el test de Blower-Door.	
Ventilación controlada con recuperador de calor	Recuperar gran parte de la energía que sale hacia el exterior a través de la ventilación cuando se renueva el aire utilizado por uno fresco previamente filtrado en condiciones higiénicas, proporcionando una mayor calidad de aire en el interior al tratarse de una ventilación constante.	
Ventilación natural cruzada en verano	Es muy importante para los edificios en zonas cálidas, ya que durante verano la ventilación nocturna resulta eficaz para disipar el calor absorbido durante el día. Cabe señalar que solo es favorable donde en zonas climáticas donde la temperatura por la noche es notablemente inferior al día.	
Optimización de ganancias solares y ganancias de calor internas	Beneficiarse de la energía solar ya que es una fuente gratuita, además del calor que producen las personas, equipos e iluminación. Asimismo, en verano disponer de protección solar frente a la radiación solar y minimizar las ganancias internas para mantener el confort al interior.	





Criterio	Descripción	Representación
Modelización energética de ganancias y pérdidas	Se realiza mediante un software específico denominado PassivHaus Planning Package (PHPP) que consiste en la optimización del balance energético del edificio, en el que se ajusta los cálculos térmicos a la característica del estándar PassivHaus.	

Un criterio a veces no considerado lo suficiente, pero de gran importancia en el estándar es la inercia térmica, conocida como la capacidad de un material de almacenar calor contribuyendo así a una regulación térmica del edificio que puede resultar favorable para mejorar el confort interior y reducir el consumo energético. O dicho de otra manera se la puede asemejar con una reserva de energía que actúa como una batería, cargándose en el día con la radiación solar y las ganancias internas, y descargándose en la noche por ausencia de la misma radiación o pérdidas de energía.

Se puede comprender mejor con un ejemplo en el que la radiación solar va incrementando la temperatura exterior hasta alcanzar su máxima al medio día, mientras a la vez una vivienda sin un suficiente aislamiento adquiere ese mismo calor casi al mismo tiempo, mientras una vivienda con alta inercia tardará más tiempo en incrementar su temperatura interior y por la noche en invierno esta será muy favorable ya que aún almacenará algo de calor adquirido con el transcurso del día (Figura 10), en otras palabras lleva un **desfase de la curva de temperatura con un amortiguamiento importante**, teniendo así mayor estabilidad de la temperatura interior con menor dependencia de la fluctuación de la temperatura exterior.

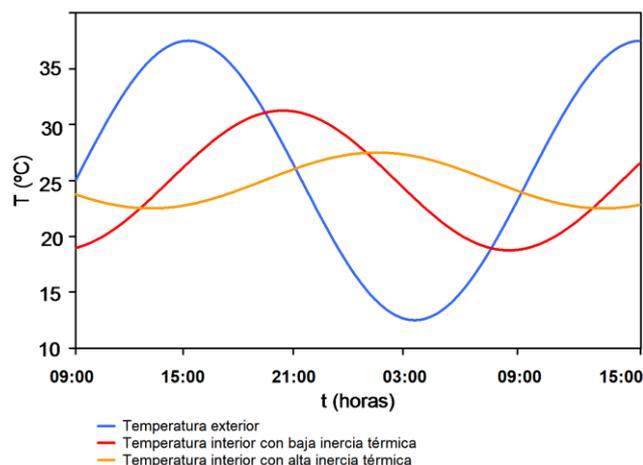


Figura 10. Comportamiento de un edificio con diferente inercia térmica

Sin embargo, como se ve en el ejemplo a veces también que la inercia térmica dependiendo de la condición climática o la estación del año puede llegar a ser desfavorable a las condiciones de confort teniendo temperaturas altas por la noche, y es cuando se debe combinar este criterio con una ventilación adecuada para enfriar el espacio interior.

A continuación, se indican valores característicos que son de carácter obligatorio se quiere obtener la certificación Passivhaus, en la que establece que los edificios nuevos deben cumplir los mismos valores independientemente de las condiciones climáticas:

- **Demanda máxima** de calefacción y refrigeración de 15 kWh/m²·año, incluida la energía para controlar el calor latente en verano por efecto de la humedad presentando así valores diferentes según el lugar.
- **Hermeticidad** al paso del aire con el ensayo de presión Blower-Door a una diferencia de presiones de 50 Pa en la que las renovaciones de aire en una hora sean menores a 0.6, es decir, $n_{50} < 0.6$ ren/h.
- **Consumo máximo** de Energía Primaria Renovable que contempla calefacción, refrigeración, ACS y electricidad, con un valor de 60 kWh/m²·año para edificios Passivhaus Classic.
- **Recuperador de calor** es imperativo.
- **Ventilación** de 30 m³ por persona y por hora para edificios residenciales.

En España el estándar establece una certificación tanto para edificios de obra nueva como para rehabilitación, Passive House y EnerPHit, respectivamente. Teniendo para los dos tipos de obra tres categorías de certificación, Classic, Plus y Premium según el factor de Energía Primaria Renovable que consuma y el genere el edificio, ver Figura 11. Incluso si un edificio por razones de viabilidad no consigue la exigencia puede optar por una certificación Low Energy Building.

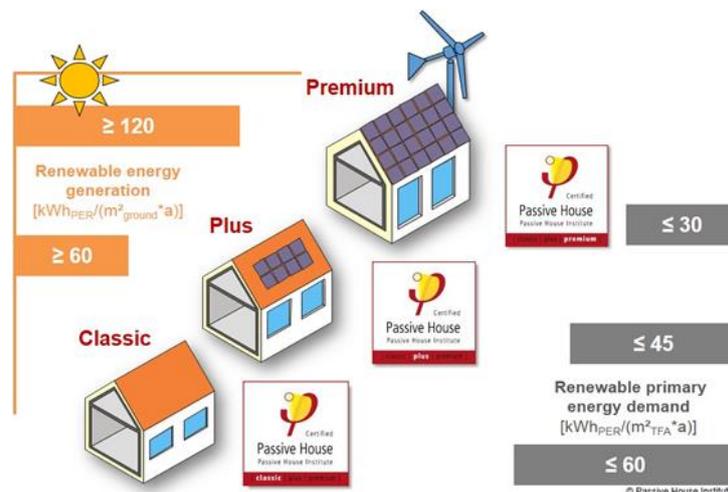


Figura 11. Categorías Passivhaus según el factor de EPR consumida y producida

1.5.2 Código Técnico de la Edificación (DB HE y DB-HS)

El CTE 2019 utiliza dos Documentos Básicos para el Ahorro de Energía y Salubridad (adecuada ventilación) en el sector **residencial privado**, denominados DB-HE y DB-HS, respectivamente. Para resumirlos de una manera conveniente y con una mejor comprensión de los mismos se mostrarán las exigencias más importantes en las que tiene relación este documento, a la vez que se hace una comparativa con el estándar Passivhaus para cuantificar sus exigencias, como se indica en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de exigencias del CTE 2019 y Passivhaus

Exigencia	CTE 2019	Estándar Passivhaus																																						
Consumo de EPNR ¹¹ para CTE y EPR ¹² para Passivhaus	<p>Valor límite $C_{EPNR,lim}$ [kWh/m²·año]</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona Climát. Invierno</th> <th>α</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Edificios nuevos y ampliaciones</td> <td>20</td> <td>25</td> <td>28</td> <td>32</td> <td>38</td> <td>43</td> </tr> <tr> <td>Cambios de uso a residencial y reformas</td> <td>40</td> <td>50</td> <td>55</td> <td>65</td> <td>70</td> <td>80</td> </tr> </tbody> </table>	Zona Climát. Invierno	α	A	B	C	D	E	Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43	Cambios de uso a residencial y reformas	40	50	55	65	70	80	<p>≤ 60 kWh/m²·a, Classic ≤ 45 kWh/m²·a, Plus ≤ 30 kWh/m²·a, Premium</p>																	
Zona Climát. Invierno	α	A	B	C	D	E																																		
Edificios nuevos y ampliaciones	20	25	28	32	38	43																																		
Cambios de uso a residencial y reformas	40	50	55	65	70	80																																		
Demanda de calefacción	<p>Ya no se condiciona con indicadores, pero ahora lo hace con el valor U a través de la envolvente térmica K del edificio con un:</p> <p>Valor límite K_{lim} [W/m²·K]</p>	<p>≤ 15 kWh/m²·año</p>																																						
Demanda de refrigeración	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Zona Climát. Invierno</th> <th>Compacidad</th> <th>α</th> <th>A</th> <th>B</th> <th>C</th> <th>D</th> <th>E</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">Edificios nuevos y ampliaciones</td> <td>V/A ≤ 1</td> <td>0.67</td> <td>0.60</td> <td>0.58</td> <td>0.53</td> <td>0.48</td> <td>0.43</td> </tr> <tr> <td>V/A ≤ 4</td> <td>0.86</td> <td>0.80</td> <td>0.77</td> <td>0.72</td> <td>0.67</td> <td>0.62</td> </tr> <tr> <td rowspan="2">Cambios de uso, Reformas < 25%_{sup}</td> <td>V/A ≤ 1</td> <td>1.00</td> <td>0.87</td> <td>0.83</td> <td>0.73</td> <td>0.63</td> <td>0.54</td> </tr> <tr> <td>V/A ≤ 4</td> <td>1.07</td> <td>0.94</td> <td>0.90</td> <td>0.81</td> <td>0.70</td> <td>0.62</td> </tr> </tbody> </table>	Zona Climát. Invierno	Compacidad	α	A	B	C	D	E	Edificios nuevos y ampliaciones	V/A ≤ 1	0.67	0.60	0.58	0.53	0.48	0.43	V/A ≤ 4	0.86	0.80	0.77	0.72	0.67	0.62	Cambios de uso, Reformas < 25% _{sup}	V/A ≤ 1	1.00	0.87	0.83	0.73	0.63	0.54	V/A ≤ 4	1.07	0.94	0.90	0.81	0.70	0.62	<p>≤ 15 kWh/m²·año</p>
Zona Climát. Invierno	Compacidad	α	A	B	C	D	E																																	
Edificios nuevos y ampliaciones	V/A ≤ 1	0.67	0.60	0.58	0.53	0.48	0.43																																	
	V/A ≤ 4	0.86	0.80	0.77	0.72	0.67	0.62																																	
Cambios de uso, Reformas < 25% _{sup}	V/A ≤ 1	1.00	0.87	0.83	0.73	0.63	0.54																																	
	V/A ≤ 4	1.07	0.94	0.90	0.81	0.70	0.62																																	
Hermeticidad	<p>Valor límite de las renovaciones de aire a una P=50 Pa</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Compacidad V/A [m³/m²]</th> <th>n_{50} [h⁻¹]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>V/A ≤ 2</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>V/A ≤ 4</td> <td>3</td> </tr> </tbody> </table>	Compacidad V/A [m ³ /m ²]	n_{50} [h ⁻¹]	V/A ≤ 2	6	V/A ≤ 4	3	<p>≤ 0.6 ren/h</p>																																
Compacidad V/A [m ³ /m ²]	n_{50} [h ⁻¹]																																							
V/A ≤ 2	6																																							
V/A ≤ 4	3																																							
Ventilación	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="3">Tipo de vivienda</th> <th colspan="5">Caudal mínimo q_v en l/s</th> </tr> <tr> <th colspan="3">Locales secos</th> <th colspan="2">Locales húmedos</th> </tr> <tr> <th>Dormitorio principal</th> <th>Resto de dormitorios</th> <th>Salas de estar y comedores⁽³⁾</th> <th>Mínimo en total</th> <th>Mínimo por local</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 ó 1 dormitorios</td> <td>8</td> <td>-</td> <td>6</td> <td>12</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>2 dormitorios</td> <td>8</td> <td>4</td> <td>8</td> <td>24</td> <td>7</td> </tr> <tr> <td>3 o más dormitorios</td> <td>8</td> <td>4</td> <td>10</td> <td>33</td> <td>8</td> </tr> </tbody> </table>	Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s					Locales secos			Locales húmedos		Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local	0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6	2 dormitorios	8	4	8	24	7	3 o más dormitorios	8	4	10	33	8	<p>30 m³/h·persona</p>				
Tipo de vivienda	Caudal mínimo q_v en l/s																																							
	Locales secos			Locales húmedos																																				
	Dormitorio principal	Resto de dormitorios	Salas de estar y comedores ⁽³⁾	Mínimo en total	Mínimo por local																																			
0 ó 1 dormitorios	8	-	6	12	6																																			
2 dormitorios	8	4	8	24	7																																			
3 o más dormitorios	8	4	10	33	8																																			
Recuperador de calor	<p>No considera</p>	<p>Imperativo</p>																																						

Cabe indicar que el actual CTE [5] ahora condiciona al control de la demanda energética con valores de transmitancia térmica U de acuerdo al tipo de cerramiento siendo estos más exigentes que su predecesor, además tiene como exigencia un consumo de Energía Primaria Total para los edificios de uso residencial privado en los que requiere un valor límite según la zona climática de invierno, como se indica en la Figura 12, que para este caso de estudio se tendría como umbral de consumo 80 kWh/m²·año.

Valor límite $C_{EP,tot,lim}$ [kWh/m²·año]

Zona Climát. Invierno	α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones	40	50	56	64	76	86
Cambios de uso a residencial y reformas	55	75	80	90	105	115

Figura 12. Límite del consumo de Energía Primaria total para uso residencial privado

¹¹ Energía Primaria No Renovable

¹² Energía Primaria Renovable

CAPÍTULO 2. ANÁLISIS DE DATOS DE ARCHIVOS CLIMATOLÓGICOS

En este capítulo se hace un breve análisis de los datos que tiene cada archivo climatológico a utilizarse con la simulación del modelo, ya que en el CAPÍTULO 5 se utilizará estos para observar el efecto que tiene, en el que se evaluará con cuál de ellos es más conveniente su uso para el propósito de este trabajo, puesto que estos archivos son uno de los parámetros más importantes que influyen en el cálculo que hace el programa para determinar la temperatura, humedad, y otras variables al interior de la vivienda.

Cabe recalcar que se estudiará el uso de dos de los archivos más usados y de fuentes fiables en el campo de las simulaciones que utilizan datos recogidos a lo largo de varios años, como **Meteonorm** y **EnergyPlus**, adicionalmente un archivo con menor peso estadístico pero creado a partir de datos climatológicos actuales y medidos en una ubicación muy cercana al edificio, como se encuentra la estación meteorológica de la Universidad Politécnica de Valencia, por lo cual de aquí en adelante se lo denominará simplemente UPV.

El formato original de los archivos utilizados es:

1. **EnergyPlus**, archivo de extensión *.epw, que contiene datos recogidos durante 18 años (1982-1999), donde se tiene datos típicos meteorológicos, complementado con la radiación solar a cada hora. [6]
2. **Meteonorm**, archivo de extensión *.tm2, que contiene datos de un año típico representado en información tomada a lo largo de 30 años (1961-1990). [7]
3. **UPV**, archivo que contiene datos recopilados durante todo el año 2018, que se lo define de manera personalizada en un formato de extensión *.f90 que usa el lenguaje de Fortran para que pueda ser reconocido por el programa, como se muestra en el capítulo.0 La mayor parte de los datos son proporcionados por la propia estación meteorológica de la UPV, complementado con la radiación solar a cada hora proporcionada por la AEMET.

DView

Para analizar las variables más relevantes que contiene cada archivo se utiliza la herramienta DView 3.1, representando así los datos en sus diferentes series de tiempo horaria, diaria, mensual, además para una mejor comprensión de los datos se visualizará gráficas de mapa de calor, curva de perfiles, dispersión. Asimismo, previamente se mostrarán datos estadísticos en donde se cuantifica las diferencias entre los archivos. Este programa reconoce simplemente archivos con la extensión *.csv en el que su información debe estar en un formato específico para su correcta lectura, información que no corresponde al desarrollo de este trabajo, pero que se la puede encontrar fácilmente en la página web del programa.

Estaciones meteorológicas

Los datos proporcionados por los archivos climatológicos son provenientes de sus propias estaciones meteorológicas, localizadas para este caso de estudio, en la ciudad de Valencia-España. Tanto la información de EnergyPlus como Meteonorm son de una estación ubicada en el aeropuerto de Valencia (Manises) con más de 50 metros de altura de diferencia con la estación ubicada en la UPV. Es notorio constatar que la vivienda y la estación de la UPV prácticamente tienen la misma altura con respecto al nivel del mar, por lo que es una de las razones para elaborar este archivo puesto que las condiciones meteorológicas son prácticamente las mismas al encontrarse estos lugares muy próximos, en donde se pretende que los datos de este último archivo tengan una influencia más precisa a la hora de realizar la simulación del modelo energético. Para más detalles de la ubicación geográfica y la distancia de las estaciones a la vivienda se muestran en la Tabla 6 y Figura 13, respectivamente.

Tabla 6. Coordenadas geográficas de las estaciones meteorológicas y la vivienda

Lugar	Altitud (m)	Latitud (°)	Longitud (°)	Google Maps
Estación Aeropuerto	56	39°29'03.5"N	0°28'29.6"W	39.4843, -0.4749
Estación UPV	3	39°28'46.9"N	0°20'14.6"W	39.4797, -0.3374
Vivienda	1	39°29'26.5"N	0°19'58.8"W	39.4907, -0.3330

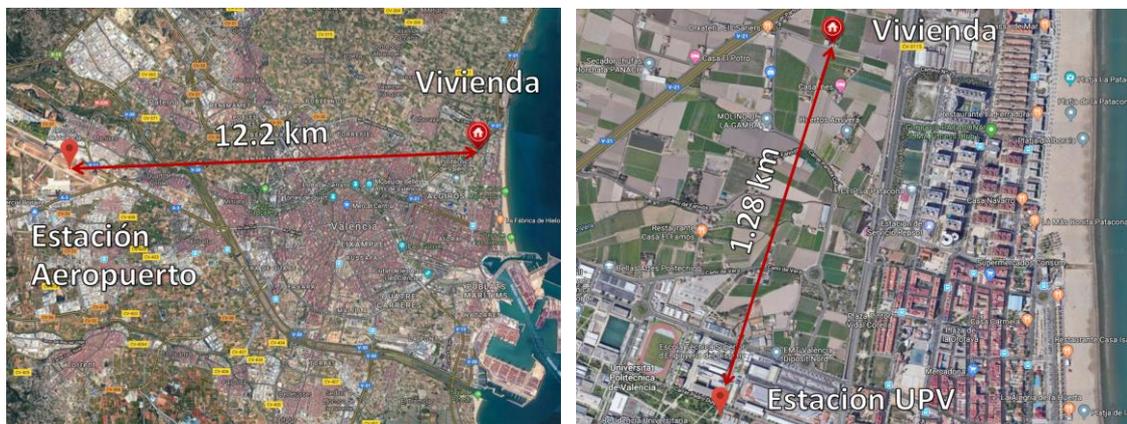


Figura 13. Distancia de las estaciones meteorológicas a la vivienda

Variables

Las variables utilizadas son distintas para cada archivo, debido a que cada uno maneja su propia información, pero las de mayor importancia para el análisis son coincidentes entre los tres archivos, como por ejemplo los diferentes tipos de radiación, temperatura ambiente, humedad relativa, velocidad del viento y su dirección. Se debe tener en cuenta los datos proporcionados por la UPV son con intervalos de tiempo un regular cada 10 minutos, motivo por el cual se ajustará el tiempo de los otros archivos a este último para que las comparaciones entre punto y punto sean las mismas entre los tres archivos en el caso que se comparé alguna variable en específico. En cuanto a la radiación para los tres archivos se proporciona con intervalo de 1 hora.

La información que emplea cada archivo se la indica en la Tabla 7, en la que se puede observar que variables repiten cada uno.

Tabla 7. Variables a analizar de los archivos climatológicos

Variable	EnergyPlus	Meteonorm	UPV
	ESP_Valencia.082840_IWEC	ES-Valencia-Airp-82840	Estación-VLC-UPV-2018
Radiación Solar Extraterrestre (W/m ²)		✓	
Radiación Global Horizontal (W/m ²)	✓	✓	✓
Radiación Directa Horizontal (W/m ²)		✓	
Radiación Directa Normal (W/m ²)	✓		✓
Radiación Difusa (W/m ²)	✓		✓
Temperatura de bulbo seco (°C)	✓	✓	✓
Temperatura de bulbo húmedo (°C)	✓		
Humedad Relativa (%)	✓	✓	✓
Velocidad del Viento (m/s)	✓	✓	✓
Dirección del Viento (°)	✓	✓	✓
Presión Atmosférica (mbar)	✓		
Profundidad de la Nieve (cm)	✓		

Datos estadísticos

Se ha realizado oportunos cálculos estadísticos con todos los datos de los ficheros para mantener una idea de la conducta de los mismos, como se muestran en la Tabla 8. De estos se puede anticipar varias hipótesis antes de visualizar los datos gráficamente.

Primeramente, se puede comparar que la temperatura ambiente de cada archivo presenta una ligera diferencia en cuanto al promedio de las mismas, ya que como se ha dicho anteriormente, EnergyPlus y Meteonorm contienen datos de un año típico con información recolectada de hace más de dos décadas con lo cual hoy en estos no se toma en cuenta que actualmente se ha venido dado un incremento de la temperatura promedio anual en el planeta, y eso es lo que refleja el archivo de la UPV, un incremento de más de 1 °C con respecto a Meteonorm. O debiéndose este cambio a que la localización geográfica de la estación, por su mayor altura respecto al mar tenga un promedio de temperatura menor que el de la estación UPV a nivel cero. De modo que, este cambio se notará con la simulación de los archivos.

Segundo, se aprecia que la estación UPV al estar más cercana al mar registra un promedio de humedad más alto que el de la estación aeropuerto, y se lo puede corroborar que no es un promedio con valores atípicos fijándose en la desviación estándar de la UPV, puesto que esta tiene 16.41% HR, siendo este valor una medida del grado de dispersión de los datos con respecto al valor promedio que es menos distante si se lo compara con los datos de EnergyPlus que presenta un valor mayor en su desviación. Este incremento en el promedio de humedad también puede deberse a un segundo factor como la velocidad del viento que en los dos archivos de la estación aeropuerto tiene valores mayores que la estación UPV, por ende, está mayor cantidad de aire hará que la humedad se disperse un poco más.

Finalmente, para complementar este análisis se puede hacerlo utilizando gráficas de dispersión comparando dos variables entre sí, como se indica más adelante.

Tabla 8. Datos estadísticos de los archivos climatológicos

Archivo	Variable	Media \bar{x}	Mín.	Máx.	Suma Σ	Desv. Estánd. σ	Prom. Mín. diario	Prom. Máx. diario
EnergyPlus	Rad. Global Horizontal (W/m ²)	186.30	0	973	1632030	268.67	0	634.53
	Rad. Directa Normal (W/m ²)	181.43	0	911	1589330	285.20	0	626.72
	Rad. Difusa (W/m ²)	72.82	0	548	637895	97.88	0	236.82
	Temperatura bulbo seco (°C)	17.30	-3	36	151553	6.75	12.60	22.23
	Temperatura bulbo húmedo (°C)	10.80	-15	25	94572.80	6.76	7.85	13.77
	Humedad Relativa (%)	68.38	14	100	598995	18.50	47.35	87.96
	Velocidad del Viento (m/s)	3.56	0	28.80	31206.80	3.04	0.72	7.17
	Dirección del Viento (°)	191.84	0	360	1680510	113.16	41.56	327.12
	Presión Atmosférica (mbar)	1010.75	979	1036	8854130	7.25	1008.5	1013.17
	Profundidad de la Nieve (cm)	0	0	0	0	0	0	0
Meteonorm	Rad. Solar Extraterrestre (W/m ²)	328.54	0	1258.11	17268200	411.15	0	998.81
	Rad. Horizontal Total (W/m ²)	186.11	0	986.70	9782070	260.90	0	654.85
	Rad. Directa Horizontal (W/m ²)	101.46	0	772.07	5332640	170.46	0	437.48
	Temperatura Ambiente (°C)	16.88	-0.98	34.39	887312	6.67	11.46	21.95
	Humedad Relativa (%)	69.75	35	98.58	3666240	12.16	53.32	89.22
	Velocidad del Viento (m/s)	3.16	0	16.16	166263	2.36	0.97	6.34
	Dirección del Viento (°)	195.23	0	359.83	10261400	95.78	36.19	331.03
UPV	Rad. Global Horizontal (W/m ²)	196.36	0	1008.33	1720120	279.89	0	684.44
	Rad. Directa Normal (W/m ²)	219.18	0	1027.78	1920010	316.70	0	717.06
	Rad. Difusa (W/m ²)	66.22	0	583.33	580108	98.06	0	244.17
	Temperatura Ambiente (°C)	18.14	2.60	35.90	953321	6.08	14.61	22.01
	Humedad Relativa (%)	72.55	21	93	3813460	16.41	53.48	86.02
	Velocidad del Viento (m/s)	1.31	0	8.70	68637.70	1.11	0.09	3.36
	Dirección del Viento (°)	174.25	0	359	9158290	105.12	26.16	333.09

A continuación, se presenta un apartado para cada archivo donde se muestra una gráfica relevante que explica el comportamiento de las variables con una breve descripción del fenómeno. Las gráficas que serán utilizadas para la explicación serán series de tiempo del tipo:

- Horaria
- Diaria
- Mensual

No se mostrarán todos los tipos de gráfica para todas las variables, puesto que habría numerosas posibilidades para todas las combinaciones y resultaría en información innecesaria que se la pudiera entender con un solo tipo de gráfica o a su vez revisando los datos estadísticos de la Tabla 8. Como se mencionó antes, independientemente del archivo se escogerá la que mejor se ajuste a la explicación de la variable.

Posteriormente, a los apartados del análisis de cada archivo, se presenta un apartado más en el que realizará comparaciones entre dos o tres de ellos utilizando gráficos de mapa de calor, perfil de curva y dispersión.

2.1 ENERGYPLUS

Series de tiempo horaria

Representan datos promedios en el transcurso de una hora.

La radiación directa normal alcanza valores prácticamente constantes a lo largo del año, debido a que esta mide la radiación con un seguimiento a la trayectoria del sol, mientras la difusa y global lo hacen en un plano horizontal, y es la explicación del porqué estas alcanzan valores máximos en verano. Asimismo, se advierte que este archivo climatológico

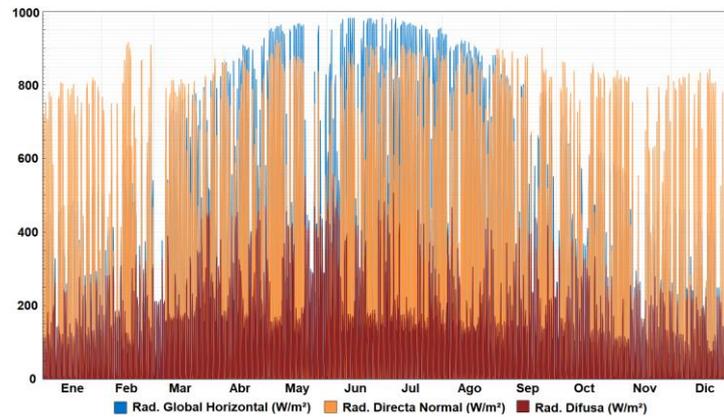


Figura 14. Radiación solar (E)

contiene en su información estadística que a finales de febrero y las últimas semanas de mayo por lo general suele existir nubosidad, a causa de la carencia de radiación directa y la elevada presencia de la difusa, además es probable que en esos períodos haya habido lluvias constantes.

La dirección del viento es impredecible por lo que varía todo el tiempo excepto a finales de febrero que mantiene casi siempre dirección oeste (270°), mientras la velocidad presenta valores importantes en invierno y parte de la primavera con valores que superan los 25 m/s, pero conservando el promedio anual de 3.56 m/s.

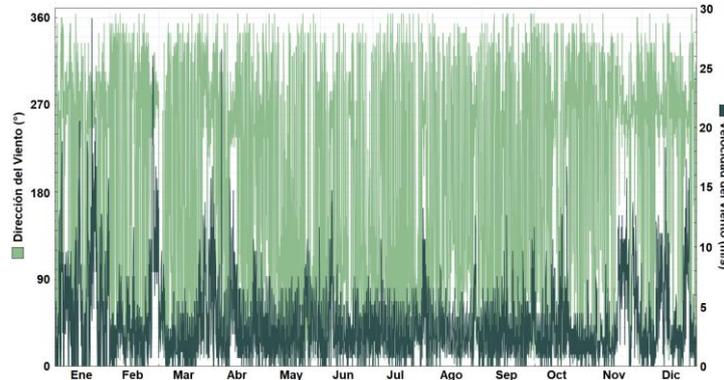


Figura 15. Dirección y velocidad del viento (E)

Se tiene dos períodos, inicios de febrero y diciembre que al bajar las temperaturas inclusive en algunos días cercanas a cero, en que la humedad alcanza su valor más alto puesto que, mientras más baja es la temperatura más alta es la humedad relativa dado que, la máxima cantidad de vapor de agua que puede almacenar el aire disminuye, entendiendo

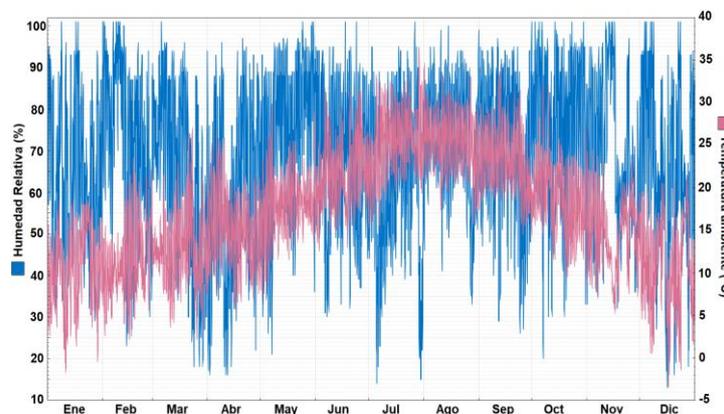


Figura 16. H. Relativa y temperatura ambiente (E)

que fueron períodos con neblina o precipitaciones. Asimismo, como se caracteriza en verano un alto grado de humedad absoluta, por consiguiente, mayor humedad relativa.

Cuando la presión baja se tiene aire con caliente, y si sube aire frío. Esto se debe a que la presión del aire también puede cambiar con la temperatura, en consecuencia, a finales de febrero hay un descenso de presión y si se observa la Figura 16, la temperatura tiene un aumento, confirmando así la salida del invierno. Hay otros casos donde en el mismo febrero la presión consigue llegar sobre los 1030 mbar, entendiéndose que es una época donde se pueden formar tormentas. Por otra parte, este archivo tiene en sus fechas de registros que en Valencia nunca ha nevado, por lo que, su altura es nula.

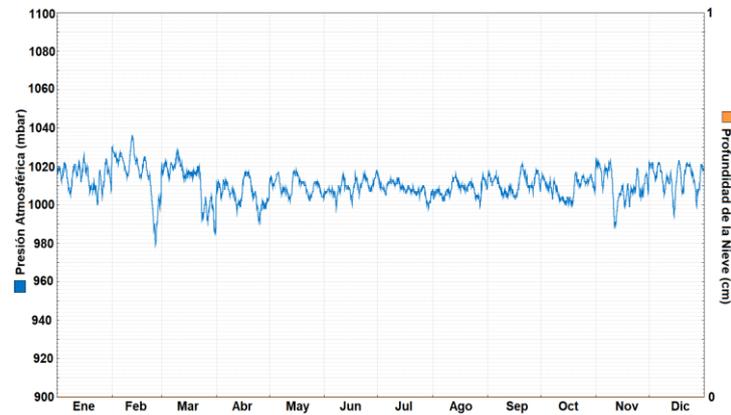


Figura 17. Presión atm. y profundidad nieve (E)

2.2 METEONORM

Series de tiempo diaria

Representan datos promedios en el transcurso de un día. Es por ello que las cifras reflejan un valor menor a sus máximos alcanzados en una hora. Como ejemplo, el caso de la radiación horizontal total que presenta un valor máximo de 986.7 W/m^2 en la época estival, pero en las siguientes gráficas estos valores son inferiores, debido a que se promedian con las horas cuando incluso hay ausencia de su variable, como en este caso carencia de luz solar, de ahí la razón de sus cifras. Para el caso de la velocidad y dirección del viento se promediarían con los momentos en los cuales hay calma total y cuando su orientación es cero grados, respectivamente.

Se percibe claramente que la radiación solar extraterrestre es un fenómeno producto de la traslación de la Tierra alrededor del sol con lo que da lugar a las estaciones, en la cual la radiación no tiene ningún factor interno del planeta que interrumpa su frecuencia, por eso la forma perfecta de su curva, en cambio la radiación directa si posee factores internos que perturban su forma cada día de manera diferente como las nubes, acarreado días poco soleados como a fines de mayo e inicios de junio según la información de este archivo. Cabe indicar que la información de la radiación horizontal que trata este archivo se ajusta a un año típico de la localidad valenciana teniendo a junio como el inicio de acoger máximos valores radiantes debido a la cercanía del planeta al sol.

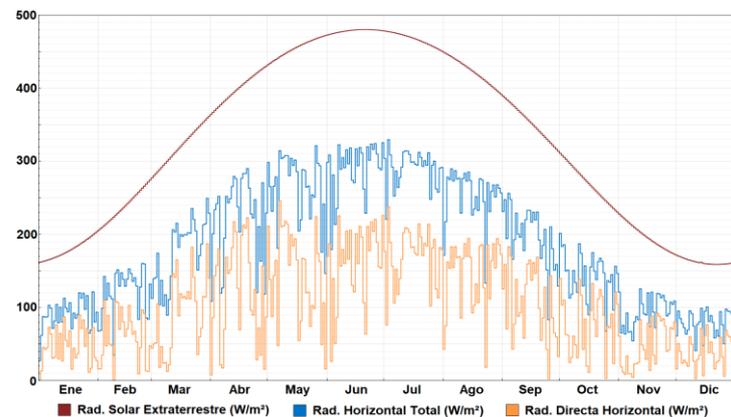


Figura 18. Radiación solar (M)

Se tiene una dirección del viento promedio enmarcada alrededor de los 180° y evidentemente coincidente con la mostrada en la Tabla 8 de 195° . En tanto que, la velocidad mantiene un ritmo constante inferior a los 5 m/s durante el año en la gran mayoría de los días, a excepción de ciertos picos a mediados de mes.

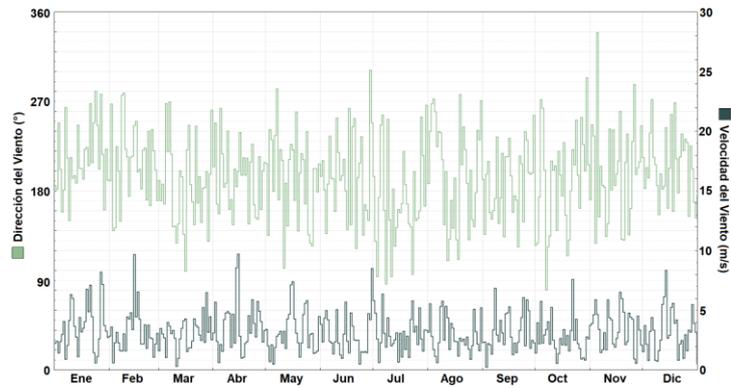


Figura 19. Dirección y velocidad del viento (M)

Semejante al archivo de EnergyPlus, en la baja de temperaturas e incremento de la humedad con la diferencia que este aplica para mediados de enero y diciembre, en tanto que se tiene un mes de primavera como abril en que el calor latente permanece casi todo el tiempo en condiciones de confort, con temperaturas bajo los 20°C .

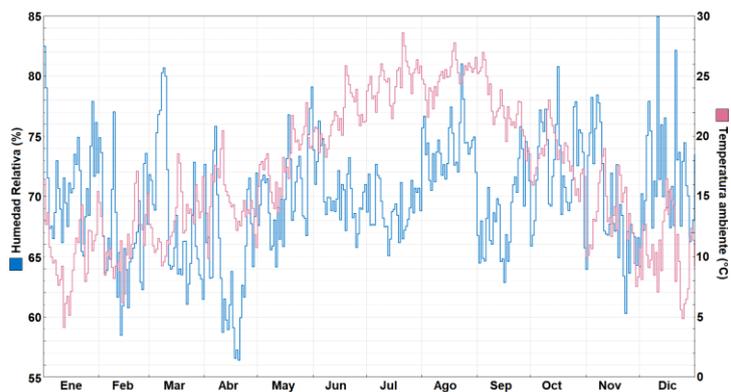


Figura 20. H. Relativa y temperatura ambiente (M)

2.3 UPV

Series de tiempo mensual

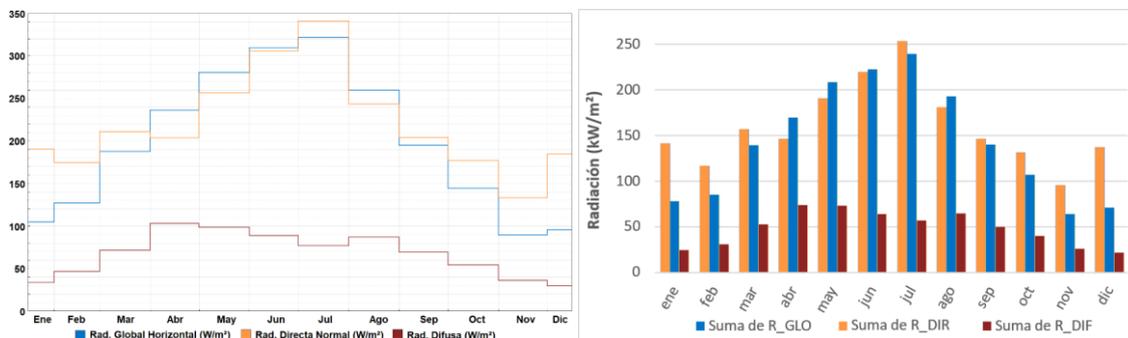


Figura 21. Radiación solar promedio mensual (izq.) y acumulada (der.), (U)

Notoriamente, al ser un archivo más actualizado refleja más la realidad del comportamiento de las variables, como se puede percibir en la radiación solar, en la que julio sin duda es el mes que más radiación global horizontal recibe al mes, teniendo un promedio de 325 W/m^2 y un acumulado próximo a pasar los 240 kW/m^2 , y por consiguiente una caída de la radiación difusa. Se refleja también la presencia de días muy fríos, probablemente con mucha nubosidad en los

que la radiación directa normal a la trayectoria del sol tiene sus valores más menguados en febrero y noviembre, donde en este último a penas ni supera los 100 kW/m².

La dirección ha mantenido un constante movimiento desde sureste (120-210°), entretanto la velocidad registra a marzo como el mes más con más movimiento, llegando a un promedio de 2.2 m/s, y un mes tan calmado como septiembre apenas superando los 0.8 m/s, asimismo contando con un verano con brisas constantes.

Al parecer este archivo claramente diferencia una presencia del calor latente en verano más que en la época invernal, incluso teniendo un mes como marzo que tiene humedades de confort promedio que apenas superan el 55% de esta. Mientras que la temperatura registra un invierno con los días más fríos en febrero, evidentemente como es notorio actualmente.



Figura 22. Dirección y velocidad del viento (U)

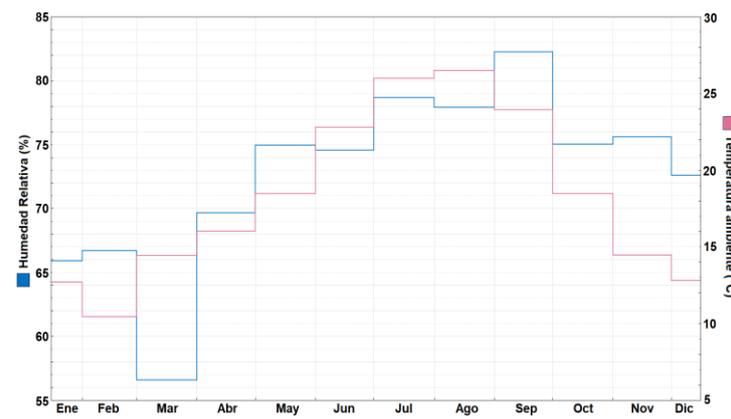


Figura 23. H. Relativa y temperatura ambiente (U)

2.4 COMPARACIONES

A continuación, se hace una comparación con las variables más importantes para el estudio de este trabajo, y las que se cree que tendrán alguna influencia al momento de extraer alguna conclusión final respecto a las variables climatológicas

Se empleará tres subsecciones en donde la primera comprende la comparación entre los tres archivos con variables como, radiación global horizontal, temperatura ambiente y humedad relativa. Se debe conocer que este análisis se realiza utilizando dos formas de tiempo, en el eje de la abscisa los meses del año, y en la ordena las horas durante el día.

La siguiente subsección utiliza como variable solo la temperatura ambiente, aunque en esta ocasión para compararse en una misma gráfica mensual entre los tres archivos, teniendo un perfil para cada mes que dará una idea clara de la similitud o no del comportamiento.

La última subsección se emplea dos variables a la vez del archivo de la UPV utilizando a la humedad relativa y a la dirección del viento en función de la temperatura, es decir, $HR=f(T^\circ)$ y $Dir. Viento=f(T^\circ)$, en donde se analizará cuestiones novedosas que no son notorias a simple vista.

2.4.1 Empleando Mapa de Calor

Radiación Global Horizontal

La radiación global horizontal se la puede visualizar de una mejor manera en un mapa de calor, y es en esta gráfica que se confirma lo estipulado en la Figura 14 para el archivo de EnergyPlus, en que este maneja información que señala que a finales de febrero y buena parte de mayo existe ausencia de radiación solar, que en este análisis se ve lo ve en la gráfica superior. Lo que lleva a tener en cuenta que, cuando se simule un modelo energético habrá que tener en consideración este detalle, debido a que la temperatura interior de la vivienda en estos períodos puede bajar dándose a notar afectando el archivo de manera directa. Para el archivo de Meteororm (gráfica del medio) se aprecia una radiación mucho más homogénea que varía naturalmente de acuerdo a la época en que se encuentra, teniendo como los demás archivos, valores máximos en el mes de verano al medio día solar. Cabe indicar que, la hora

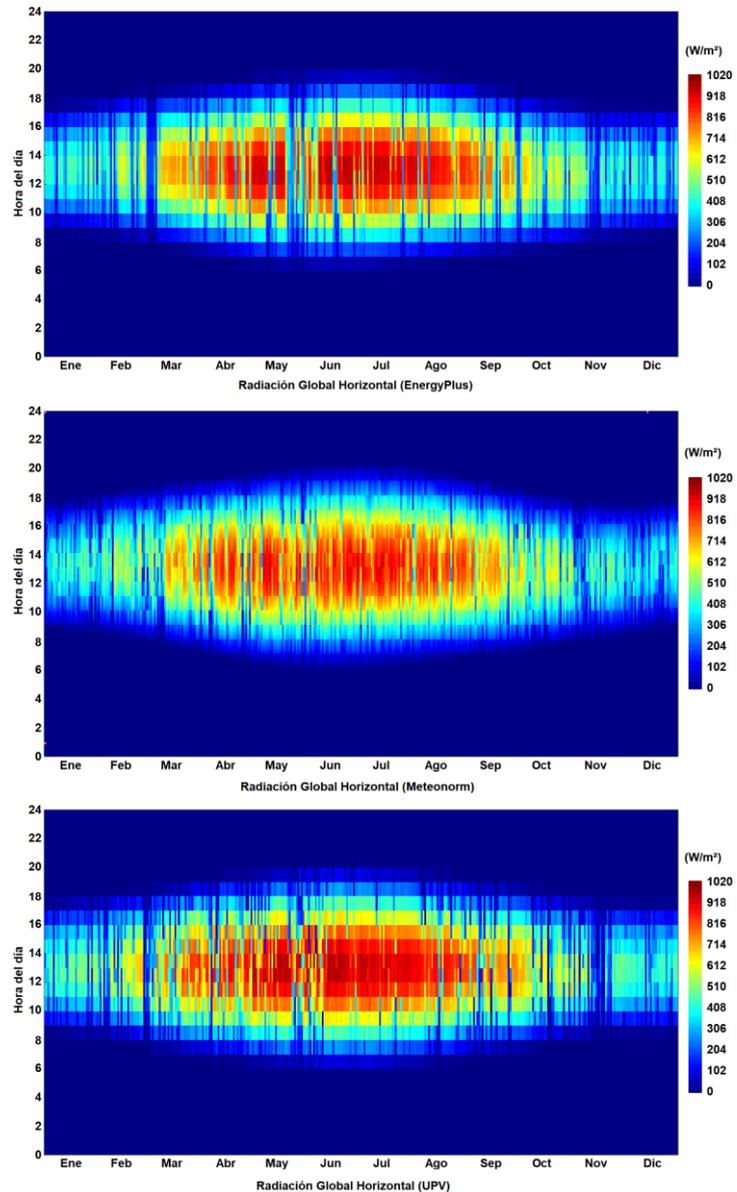


Figura 24. Comparación de la Rad. Global Horizontal

que indicada en las gráficas es la hora GMT (+1), puesto que es ilógico colar dos horarios para comparar una sola variable. En cuanto al archivo de la UPV tiene gran parecido a EnergyPlus, puesto que, al mismo final de mayo existe una perturbación de radiación antes de entrar al verano, pero en esta ocasión es menos drástica que en el primero. Hay que percatarse también que los datos del primero y el último archivo tiene en sus respectivas gráficas formas menos suavizadas del mapa de calor, que el archivo Meteororm, esto pudiéndose deber a que este último tiene más información promediada con datos de 30 años, pero pudiendo encontrarse algo desactualizada para las simulaciones actuales. También fijarse que Meteororm contiene valores más bajos de radiación, que los otros dos, teniendo una radiación casi constante en las horas máximas, desde abril hasta septiembre, es decir, no existe un verano con altas cifras.

Temperatura Ambiente

Se observa ciertamente la relación que tiene la radiación global horizontal del primer archivo con su temperatura ambiente, debido a que mayo presenta perturbaciones apreciables en su temperatura, lo que hacen que nuevamente se visualice a este mes como una época nubosa o lluviosa en el año, cosa que no pasa con los otros archivos, puesto que estos tienen una apariencia de distribución más uniforme de su temperatura en forma de hongo. Por otra parte, se nota en los tres archivos la coincidencia del descenso de temperaturas en la época de verano por las madrugadas, debido a la ausencia de radiación solar, pero destacando mayor uniformidad en el archivo de la UPV, observando claramente a las 8 de la mañana como el comienzo de la subida de temperaturas, no así en el archivo de la gráfica del medio en el que las elevadas temperaturas comienzan recién a partir de las 10 de la mañana, significando esto un retraso en las ganancias solares al interior de la vivienda. Mientras el primer archivo goza de una similitud al de la UPV en este aspecto. Algo que es muy importante destacar como ya se lo había mencionado en otros análisis anteriores, se distingue de una manera más apreciable que el archivo de la UPV carece de temperaturas bajo cero, como no es el caso para los otros archivos, en vista de que el planeta está incrementando su temperatura media anual a un ritmo desproporcionado a como se lo avizoraba. Es por ello, que en los dos primeros archivos se visualiza constantes periodos de tiempo en la época invernal que las temperaturas caen bajo el cero, unas por la noche y la mayoría en la madrugada, que es cuando ha transcurrido más tiempo después de la puesta de sol. En un panorama general, se tiene que las máximas temperaturas en verano son muy similares en los tres archivos, con unas pocas ocasiones que logran sobrepasar los 36 °C.

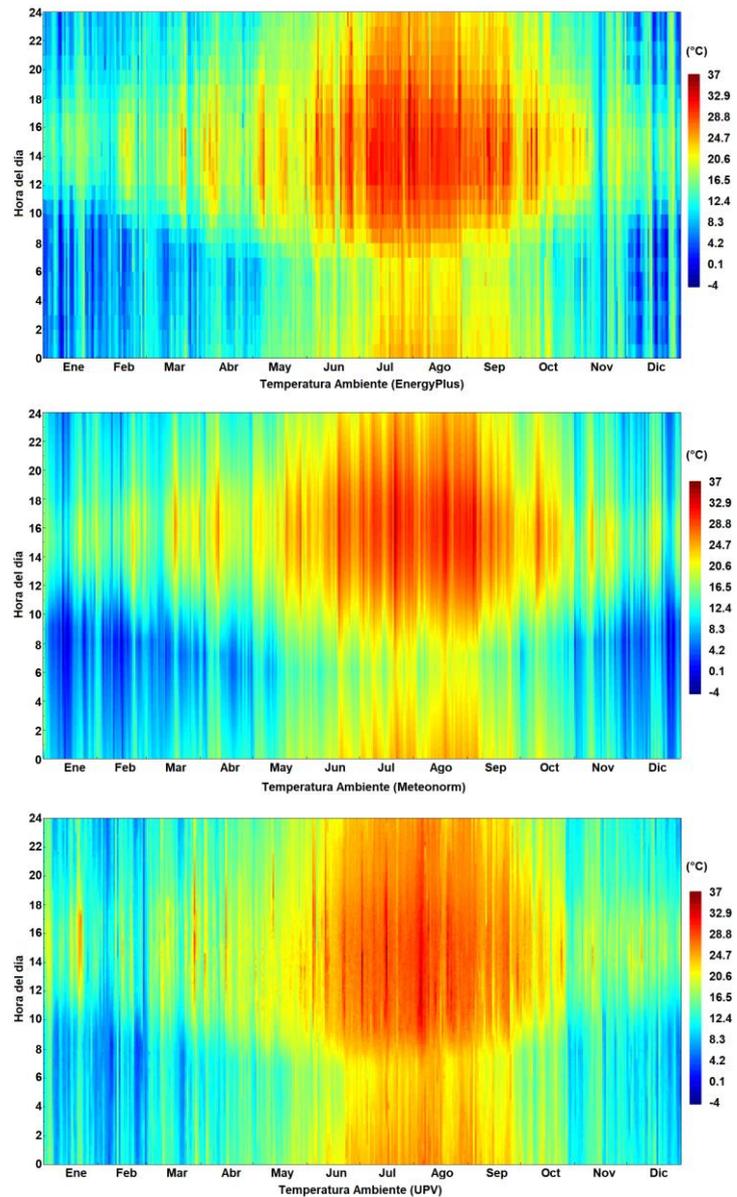


Figura 25. Comparación de la Temperatura Ambiente

Humedad Relativa

La humedad relativa es una variable a tener muy en cuenta en la simulación del modelo, puesto que cada archivo maneja marcadas diferencias. Para EnergyPlus se avizora que las elevadas cifras solo se dan en la noche y la madrugada, y esto claramente en Valencia no es del todo cierto, dado que es una ciudad con presencia de humedad la mayor parte del día durante todo el año. Además, este archivo tiene incluso instantes en que alrededor de las tres de la tarde se alcanza a tener un confort latente durante todo el año, esto puede deberse a que la brisa que fluye en la altura del aeropuerto acarrea consigo a la humedad en estos instantes, logrando así liberarse de esta por unas horas. Prácticamente lo mismo ocurre con el archivo de Meteonorm, pero con valores algo más curiosos por su uniformidad al permanecer con una humedad aproximada al 45% para todo el año, en torno a las cuatro de la tarde.

Sin embargo, es aún más curioso que presente una forma tan definida de humedad de aproximadamente el 90 o incluso el 100% a las ocho de la mañana, igualmente para todo el año. No obstante, una forma más real de cómo se comporta la humedad relativa se puede observar en el archivo de la UPV, ya que esta estación se encuentra cercana al mar y por tanto registra valores más reales a la conducta de esta variable. De manera que, en verano se puede contar con altos índices de humedad relativa, entendiendo que existe alto contenido de humedad absoluta por su cercanía al mar. En un contexto general, con esta variable se puede evaluar la importancia de poseer datos con información tomada en la zona de estudio, que otros datos con información algo desproporcionada a la realidad de la ubicación. Del mismo modo, desde un punto de vista propio, los cálculos que utilicen la humedad del archivo Meteonorm reflejarán quizá una forma adecuada del calor latente ganado en un día, pero si se quiere ser más específico a qué momento se está produciendo esa ganancia, no arrojará un resultado acertado.

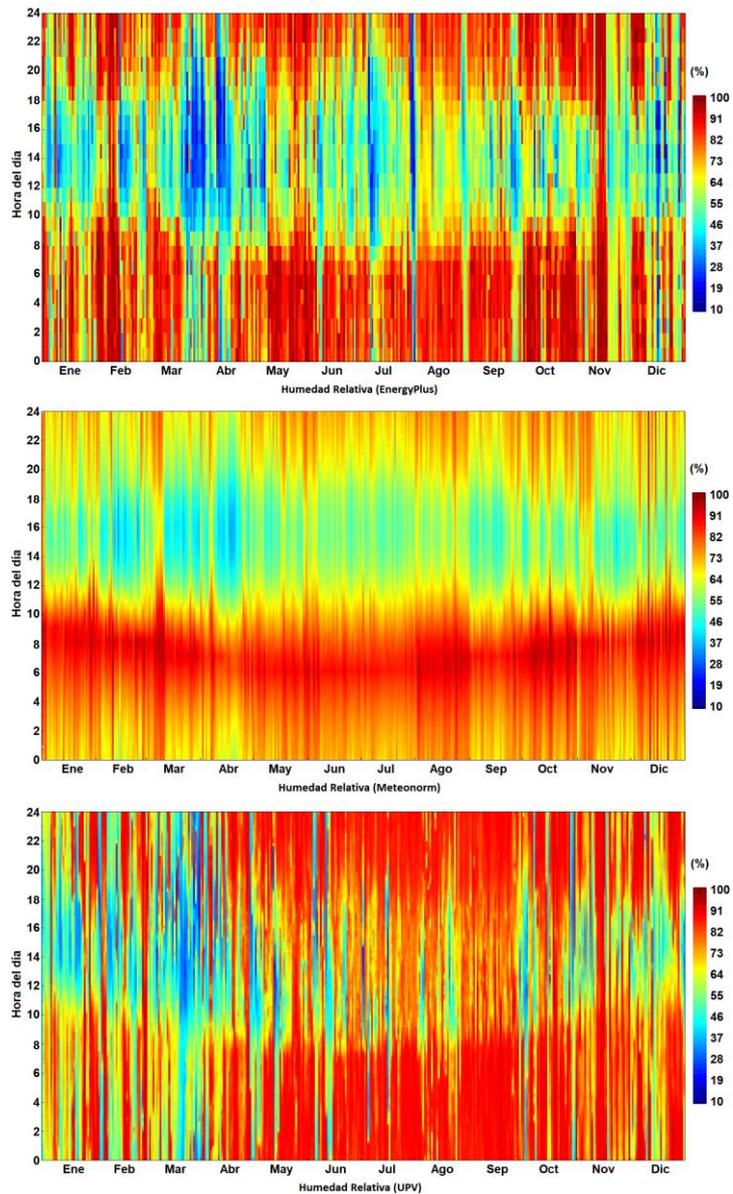


Figura 26. Comparación de la Humedad Relativa

2.4.2 Empleando Perfil de Curva

En esta ocasión se ha puesto mayor énfasis en la temperatura ambiente por ser una variable de afectación directa en el cálculo que utiliza el programa en la simulación del modelo. Aquí se está comparando la tendencia que tendrá la temperatura promedio en un mes a determinada hora. Esto se llevará a cabo para los doce meses del año como se observan en las gráficas de la derecha. En razón de lo cual, se ha decidido comparar los tres archivos para determinar significativas diferencias.

Primeramente, se observa que la mayoría de meses (enero, abril, mayo, junio, septiembre, octubre y noviembre) tiene similitud lógica en su perfil promedio a toda hora, puesto que, se supone una máxima de temperatura en torno al medio día solar (aproximadamente 3 pm, según el mes), y caídas de la misma por las madrugadas y nuevamente una recuperación por las mañanas. Pero en los otros meses no ocurre esto con los archivos de Meteonorm y UPV, en vista de que, dependiendo del mes, esto pueda significar una mayoría de días nublados con poca radiación solar sobre las 3 pm.

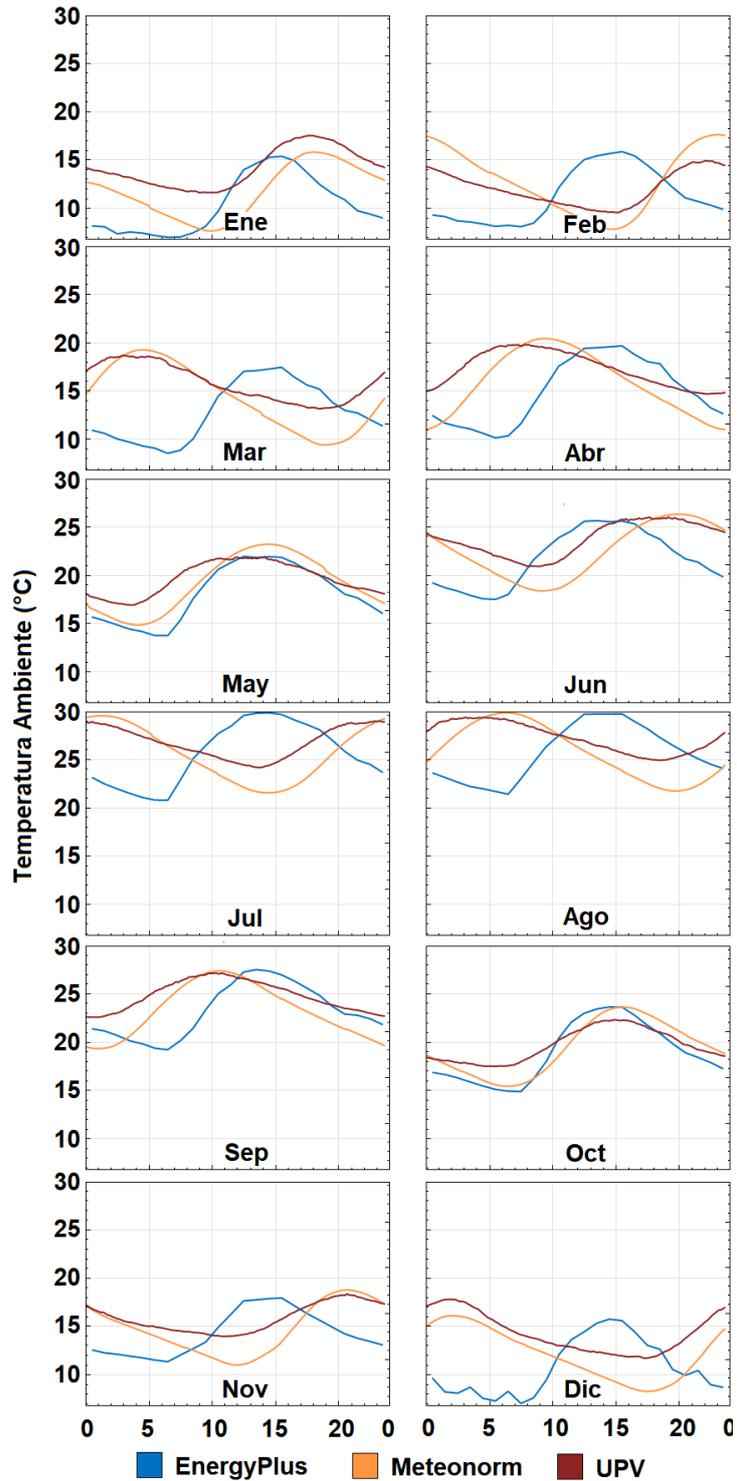


Figura 27. Comparación mediante perfil de curva de la Temperatura Ambiente

Segundo, los promedios de estos dos últimos archivos se asemejan durante todo el año, pudiéndose comprobar esto en el mapa de calor de la Figura 25, pudiendo conseguir una similitud en los cálculos de transferencia de calor por convección, es decir, cuando haya ventilación natural en verano.

2.4.3 Empleando Dispersión

Como una manera interesante de visualizar el comportamiento entre dos variables, se muestra esta gráfica donde existe dependencia una de la otra, es decir, $y=f(x)$. Las dos gráficas siguientes son a partir de utilizar variables del archivo de la UPV.

Se avizora que la humedad relativa está presente a toda temperatura posible entre 6 y 30 °C en la ciudad, debido a que Valencia oscila entre estos rangos en el transcurso del año. Se aprecia también que hay muy pocas veces que se tiene valores de humedad por debajo del 35%, a excepción de la parte superior derecha de la Figura 28

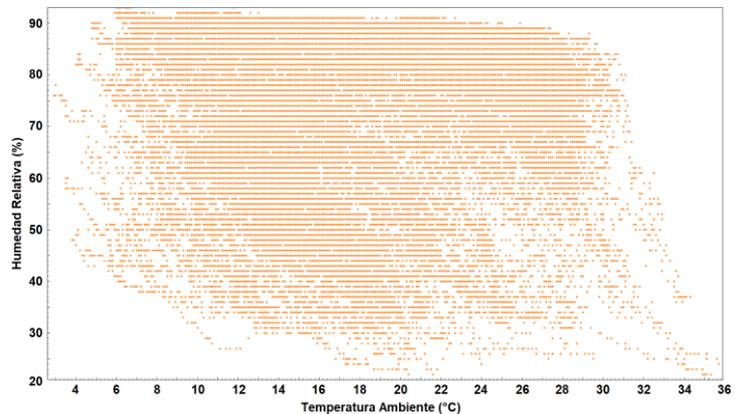


Figura 28. Comparación de la HR = $f(T^\circ)$

en la que el aire está caliente, teniendo más capacidad de almacenar vapor de agua teniendo un alto grado de saturación del aire, entendiéndose que ha existido alto contenido de humedad absoluta, por ende, su elevada humedad relativa. Asimismo, en la parte superior izquierda cuanto más frío es el aire, menos cantidad de vapor de agua podrá contener, puesto que el aire se satura más rápidamente a temperaturas bajas, incrementado así su humedad relativa.

Otra particularidad es el comportamiento del viento en función de la temperatura, en donde se observa que prácticamente a todo rango de temperaturas con algunas excepciones, el viento tiene sentido este y oeste (entendiéndose los 0° como dirección norte y sentido horario), por lo cual se deduce que la brisa marina tiene una influencia constante.

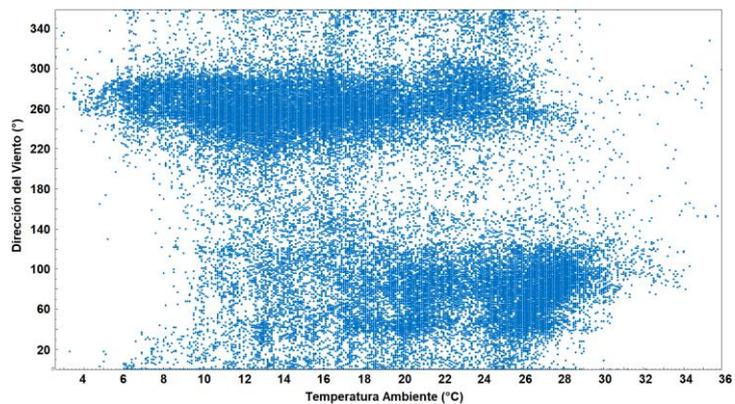


Figura 29. Comparación de la Dir.Viento = $f(T^\circ)$

Cabe recalcar que existen más posibilidades de analizar las variables comparándolas entre sí, pero a criterio propio se ha elegido las más importantes para la comprensión del comportamiento de las mismas según el archivo meteorológico, razón por la cual se omitirá hacer el análisis de todas ellas.

2.5 PREPARACIÓN DEL ARCHIVO UPV PARA EL MODELO

Para elaborar el archivo que lea TRNSYS con los datos de la estación UPV hay que seguir un formato estructurado que entiende el programa, que lo hace en base al lenguaje de Fortran, donde no es necesario disponer de este programa, sino tan solo colocar la información del archivo meteorológico en un bloc de notas con un encabezado establecido en el que se especifique el orden que se ingresaran las variables y otros parámetros referentes al modo de interpretarlas en el programa como por ejemplo, si se requiere interpolar los datos o multiplicar por algún factor externo¹³, ver Figura 30. La estructura del encabezado consta entre las líneas <userdefined> y <data>, seguido de los 52560 datos ordenados en cinco columnas. Una vez esté listo el archivo cambiar la extensión a *.f90 para que pueda ser reconocido por el Type99.

```

<userdefined>
<longitude> -0.34      ! East of greenwich: negative
<latitude>  39.48     ! Valencia, Espania
<gmt>       1         ! Time shift from GMT, east: positive (hours) - if solar time-> write "solar"
<interval>  0.16667   ! Data file time interval between consecutive lines (hours)
<firsttime> 0         ! Time corresponding to first data line (hours)
<var>  IBEAM_H <col>  0 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get radiation in W/m²
<var>  IBEAM_N <col>  0 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get radiation in W/m²
<var>  IDIFF_H <col>  0 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get radiation in W/m²
<var>  IGLOB_H <col>  1 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get radiation in W/m²
<var>  TAMB    <col>  2 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get temperature in °C
<var>  RHUM    <col>  3 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get relative humidity in %
<var>  WSPEED  <col>  4 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get wind speed in m/s
<var>  WDIR    <col>  5 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get wind direction in degree
<var>  udef1   <col>  0 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get ... in ...
<var>  udef2   <col>  0 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get ... in ...
<var>  udef3   <col>  0 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get ... in ...
<var>  udef4   <col>  0 <interp> 0 <add> 0 <mult> 1 <samp> 0      !...to get ... in ...
<data>
0      15.7  48      2.9   266
0      15.4  47      2.5   269
0      15.2  47      2.7   264
0      15.2  47      2.7   261

```

Figura 30. Formato que contiene el archivo de la UPV para su reconocimiento en TRNSYS

Las variables que contiene el archivo climatológico se especificaron en la Tabla 7, y son los que se utiliza para el formato de este nuevo archivo de datos, con excepción de la radiación directa normal y la radiación difusa, debido a que el programa hace cálculos internos en función de la radiación global horizontal para encontrar las otras variables. Nuevamente indicar que, las 5 variables empleadas tienen un intervalo de 10 minutos con la siguiente, debiendo aclarar que la velocidad y dirección del viento son la media de cada una respectivamente, en un periodo de 10 minutos. El significado de cada variable contenida en el encabezado se indica en la Tabla 9.

Tabla 9. Significado de las variables contenidas en el encabezado del archivo *.f90

Denominación	Significado
IBEAM_H	Beam radiation on horizontal
IBEAM_N	Beam radiation at normal incidence
IDIFF_H	Sky diffuse radiation on horizontal
IGLOB_H	Global radiation on horizontal
TAMB	Ambient temperature
RHUM	Relative humidity of ambient air
WSPEED	Wind speed
WDIR	Wind direction

¹³ Información más detallada de los parámetros a ingresar en el encabezado del archivo se encontrará en el manual de TRNSYS 17 volumen 4.

CAPÍTULO 3. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

En este capítulo se llevará a cabo una descripción detallada de las características geométricas que contiene la vivienda en la que consta como se encuentra actualmente definida luego de la rehabilitación especificando sus dimensiones, forma y distribución actual de la misma. Asimismo, para fines del estudio se expone como los espacios de la vivienda se han clasificado para asociarlos como zonas térmicas. Seguidamente, se puntualiza los cerramientos y huecos que componen la envolvente térmica del edificio, como muros exteriores, particiones interiores, ventanas, puertas entre otros, definiendo para cada uno las características térmicas y el valor de la correspondiente transmitancia térmica del cerramiento o hueco al que pertenecen. Finalmente, se describe las exigencias básicas que el edificio cumple, guiándose de la combinación del estándar Passivhaus y el CTE DB-HE.

Cabe enfatizar que, el modelo geométrico con la vinculación de sus zonas térmicas se lo realizó en Trnsys3D, mientras que sus características constructivas se implementaron en TRNBuild, de modo que para una mejor comprensión de la información se puede seguir simultáneamente este capítulo y los correspondientes Anexos 1.1 y 1.3, respectivamente.

Ubicación y Orientación

La vivienda se ubica en Alboraya, un pueblo muy próximo a la ciudad, con tan solo 1.28 km a la estación meteorológica ubicada en Valencia, como se puede ver en sus coordenadas geográficas mostradas en la Tabla 6. El entorno de la vivienda es campo abierto sin mayores obstrucciones de otras edificaciones ni árboles que impidan la libre circulación del viento, por lo cual, en términos de estudio, es considerado un edificio desprotegido en todos sus frentes.

En cuanto a su orientación, la vivienda posee forma rectangular orientando su fachada principal hacia al sur en la que contiene un gran número de ventanas, optimizando así en invierno las ganancias producidas por la radiación solar, y en verano minimizándolas con solo incluir un sombreado al interior, siendo esta ganancia no tan perjudicial por la elevada altura que se encuentra el sol para esta época, ver Figura 31. Es importante indicar que en el diseño actual de la vivienda se utiliza de manera favorable la orientación, puesto que cuenta con una adecuada iluminación natural, a la vez que se trata de minimizar o maximizar las ganancias según la época, consiguiendo mantener una baja demanda energética sin afectar las condiciones de confort.

Por otro lado, la fachada este es la que actualmente tiene el mayor número de huecos y siendo la más afectada por la radiación del sol por las mañanas en verano, dado que durante el año de registro de datos al interior de la vivienda está fachada carecía de protección solar¹⁴, teniendo

¹⁴ Al día de hoy ya se ha corregido este problema, incorporando así un sombreado para la fachada que protege a la planta baja de la vivienda.

ganancias solares no deseadas y por consiguiente un incremento de la temperatura interior de en la zona que está expuesta. La fachada oeste en cambio, posee la protección de una pared extra que evita la radiación solar por las tardes en la planta baja de la vivienda, no así para la planta primera. Y la fachada norte, es la que apenas cuenta con dos ventanas, siendo la de menor número, optimizando así las pérdidas de ganancia por conducción en invierno, funcionando estas ventanas simplemente como entradas de iluminación natural y como aspecto estético.

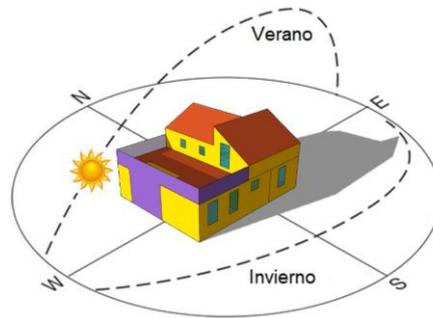


Figura 31. Orientación del edificio y la influencia solar en determinada estación

3.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

A continuación, en la Figura 32 se muestra en un color diferente el tipo de construcción y medidas reales del edificio modelado en Trnsys3D. Para paredes exteriores y adyacentes (amarillo), techos exteriores, adyacentes y suelo exterior (marrón), huecos (azul), suelo del terreno (gris) y sombreadamientos (púrpura). Cabe enfatizar, que el estudio es netamente energético y no arquitectónico, por lo tanto, en Trnsys3D se ha tomado en cuenta las medidas interiores para el diseño del edificio, dado que se modela como superficies de espesor cero ya que son consideradas zonas térmicas, y los materiales se agregan posteriormente en TRNBuild.

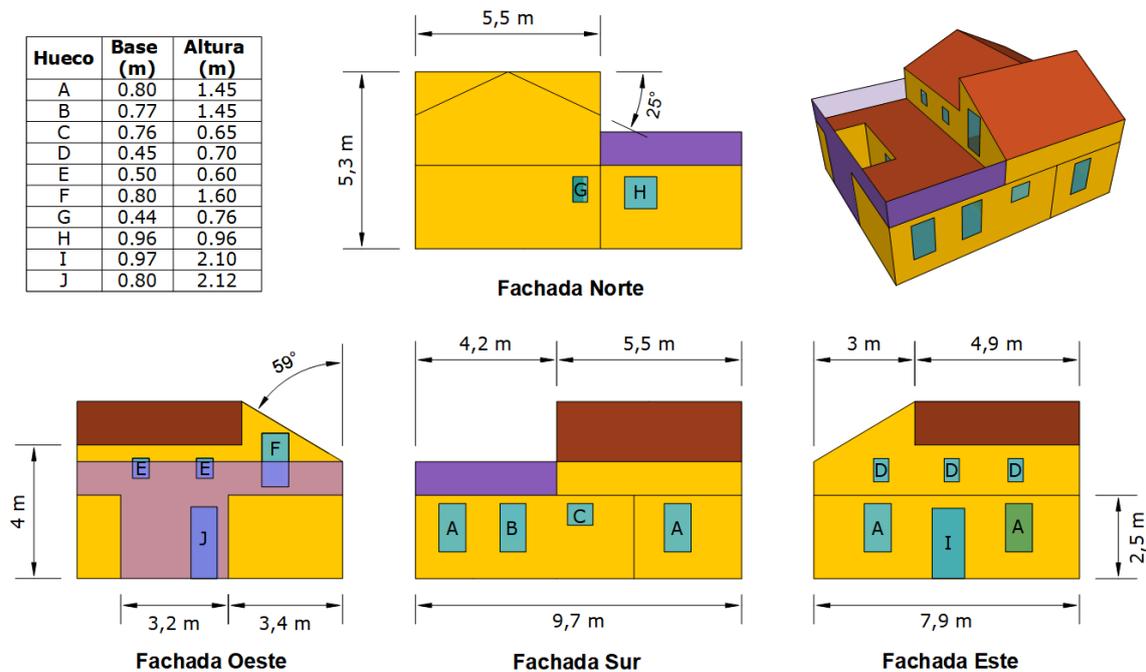
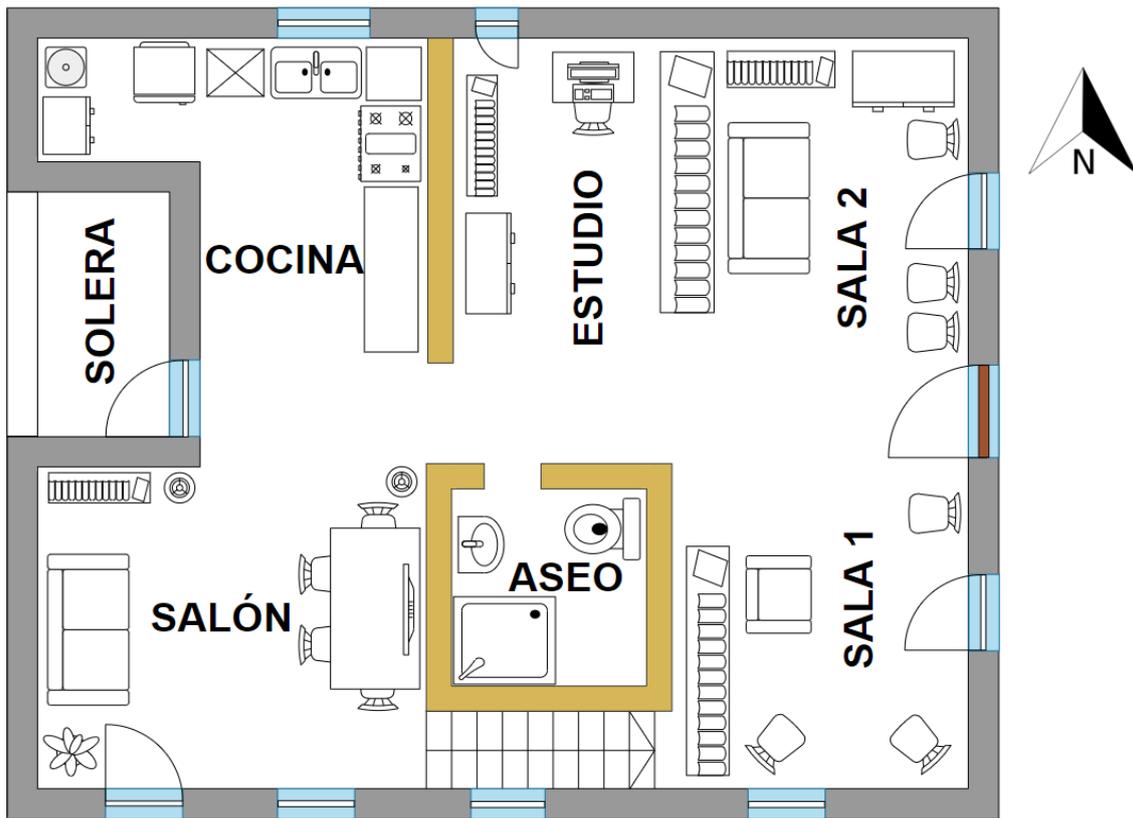
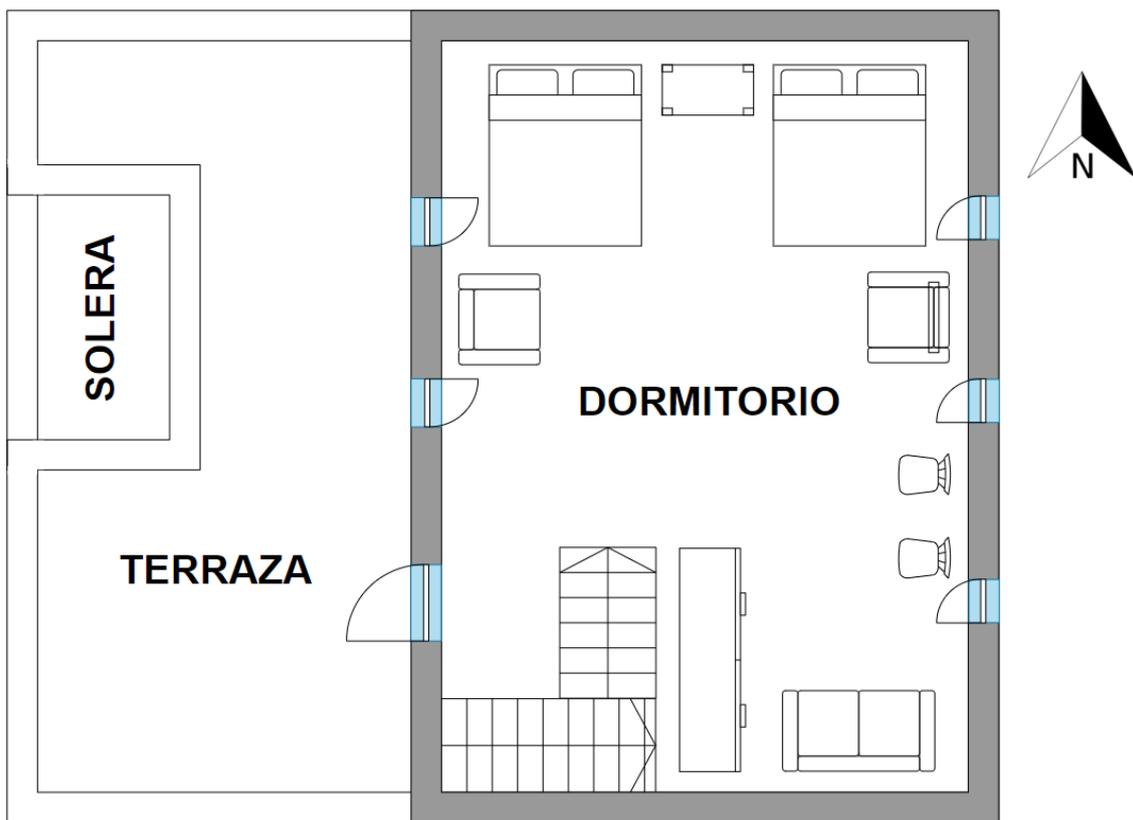


Figura 32. Fachadas del edificio incluido dimensiones principales de fachadas y huecos



PLANTA BAJA



PLANTA PRIMERA

Figura 33. Distribución de los espacios del edificio, PB (arriba) y P1 (abajo)

Se debe tener en consideración para el ajuste del modelo que se empleará la ventilación natural a través de los huecos, en donde el edificio consta de 16 de ellos, de los cuales 13 son practicables hacia la derecha y los otros 3 fijos, indicados en la Figura 33 de color azul/blanco y diferenciando a la puerta principal de azul/marrón por poseer un material diferente. Además, se muestra las paredes externas de color gris y las internas de color dorado, por tener composición y espesor diferente.

El edificio consta de dos plantas, y su distribución se muestra en la Figura 33, teniendo cada planta un espacio para un uso específico, en los que por razones del estudio energético se tienen que dividir en zonas térmicas.

3.2 ZONAS TÉRMICAS

Con cada espacio interior en conjunto el edificio presenta un solo ambiente, por lo cual para un correcto estudio energético bastaría con considerar una sola zona térmica ya que la temperatura interior es prácticamente homogénea en la planta baja y con aproximadamente un grado de diferencia en la planta alta. Sin embargo, en este estudio se va a detallar de una forma más precisa los flujos de aire que se distribuyen en cada espacio, por lo que se ha dividido el edificio en 4 zonas térmicas, como se indica en la Figura 34, las mismas que en Trnsys3D se modelan como espacios separados y estableciendo sus adyacencias con otros elementos, ver Anexo 1.1.

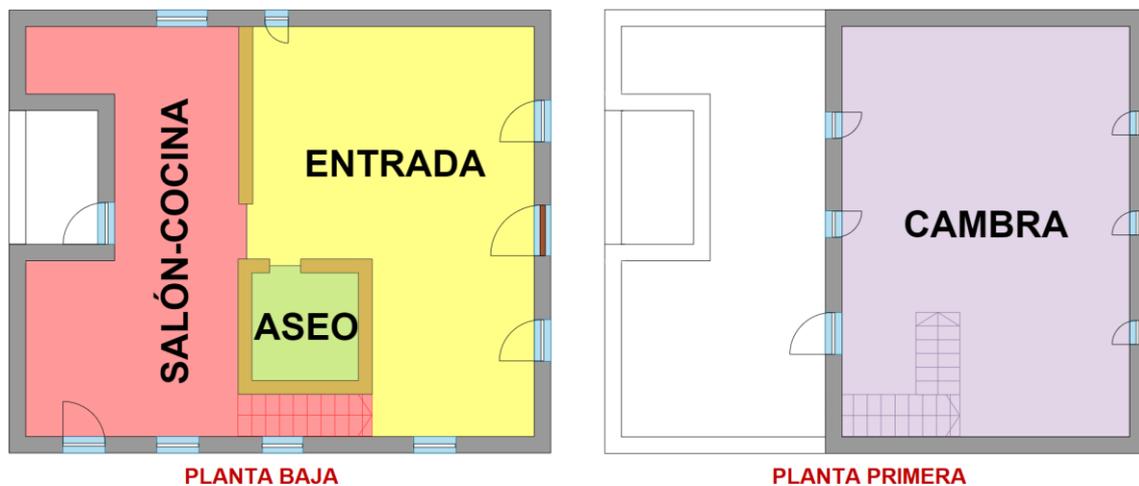


Figura 34. Zonas térmicas del edificio, PB (izq.) y P1 (der.)

Los valores constantes de cada zona térmica que se usan más adelante se indican en la Tabla 10.

Tabla 10. Superficie y volumen de las zonas térmicas

Zona térmica	Superficie (m ²)	Volumen (m ³)	Sup. ext. ¹⁵ (m ²)
SALÓN-COCINA	29.58	73.95	112.32
ASEO	5.75	14.38	5.75
ENTRADA	35.86	89.65	77.36
CAMBRA	43.45	89.29	96.05
Total	114.64	267.27	291.48

¹⁵ Incluye superficies de cerramientos y ventanas que tienen contacto con el aire exterior.

3.3 ENVOLVENTE TÉRMICA

Se compone de todos los cerramientos del edificio que envuelven o delimitan a las zonas térmicas frente al ambiente exterior y suelo del terreno, incluyendo los huecos y todas las particiones interiores que dividen una zona de otra.

Para indicar cada componente de la envolvente se ha dividido este apartado en dos. En el primero se especifica los cerramientos de paredes (externas y adyacentes), techos (externo y adyacente) y suelos (externo y en contacto con el terreno), mientras en el segundo se detalla los huecos que comprenden ventanas, puertas y pórticos, este último denominado al espacio constante que fluye libremente el aire entre dos zonas.

3.3.1 Cerramientos

Existen seis tipos distintos, los cuales emplean diversos materiales según su función, en que las propiedades térmicas se acogieron del Catálogo de Elementos Constructivos CTE [8], Tabla 11.

Tabla 11. Propiedades de los materiales de los cerramientos

Material	Densidad ρ (kg/m ³)	Conductividad λ (W/m·K)	Calor específico C_p (J/kg·K)
<i>Ground floor (Suelo del terreno)</i>			
Baldosa cerámica	2000	1	800
Mortero de cemento	1350	0.7	1000
Plástico Polietileno LDPE	920	0.33	2200
Plancha aislante Poliuretano PUR	45	0.028	1300
Membrana impermeable PVC	1390	0.17	900
Capa de grava	2200	2	1000
<i>External wall (Muro exterior)</i>			
Enlucido de yeso aislante	800	0.3	1000
Ladrillo macizo	2300	0.85	1000
Poliestireno expandido EPS (SATE)	17	0.032	1300
Mortero de recubrimiento (SATE)	1400	0.44	1000
<i>Adjacent wall (Muro adyacente)</i>			
Enlucido de yeso aislante	800	0.3	1000
Ladrillo macizo	2300	0.85	1000
<i>External floor (Suelo externo)</i>			
Tablero de virutas orientadas OSB	600	0.13	1700
Poliestireno extruido XPS	32	0.039	1300
Lámina asfáltica de betún	1100	0.23	1000
Mortero de cemento	1350	0.7	1000
Baldosa cerámica	2000	1	800
<i>Adjacent ceiling (Techo adyacente)</i>			
Tarima madera natural	650	0.18	1600
<i>External roof (Techo externo)</i>			
Tablero de virutas orientadas OSB	600	0.13	1700
Poliestireno extruido XPS	32	0.039	1300
Lámina asfáltica de betún	1100	0.23	1000
Teja de arcilla cocida	2000	1	800

Uno de los parámetros que influye directamente en la temperatura interior del edificio es la transmitancia térmica U, la cual define las pérdidas térmicas a través de un cerramiento, por lo tanto, se muestra en la Tabla 12 el U-value para cada cerramiento. Además, se comprueba que estos valores cumplen con el actual CTE-2019 DB-HE-1, donde **no se supera el U-value límite** expresado en $W/m^2 \cdot K$ para una zona climática de invierno tipo B. Muros y suelos en contacto con el aire exterior (0.56); cubiertas en contacto con el aire exterior (0.44); huecos en conjunto marco y vidrio (2.3); puertas (5.7); a excepción del suelo en contacto con el terreno (0.75).

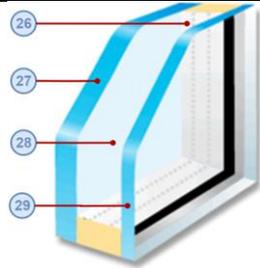
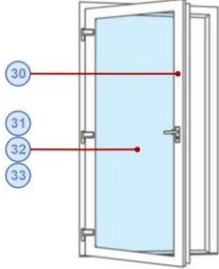
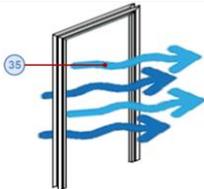
Tabla 12. Composición de los cerramientos con su respectivo U-value

Id.	Cerramiento/Material	Espesor (m)	Transmitancia térmica U ($W/m^2 \cdot K$)
Ground floor (Suelo del terreno)		0.281	0.801
1	Baldosa cerámica	0.015	
2	Mortero de cemento	0.037	
3	Plástico Polietileno LDPE	0.002	
4	Plancha aislante Poliuretano PUR	0.025	
5	Membrana impermeable PVC	0.002	
6	Capa de grava	0.200	
External wall (Muro exterior)		0.405	0.232
7	Enlucido de yeso aislante	0.020	
8	Ladrillo macizo (montado a soga)	0.260	
9	Poliestireno expandido EPS (SATE)	0.120	
10	Mortero de recubrimiento (SATE)	0.005	
Adjacent wall (Muro adyacente)		0.300	1.641
11	Enlucido de yeso aislante	0.020	
12	Ladrillo macizo (montado a soga)	0.260	
13	Enlucido de yeso aislante	0.020	
External floor (Suelo externo)		0.285	0.177
14	Tablero de virutas orientadas OSB	0.018	
15	Poliestireno extruido XPS	0.200	
16	Tablero de virutas orientadas OSB	0.018	
17	Lámina asfáltica de betún	0.004	
18	Mortero de cemento	0.030	
19	Baldosa cerámica	0.015	
Adjacent ceiling (Techo adyacente)		0.021	3.488
20	Tarima madera natural	0.021	
External roof (Techo externo)		0.270	0.178
21	Tablero de virutas orientadas OSB	0.018	
22	Poliestireno extruido XPS	0.200	
23	Tablero de virutas orientadas OSB	0.018	
24	Lámina asfáltica de betún	0.004	
25	Teja de arcilla cocida	0.030	

3.3.2 Huecos

Existen tres tipos de huecos a considerar en el estudio. Primero, 13 ventanas exteriores y 2 puertas con acristalamiento, el segundo tipo comprende la puerta principal y el tercer tipo incluye el pórtico del pasillo y puerta del aseo, ver Tabla 13.

Tabla 13. Composición de los huecos con su respectivo U-value

Id.	Hueco/Material		Espesor (m)	U-value (W/m ² ·K)	Representación		
Ventana exterior							
26	Fracción de marco = 20%	Marco	Policloruro de vinilo PVC ¹⁶	≈0.050	2.2		
27		Acristalamiento	Doble vidrio (4+4 mm)				0.008
28			Cámara de aire				0.012
29			Vidrio (4 mm)				0.004
Puerta con acristalamiento¹⁷							
30	Fracción de marco = 47%	Marco	Policloruro de vinilo PVC	≈0.050	2.2		
31		Acristalamiento	Doble vidrio (4+4 mm)				0.008
32			Cámara de aire				0.012
33			Vidrio (4 mm)				0.004
Puerta principal							
34	Fracción de marco = 99% ¹⁸	Marco	Policloruro de vinilo PVC	≈0.080	2.2		
		Acristalamiento	Sin acristalamiento, pero en el modelo posee el 1%, que es insignificante.				-
Pórtico del pasillo¹⁹ y Puerta del aseo²⁰							
35	Sin marco ni acristalamiento (Aire)		0	5.68			

¹⁶ El material PVC de ventanas y puertas contienen rotura de puente térmico RTP en su estructura.

¹⁷ Puerta del SALÓN-COCINA que comunica a la solera y puerta de la CAMBRA que comunica a la terraza.

¹⁸ La fracción del marco debería ser el 100%, pero como la mayoría de programas de simulación energética no admiten la inclusión de huecos que funcionen como puertas, entonces se tiene que hacer este artificio, y considerar a la puerta como una ventana con el 99% demarco.

¹⁹ El pórtico comunica el SALÓN-COCINA con la ENTRADA, dejando que circule libremente el flujo de aire.

²⁰ La puerta del ASEO comunica a la ENTRADA, y permanece abierta casi todo el tiempo dejando la libre circulación del flujo de aire a través de ella, a la cual para motivos de este estudio en la simulación se la considera nula.

3.4 CUMPLIMIENTO DE EXIGENCIAS

Así como el estándar Passivhaus ha establecido exigencias, el presente trabajo pretende guiarse en ellas para el cumplimiento de la normativa española y poderlas tener en consideración para el estudio energético.

3.4.1 Superaislamiento

El edificio contiene una envolvente con un buen aislamiento térmico aplicado por el exterior de forma continua para así romper y eliminar más puentes térmicos. Este aislamiento es formado por un conjunto de capas que constituyen un Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE), que es basado en una placa de poliestireno expandido EPS grafito, ver Tabla 14. Así incluir el aislamiento hace que se mejore el comportamiento térmico del edificio especialmente en invierno, reduciendo las pérdidas de calor al exterior, y en verano impidiendo la entrada del mismo.

Tabla 14. Componentes principales del SATE usado en la envolvente

Id.	Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior	Transmitancia térmica U (W/m ² ·K)
1	Mortero de adhesión y de regularización	
2	Placa aislante EPS grafito	
3	Fijación mecánica con espigas	
4	Mortero de adhesión y de regularización	
5	Malla de refuerzo	
6	Mortero de adhesión y de regularización	
7	Imprimación de regularización de fondo	
8	Revestimiento orgánico color blanco	

Las propiedades térmicas que se puede destacar son:

- Coeficiente de absorción de radiación solar del revestimiento orgánico, $\alpha=0.2$ a 0.3 .
- Conductividad térmica de la placa aislante, $\lambda= 0.032$ W/m·K.

Por lo cual en función de la conductividad se puede calcular la resistencia térmica de la placa aislante, considerando que los cerramientos del edificio usan placa aislante EPS de 12 cm en el muro exterior y placa aislante XPS de 20 cm en el techo y suelo exterior, con una conductividad del XPS de 0.039 W/m·K, como se indica en la Ecuación [3]:

$$R = \frac{e}{\lambda} = \frac{0.12\text{m}}{0.032 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} = 3.75 \frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}} ; R = \frac{e}{\lambda} = \frac{0.2\text{m}}{0.039 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot\text{K}}} = 5.128 \frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}} \quad [3]$$

Por lo tanto, una transmitancia térmica como se muestra en la Ecuación [4]:

$$U = \frac{1}{R} = \frac{1}{3.75 \frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}}} = 0.2667 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} ; U = \frac{1}{R} = \frac{1}{5.128 \frac{\text{m}^2\cdot\text{K}}{\text{W}}} = 0.195 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\cdot\text{K}} \quad [4]$$

En consecuencia, se puede decir que la transmitancia térmica global del cerramiento es prácticamente la transmitancia térmica de la placa aislante, como se observa al comparar estos valores con los de la Tabla 12, debido a que la resistencia térmica que presenta la placa aislante es muy alta frente a la resistencia de los otros materiales del cerramiento, los cuales no son mayormente influyentes.

3.4.2 Inercia térmica

Al tener un edificio aislado térmicamente en toda su envolvente se presume que la inercia térmica que posea será favorable en tanto en el invierno como en verano. Esto se lo confirmará en los resultados que se obtengan del ajuste del modelo energético en el CAPÍTULO 5.

3.4.3 Puentes térmicos

Debido al sistema con alto grado de asilamiento, la baja transmitancia térmica del mismo, y su instalación por el exterior de forma continua hace que se rompan más puentes térmicos que si se aislara por el interior, por lo cual se ha obviado la existencia de los puentes térmicos teniendo mayor simplicidad en los cálculos del modelo, dado que si se tomara en cuenta se consiguiera que la transmitancia solo se incremente una cifra insignificante, por lo que los puentes térmicos pueden ser despreciados en este caso. Al ser el asilamiento continuo en toda la envolvente hace que esta no se debilite debido a un cambio de su composición o al encuentro de distintos elementos constructivos.

3.4.4 Ventanas y puertas de alta calidad

La carpintería que se ha utilizado es de grandes prestaciones resultando no ser un punto tan débil en la envolvente, por lo que se ha utilizado puertas de PVC con rotura de puente térmico RPT, y ventanas con doble acristalamiento incoloro 4+4/12/4, es decir, un conjunto de elementos con un espesor total de 24 mm. formado por, un vidrio interior laminar de baja emisividad térmica 4+4 compuesto por dos lunas de vidrio de 4 mm. unidas mediante una cámara incolora de butiral de polivinilo, además una cámara de gas deshidratada con perfil separador de PVC y doble sellado perimetral de 12 mm. rellena de aire, y por último un vidrio exterior de 4 mm., como se indica en la figura de la Tabla 13.

Se debe considerar que, usando un gas noble como el argón en la cámara del acristalamiento se mejora los coeficientes de transmitancia térmica, teniendo así:

$$U_{(aire)} = 1.4 \frac{W}{m^2 \cdot K} ; U_{(argón)} = 1.2 \frac{W}{m^2 \cdot K}$$

Características y factores energéticos del acristalamiento de la ventana:

- Marca: SGG Climalit Plus; modelo: SGG Planitherm 4S (4+4/12/4) bajo emisivo
- Marco de PVC con RPT de hoja oscilobatiente serie ideal 5000
- Transmitancia energética, $\tau = 41\%$
- Reflexión energética exterior, $\rho_{re} = 43\%$
- Absorción del vidrio exterior e interior, $\alpha = 14\%$ y 12% , respectivamente
- Factor solar, $g_{(max)} = 0.43$, Emisividad, $\varepsilon = 0.01$

Para interpretar las propiedades de la superficie del acristalamiento debe valerse de la Ecuación [5], en la que basándose en la radiación incidente sobre una superficie semitransparente la longitud de onda corta viaja produciendo que la radiación se descomponga al llegar a la superficie en reflectividad ρ , absorptividad α y transmisividad τ donde juntas deben ser igual a la unidad. Por lo tanto, podría entenderse que la radiación remitida al interior de la vivienda es aproximadamente del 2% de la radiación incidente en ese momento.

$$G = \rho G + \alpha G + \tau G$$

$$\rho_{\lambda} + \alpha_{\lambda} + \tau_{\lambda} = 1$$

$$\rho + \alpha + \tau = 1 \quad [5]$$

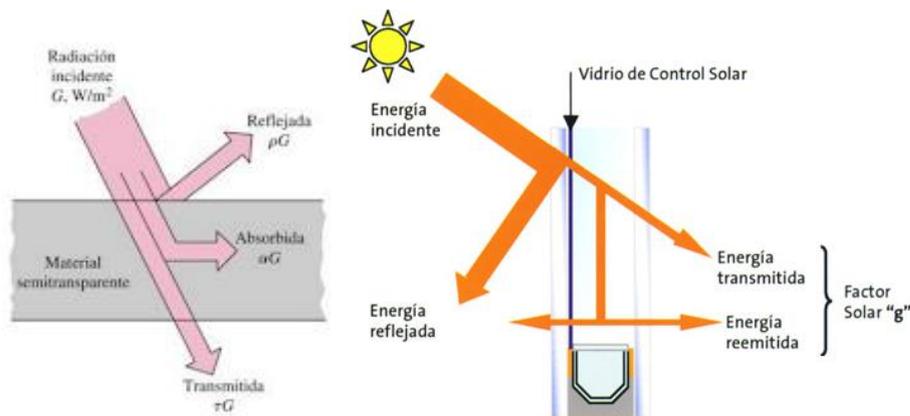


Figura 35. Factores que intervienen en la radiación de onda corta

3.4.5 Hermeticidad

La estanqueidad en el edificio se ha llevado a cabo con el test de Blower-Door, en el que se hace un control de las infiltraciones no deseadas de aire, a una diferencia de presiones entre el interior y exterior de 50 Pa., donde las infiltraciones han dado un resultado menor al estándar. Sin embargo, para este estudio se va a tomar la infiltración límite establecida por el estándar Passivhaus, para que en el resto de casos inferiores a este valor, se den resultados favorables, es decir, $n_{50} < 0.6$ ren/h.

Se debe notar que, según la Tabla 5, teniendo en cuenta la compacidad del edificio, el CTE es menos exigente que el estándar Passivhaus, puesto que establece un valor de estanquidad de $n_{50} < 6$ ren/h

3.4.6 Ventilación natural cruzada en verano

Se pondrá en funcionamiento en las épocas de verano y transición para disipar el calor absorbido al interior del edificio, dependiendo de la temperatura exterior que exista en ese instante. Se la implementará en el ajuste del modelo energético en el CAPÍTULO 5, a través de un control basado en temperaturas donde al abrir determinadas puertas y ventanas, el flujo de aire circule libremente de forma cruzada por el interior del edificio, tanto en la planta baja como en la planta primera. El control de temperaturas se lo hace en una calculadora desde Simulation Studio, mientras que la apertura de puertas y ventanas se la controla desde TRNFlow.

3.4.7 Ventilación controlada con recuperador de calor

Al igual que la ventilación natural, la ventilación mecánica con recuperador de calor se la implementará en el ajuste del modelo energético en el CAPÍTULO 5. La finalidad de la ventilación controlada es recuperar gran parte de la energía que sale hacia el exterior a través de la ventilación cuando se renueva el aire utilizado por uno fresco previamente filtrado en condiciones higiénicas, proporcionando una mayor calidad de aire en el interior.

Para ello previamente se debe conocer que ecuación gobierna en el intercambio de calor para mantener la temperatura del interior en condiciones óptimas. Entonces, se sabe que la energía recuperada por un recuperador se calcula con la Ecuación [6], donde sus expresiones son el producto del caudal másico que circula en éste, por la diferencia de entalpía del aire entre salida y la entrada, y por el período que permanece en funcionamiento.

$$E = m_{as} \cdot \Delta h \cdot t \quad [6]$$

Luego, partiendo de la ecuación de la entalpía total del aire atmosférico que es la suma de la entalpía del aire seco y entalpía de vapor de agua, se tiene

$$\begin{aligned} H &= H_{as} + H_{va} \\ H &= m_{as} \cdot h_{as} + m_{va} \cdot h_{va} \\ \frac{H}{m_{as}} &= h_{as} + \frac{m_{va}}{m_{as}} \cdot h_{va} \\ h &= h_{as} + \omega \cdot h_{va} \end{aligned} \quad [7]$$

y conociendo que la variación de entalpía es el producto del calor específico por la variación de temperatura $\Delta h = c_p \cdot \Delta T$, se remplace en la Ecuación [7], obteniendo

$$h = c_{p,as} \cdot T + \omega \cdot (h_{fg} + c_{p,as} \cdot T)$$

y se puede establecer que la energía recuperada se puede expresar como

$$\begin{aligned} E &= m_{as} \cdot (c_{p,as} \cdot \Delta T + h_{fg} \cdot \Delta \omega + c_{p,va} \cdot \omega_{out} \cdot \Delta T + c_{p,va} \cdot T_{in} \cdot \Delta \omega) \cdot t \\ E &= m_{as} \cdot \left[(c_{p,as} + c_{p,va} \cdot \omega_{out}) \cdot \Delta T + (h_{fg} + c_{p,va} \cdot T_{in}) \cdot \Delta \omega \right] \cdot t \end{aligned} \quad [8]$$

En la Ecuación [8] con las variaciones térmicas $\Delta \omega$, ΔT puede relacionarse con la eficiencia de un recuperador como la cantidad de energía recuperada partido por la cantidad máxima de energía recuperable, en donde la norma UNE-EN-308 simplifica la expresión y establece la eficiencia mínima de un recuperador que intercambia energía sensible y latente, Ecuación [9] y Ecuación [10], respectivamente. [9]

$$\eta_T = \frac{T_{SUP} - T_{ODA}}{T_{ETA} - T_{ODA}} \quad [9]$$

$$\eta_\omega = \frac{\omega_{SUP} - \omega_{ODA}}{\omega_{ETA} - \omega_{ODA}} \quad [10]$$

De modo que, para este estudio se ocupará solamente la eficiencia de la Ecuación [9], debido a que el edificio consta con un recuperador de calor que intercambia solo energía sensible, o también denominado Heat Recovery Ventilator (HRV), en donde en la Figura 36 se puede visualizar un esquema del intercambio de calor a través de los flujos de aire de entrada y salida del recuperador, en el que cada uno está a distinta temperatura.

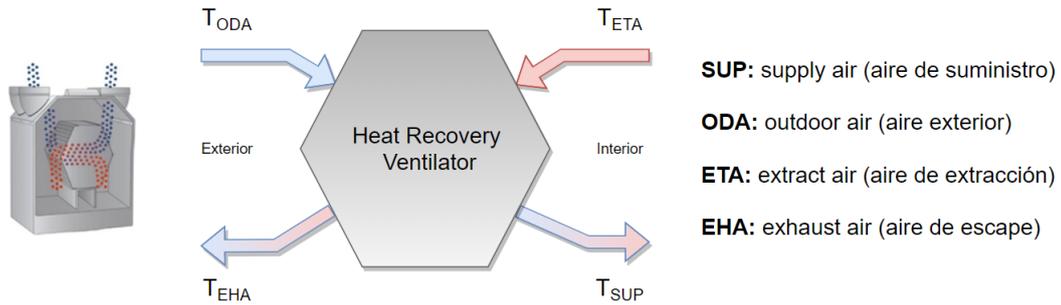


Figura 36. Esquema del intercambio de calor que realiza un Recuperador

CAPÍTULO 4. GANANCIAS DE CALOR

Uno de los factores más importantes para ajustar el modelo son incorporar las ganancias de calor que afectan en el cálculo de la temperatura interior del edificio. Las ganancias presentes en la vivienda son varias, pero este capítulo hará un estudio más detallado de las ganancias de calor internas de los equipos, por la interesante forma en que se llegan a determinar. Otras ganancias se analizan en el capítulo siguiente al ajustar el modelo, y el resto de ganancias como las solares o conductivas en los cerramientos, el programa las calcula de manera interna y pueden ser analizadas al seleccionar el *Output* adecuado en TRNBuild.

Es importante mencionar que calcular las ganancias de calor que contiene el edificio tiene como finalidad determinar las cargas de refrigeración y calefacción necesarias para mantener siempre una temperatura y humedad en condiciones de confort al interior del mismo a través de sistemas de climatización, como en este caso de estudio, el uso del recuperador de calor en épocas de transición e invernal. Pero, además otra finalidad de calcular las ganancias es porque el programa internamente las utiliza para la simulación energética del modelo.

4.1 GANANCIA DE CALOR VS. CARGA TÉRMICA

Es necesario distinguir entre ganancia y carga térmica dado que, estos dos conceptos son totalmente diferentes. Ganancia de calor es la cantidad de energía instantánea captada al interior de un espacio, que por su forma de entrada en éste puede ser sensible o latente; mientras carga térmica es la energía que tiene que ser añadida o removida en cada momento de ese espacio para mantener la temperatura y humedad adecuada [10].

Hay que tener en cuenta que una ganancia de calor puede llegar a convertirse en una carga térmica pero una carga térmica no puede llegar a convertirse en ganancia de calor. Para entender esto se debe tener en consideración el tipo de transferencia de calor que produce la ganancia sensible, esta puede ser conductiva, convectiva y radiante.

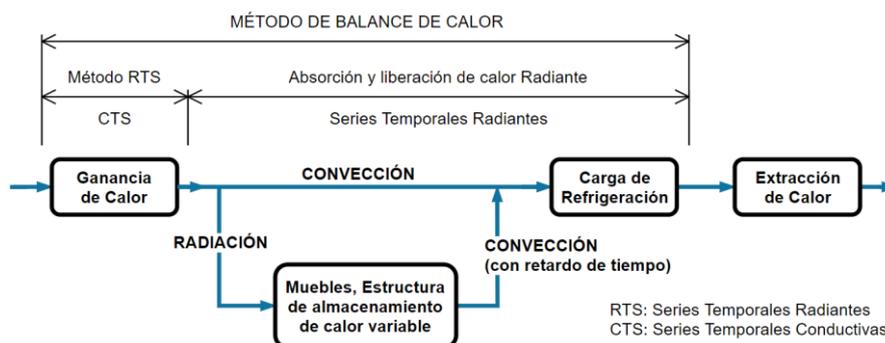


Figura 37. Origen de la diferencia entre ganancia de calor instantánea y carga térmica

Atribuyendo las ganancias a las cargas térmicas, se puede decir que, si la transferencia es por convección como las ganancias por ventilación e infiltración, entonces estas directamente se convierten en cargas térmicas. Pero si la transferencia de esta ganancia se da a la vez por convección y radiación como, las ganancias solares, conductivas (a través de los cerramientos) e internas, entonces la parte radiante pasará a convertirse en convectiva después de un retardo de tiempo hasta que todo el calor sea convectivo y se convierta finalmente en carga térmica, tal como se muestra en la Figura 37, con un ejemplo de carga de refrigeración para extraer calor de un espacio y mantener condiciones propicias.

Para estimar las cargas térmicas comúnmente se hace uso del método de balance. Dentro de este se deriva el método de Series Temporales Conductivas (CTS) que se basa en la transmisión de calor en cada hora como si se tratase de condiciones estacionarias; y el método de Series Temporales Radiantes (RTS), aplicado a las ganancias que realizan transferencia de calor por convección y radiación.

Una vez conocidos los métodos empleados para calcular las cargas térmicas, de manera análoga el programa TRNSYS realiza un cálculo de balance de calor conductivo, convectivo y radiativo en cada superficie que conforma el edificio. En el cálculo interno empleado por el programa se estiman las ganancias, que intervienen directamente en la simulación del modelo para establecer la carga final de refrigeración y calefacción.

4.2 MÉTODO DE CÁLCULO

Para simular el comportamiento de un edificio multizona como la vivienda en estudio, TRNSYS lo realiza a través del *Type56* en donde ejecuta un balance por convección y radiación aplicado a una zona térmica. Para el primero se emplea el flujo de calor convectivo hacia el nodo de aire de una zona térmica, como se muestra en la Figura 38; mientras que para el segundo se emplea el flujo de calor radiante hacia paredes y ventanas al interior de una zona térmica, que intercambian calor radiante con el nodo de aire, como se muestra en la Figura 39. En seguida, se presenta las funciones matemáticas que realiza el motor interno de TRNSYS para estos dos tipos de balances, información que se obtiene del manual del mismo [11].

4.2.1 Flujo de calor Convectivo

Para el balance del flujo de calor por convección al interior de una zona térmica se emplea la Ecuación [11]:

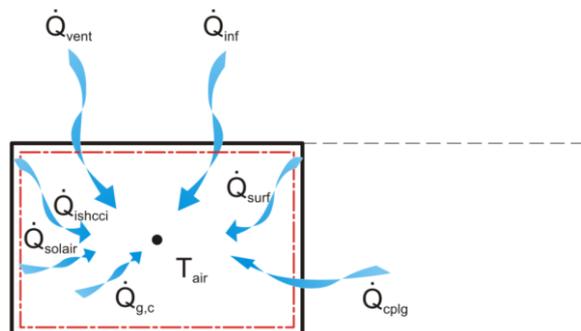


Figura 38. Balance térmico de convección en una zona térmica

$$\dot{Q}_i = \dot{Q}_{surf,i} + \dot{Q}_{inf,i} + \dot{Q}_{vent,i} + \dot{Q}_{g,c,i} + \dot{Q}_{cplg,i} + \dot{Q}_{solair,i} + \dot{Q}_{SHCCI,i} \quad [11]$$

donde,

\dot{Q}_i : flujo de calor convectivo que recibe o cede desde la zona i

$\dot{Q}_{surf,i}$: ganancia convectiva de las superficies internas

$\dot{Q}_{inf,i}$: ganancias de infiltración del flujo de aire desde el exterior solamente

$$\dot{Q}_{inf,i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{outside,i} - T_{air}) \quad [12]$$

$\dot{Q}_{vent,i}$: ganancias de ventilación, para este caso del flujo de aire desde el recuperador de calor

$$\dot{Q}_{vent,i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{ventilation,i} - T_{air}) \quad [13]$$

$\dot{Q}_{g,c,i}$: ganancias convectivas internas producidas por personas, equipos, iluminación

$\dot{Q}_{cplg,i}$: ganancias convectivas del flujo de aire de una zona adyacente

$$\dot{Q}_{cplg,i} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{zone,i} - T_{air}) \quad [14]$$

$\dot{Q}_{solair,i}$: fracción de radiación solar que entra a la zona a través de las ventanas exteriores la cual es transferida al aire interior al instante como ganancia convectiva

$\dot{Q}_{SHCCI,i}$: radiación solar absorbida en todos los dispositivos de sombreado interno de la zona y también directamente transferida al aire interior como ganancia convectiva

4.2.2 Flujo de calor Radiante

De igual modo, para el balance de flujo de calor por radiación al interior de una zona térmica se emplea la Ecuación [15]:

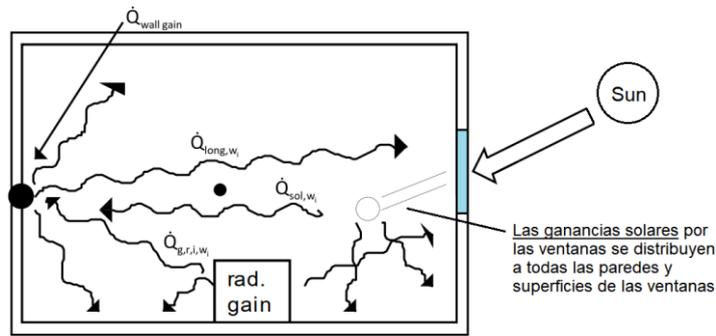


Figura 39. Balance térmico de radiación hacia paredes y ventanas

$$\dot{Q}_{r,w_i} = \dot{Q}_{g,r,i,w_i} + \dot{Q}_{sol,w_i} + \dot{Q}_{long,w_i} + \dot{Q}_{wall\ gain} \quad [15]$$

donde,

\dot{Q}_{r,w_i} : ganancias radiativas para el nodo de temperatura de la superficie de pared

\dot{Q}_{g,r,i,w_i} : ganancias internas del nodo de aire radiante recibidas por la pared

\dot{Q}_{sol,w_i} : ganancias solares a través de las ventanas de la zona recibidas por las paredes

\dot{Q}_{long,w_i} : intercambio de radiación de onda larga entre esta y todas las demás paredes y ventanas

$\dot{Q}_{wall\ gain}$: flujo de calor adicional de la pared o superficie de la ventana especificado por el usuario

4.3 GANANCIAS PRESENTES EN EL EDIFICIO

En el análisis están presentes las ganancias que por su procedencia para convertirse en carga térmica primeramente se dividen en una parte convectiva y radiante, como las ganancias solares, conductivas (en los cerramientos) e internas (ocupantes, iluminación, equipos). Igualmente, están las ganancias de ventilación y convección que pueden ser consideradas directamente una carga térmica puesto que, su transferencia es netamente convectiva. El conjunto de todas las ganancias es lo que da como resultado la demanda horaria de refrigeración o calefacción, como se muestra en la Figura 40.

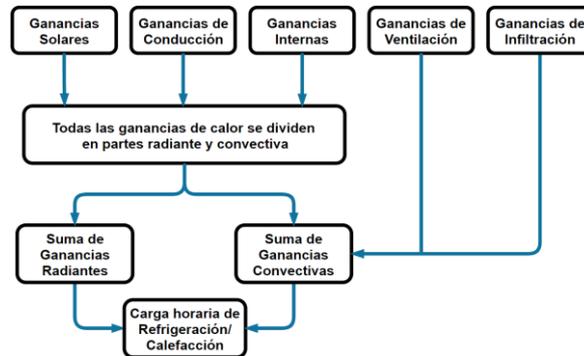


Figura 40. Ganancias de calor actunes en la simulación energética

Las ganancias modifican la temperatura y humedad interior del edificio, por ello es importante especificar que en el modelo se hace un análisis de estas por su forma de introducirse al edificio. Pueden ser sensibles (transferencia por conducción, convección, radiación) o latentes (transferencia de humedad), incluyendo la parte sensible a todas las ganancias, y únicamente la parte latente a las que provienen de la ventilación, infiltración, ocupación y equipos, como se muestra en la Figura 41.

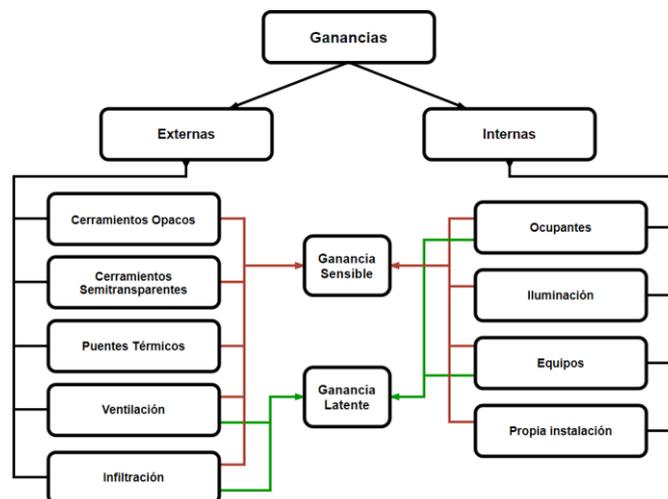


Figura 41. Tipos de ganancia por la forma que entra al edificio

Hay otras cargas internas que son prácticamente despreciables, por tal motivo en este análisis no se las ha tomado en cuenta cargas como las de la propia instalación (p. ej. ventiladores). La ventilación se considera como carga térmica cuando es independiente del sistema de climatización (p.ej. ventilación natural).

4.4 GANANCIAS DE CALOR INTERNAS

Como se mencionó, comprenden las ganancias producidas internamente por las personas, iluminación y equipos. La primera se introduce de acuerdo a la actividad que se desarrolle en cada zona, basada en una tabla de la ISO 7730 que contiene TRNBuild, mientras que para las dos siguientes se ha realizado una estimación del consumo para luego calcularlas en el programa.

4.4.1 Tasas de calor y Potencia

4.4.1.1 Personas

En la vivienda habita una familia conformada por 3 personas. La ganancia por persona se puede dividir en una parte latente (instantánea) y una parte sensible por convección y radiación, que dependerá de diversos factores. Estos factores son debidos a los diferentes estados de actividad del usuario. Es aquí que en TRNBuild se elige un grado de actividad dependiendo en la zona en que se encuentre, pero por lo general donde no se realice mayor esfuerzo y sea acorde a una vivienda familiar como se muestra en la Tabla 15, sin ninguna actividad que represente tasas de calor sensible y latente altas, pero teniendo en cuenta que los horarios que las personas permanecen en la vivienda son muy importantes.

Tabla 15. Tasas de ganancia de calor por persona según la zona térmica

Zona térmica	Ocup.	Grado de actividad	Calor total ²¹ (W)	Calor sensible (W)	Calor latente (W)
SALON-COCINA	3	Sentados, comiendo	170	75	95
ASEO	1	Sentados, de pie	120	65	55
ENTRADA	2	Sentados, trabajo ligero	150	75	75
CAMBRA	3	Sentado o en reposo	100	60	40

Los horarios que las personas ocupan la vivienda se ingresan de forma razonable asemejando la programación de estos a la realidad, para que no se traslapen y no haya un exceso ni falta de ganancia. Para ello se ha creado dos tipos de horarios que contienen una programación para la planta baja (zonas SALON-COCINA, ASEO, ENTRADA) y otra para la planta primera que es uso exclusivamente de la zona CAMBRA.

El primero es un horario semanal de la planta baja que se subdivide en dos horarios más que comprende una ocupación para días laborables y fines de semana, mientras que el segundo simplemente tiene un uso diario independientemente que día de la semana sea, puesto que es el dormitorio y se lo ocupa continuamente.

Además, se tiene que estimar la frecuencia que las personas permanecen en una determinada zona. Así, por ejemplo, si se encuentran los tres miembros de la familia en un espacio, se entiende que corresponde a una ocupación del 100%. En el caso de la primera planta se encuentra la habitación, y es esta zona que se la usa para descanso de 22:00 a 7:00, es por ello que el horario tiene una ocupación del 100% en ese rango, como se detalla en la Figura 42.

²¹ Este valor corresponde a un calor total ajustado, es decir que es basado en un porcentaje normal para hombres, mujeres y niños correspondiente al grado de actividad listado.

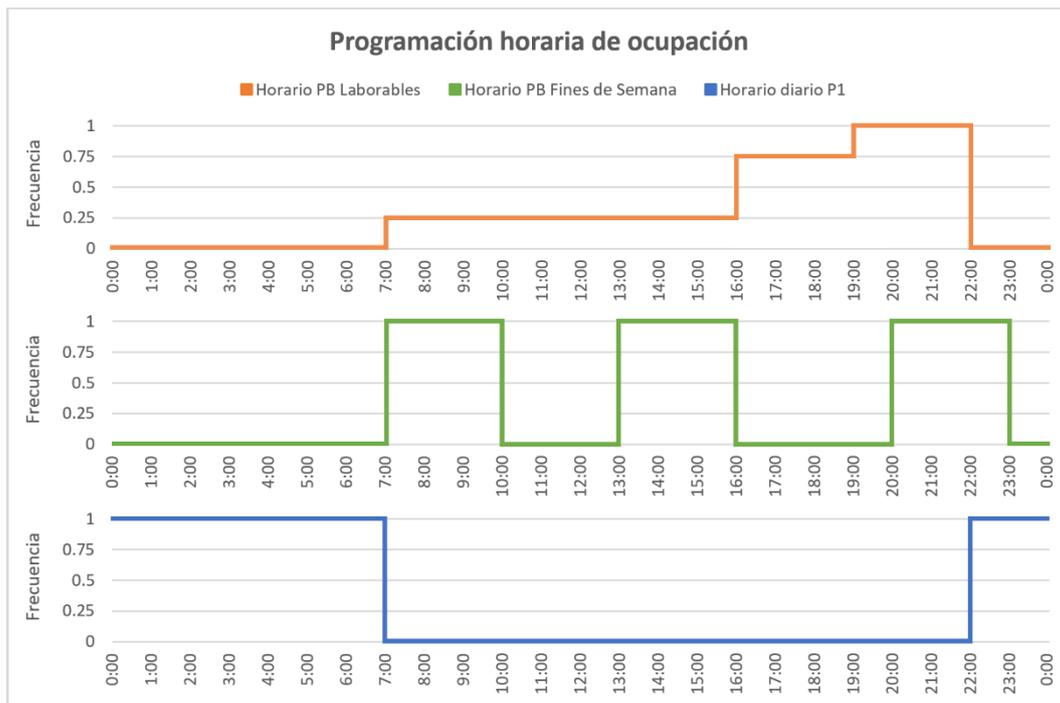


Figura 42. Programación horaria de ocupación de la vivienda

Para una mejor comprensión de la programación horaria de ocupación se incluye un gráfico circular, en el que se puede percibir de mejor manera el uso de la vivienda.

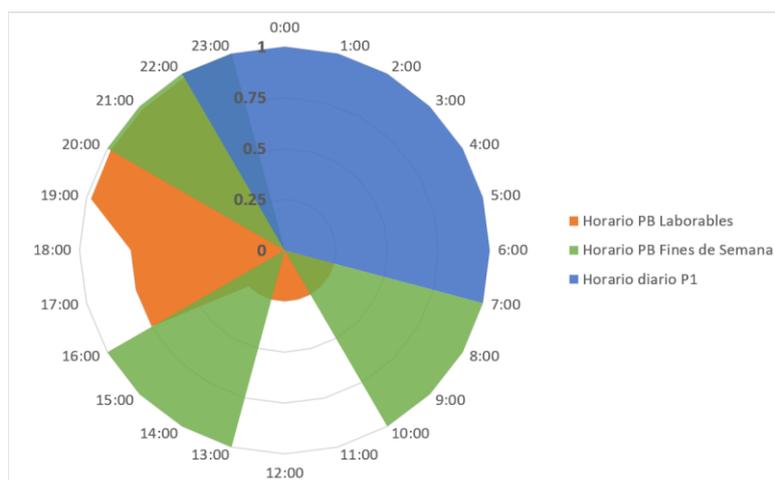


Figura 43. Programación horaria de ocupación, estilo gráfico circular

4.4.1.2 Iluminación

Se debe aclarar que hace algún tiempo atrás por lo general la carga que producía la iluminación solía ser una de las mayores componentes de las cargas internas cuando se ocupaba bombillas incandescentes, pero en la vivienda ya no es el caso puesto que la iluminación es del tipo LED. La ganancia por iluminación es toda sensible y el porcentaje radiativo y convectivo dependen del tipo de luminaria, en el caso de las luminarias LED del edificio tienen una potencia de 5 W, teniendo una pérdida de energía en forma de calor de aproximadamente un 10% (Figura 44),

que de esto se distribuye un 20% para la parte radiativa y un 80% para la convectiva al contrario que la bombilla incandescente, es decir, hoy en día bombillas las LED ya no desprende tanto calor como lo hacían en el pasado otros tipos de bombilla.

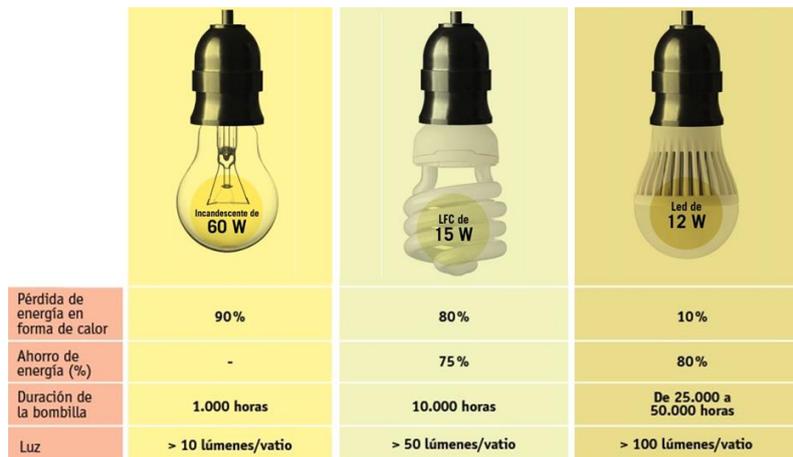


Figura 44. Pérdida de energía en forma de calor de bombillas

El edificio dispone de 7 bombillas LED con la potencia unitaria y total mostrada en la Tabla 16, que se reparten en las zonas térmicas de la siguiente manera:

- SALON-COCINA: 2
- ASEO: 1
- ENTRADA: 2
- CAMBRA: 2

Tabla 16. Potencia total de la iluminación LED

Equipo	Imagen	Cantidad	Potencia unidad (W)	Potencia total (W)
Iluminación LED		7	5	35

4.4.1.3 Equipos

En cuanto a los equipos la ganancia que transmiten al edificio puede ser sensible y latente dependiendo del equipo. Teniendo así todos, una parte sensible radiante y convectiva que según ASHRAE en los equipos se deben usar partes radiantes mayores si las temperaturas superficiales son altas, pero, si el equipo dispone de ventiladores la parte alta debe ser la convectiva.

Previamente se lista los equipos de mayor relevancia en cuanto al consumo eléctrico en la vivienda, así como su respectiva potencia eléctrica, como se muestra en la Tabla 17. Estos se han dividido en dos partes, unos que producen ganancias de calor y otros no. En los que no producen una ganancia, no es que no la produzcan, sino que en el caso del termo eléctrico al estar sus conexiones lo suficientemente asiladas, la ganancia será despreciable y no se la tomará en cuenta en la simulación. De igual forma, el recuperador no será tomado en cuenta en los equipos que producen ganancia, pero si en la estimación de la misma al fraccionar el consumo eléctrico.

Tabla 17. Potencia de los equipos con mayor relevancia en la vivienda que consumen electricidad

Equipo	Imagen	Potencia (W)	Consumo ²² (kWh)
Producen ganancia de calor			
Cocina de inducción		880	0.88
Frigorífico combi		100 ²³	228 ²⁴
Lavadora		410	0.41
TV 42 pulgadas		81	-
Router-Internet		12	-
HiFi		50	-
Convector eléctrico		700	-
No producen ganancia de calor ²⁵			
Termo eléctrico TL Plus 50 V		1500	-
Recuperador de calor Zehnder		43.20	-

La potencia del recuperador de calor puede variar (ver Tabla 18) dependiendo del caudal de aire que esté circulando por sus ventiladores de extracción y suministro. Para el estudio del edificio se usa un caudal de 160 m³/h que será justificado en el CAPÍTULO 5.

Tabla 18. Potencia del Recuperador de calor según el caudal de aire

Equipo	Potencia específica (Wh/m ³)	Caudal de aire (m ³ /h)	Potencia (W)
Recuperador de calor Zehnder	0.27	160	43.20

²² Consumo proporcionado por el fabricante del equipo durante una hora de funcionamiento.

²³ Potencia promedio contabilizando las veces que se activa el compresor en el sistema de refrigeración.

²⁴ Valor de consumo ideal al año expresado en kWh/año, proporcionado por el fabricante.

²⁵ Si producen ganancia, pero el calor que transmiten se puede tomar como insignificante.

4.4.2 Estimación del consumo de equipos e iluminación

Para estimar el consumo de los equipos e iluminación se ha basado en las facturas de energía eléctrica que se proporcionan cada mes por la compañía energética, de esta manera fraccionando el consumo general y aproximando razonablemente las horas de funcionamiento de cada equipo e iluminación se ha llegado a introducir en el software una programación horaria de los equipos que varía en función de la época del año debido a que un equipo no consume la misma energía en verano que en invierno, además de ingresar las fracciones de potencia radiante y convectiva que poseen cada uno.

Se puede visualizar con más detalle en el Anexo 2.2 CURVA DE CARGA ANUAL, los datos de energía incremental en cada hora del consumo eléctrico de la vivienda, que han servido para estimar con mayor precisión los horarios de funcionamiento.

Para todo lo dicho anteriormente se realizará los siguientes pasos:

1. Determinar la potencia radiante y convectiva de los equipos e iluminación
2. Registrar la lectura de facturas de la compañía de energía eléctrica
3. Estimar el consumo anual de equipos e iluminación en función de las horas de funcionamiento

4.4.2.1 Potencia radiante y convectiva

Los equipos e iluminación transmiten al edificio calor sensible que tiene parte radiante y convectiva es por el ello que en referencia a la guía técnica del IDAE [12] se acoge algunos valores de estos, pero tomando en consideración que la ASHRAE recomienda usar más parte radiante en equipos donde las superficies sean elevadas, y más convectiva si un equipo posee ventilador.

Es muy importante introducir la parte radiante y convectiva que emite un aparato al edificio, ya que será de gran relevancia para el programa calcular cuanta energía radiante va a convertirse en convectiva con el paso del tiempo, ya que debido a la naturaleza de propagación de estos (ver Figura 45) se logra cuantificar de forma más precisa la temperatura que existe en el interior. Ilustrativamente se puede ver que la emisión radiante es más homogénea que convectiva.

Es así que un equipo que emite más calor por convección transformará directamente éste en carga para el edificio, mientras la parte radiante de onda larga tardará un tiempo más en pasar a convectiva para finalmente convertirse en carga. Es por ello que al hacer uso de un convector eléctrico durante unos pocos días en invierno se debe precisar claramente este porcentaje ya que influirá significativamente en el cálculo de la temperatura en las zonas de uso.

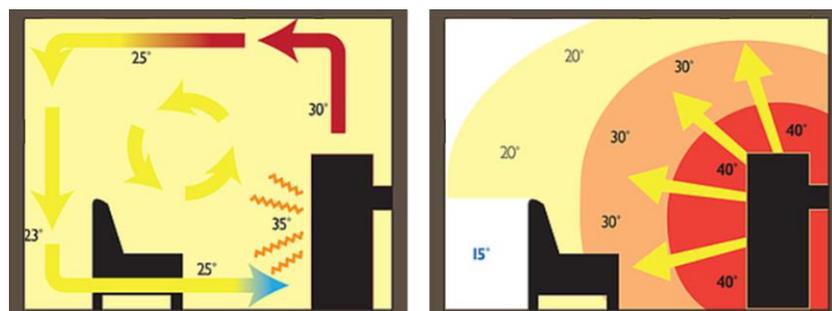


Figura 45. Transferencia de calor convectiva (izq.) y radiante (der.) de un equipo

Basándose en la Tabla 16 y Tabla 17 se detalla la parte sensible y convectiva:

Tabla 19. Parte radiante y convectiva de equipos e iluminación

Equipo	Rad. %	Con. %	Potencia		P. Radiante (kJ/h)	P. Conectiva (kJ/h)
			(W)	(kJ/h)		
Cocina de inducción	70	30	880	3168	2217.6	950.4
Frigorífico combi	60	40	100	360	216	144
Lavadora	20	80	410	1476	295.2	1180.8
TV 42 pulgadas	60	40	81	291.6	174.96	116.64
Router-Internet	40	60	12	43.2	17.28	25.92
HiFi	30	70	50	180	54	126
Convector eléctrico	20	80	700	2520	504	2016
Iluminación LED	10	90	35	126	12.6	113.4
Termo eléctrico	-	-	1500	5400	-	-
Recuperador de calor	-	-	43.20	155.5	-	-

4.4.2.2 Lectura de facturas de electricidad

Se han hecho uso de las facturas emitidas por la compañía energética durante todo el 2018, donde estas no se han emitido siempre durante la misma frecuencia de días. Se muestra además en la Tabla 20 una columna de horas acumuladas para cada lectura del contador, que se usaran en las ecuaciones desarrolladas en Simulation Studio de acuerdo a las horas de funcionamiento de cada equipo según la temporada del año.

Tabla 20. Consumos de la vivienda detallados al mes durante el 2018

Fecha	Días	Horas	Horas Acumulad.	Lectura del contador	Consumo (kWh)	Temporada
08-ene-2018	0	-	-	847	-	-
01-mar-2018	52	1248	1248	1432	585	Invierno
07-abr-2018	37	888	2136	1735	303	Invierno
02-may-2018	25	600	2736	1942	207	Primavera
03-jun-2018	32	768	3504	2211	269	Primavera
02-jul-2018	29	696	4200	2421	210	Primavera
13-jul-2018	11	264	4464	2495	74	Primavera
13-ago-2018	31	744	5208	2665	170	Verano
08-sep-2018	26	624	5832	2815	150	Verano
08-oct-2018	30	720	6552	3016	201	Verano
08-nov-2018	31	744	7296	3248	232	Otoño
08-dic-2018	30	720	8016	3484	236	Otoño
08-ene-2019	31	744	8760	3784	300	Invierno
Total	365	8760	-	-	2937	-

Aunque el consumo de electricidad total de la vivienda es el mismo que se muestra en el Anexo 2.2.3, el gráfico de la Figura 46 muestra el consumo en base a las facturas de electricidad, debido a que al inicio de este trabajo solo se contaba con esta información y de este modo se estimó el consumo fraccionado de los equipos, pero al fin y al cabo, cualquiera de los dos tipos de información sirve para llegar al mismo fin.

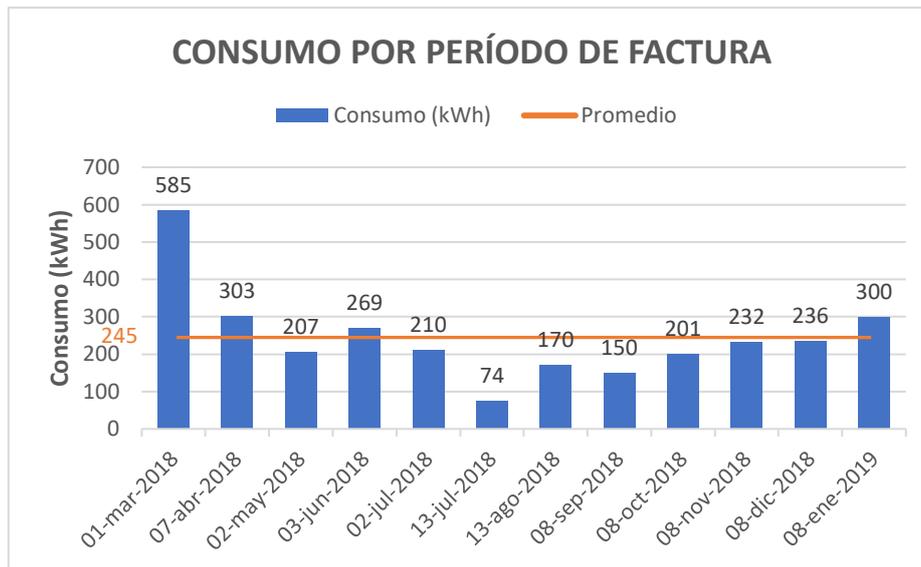


Figura 46. Gráfico de barras del consumo por período de factura

4.4.2.3 Consumo anual de equipos e iluminación

Finalmente se determina el consumo fraccionado que tendría cada equipo basándose en los días que se incluye en el período de facturación, las horas de funcionamiento y la potencia que tiene este, ver ejemplo de Ecuación [16]. Es así que en base a la información proporcionada por el usuario de la vivienda y haciendo una aproximación sensata de cuánto tiempo funciona cada elemento se ha aproximado estos valores de tal forma que la sumatoria del consumo anual de cada elemento deba ser cercana al consumo anual de las facturas, es decir 2937 kWh, como finalmente se logró al ajustar estos valores (ver Tabla 21), es decir, se va ajustando las horas de funcionamiento del equipo para coincidir los resultados.

$$\text{Consumo}_{\text{cocina}} = \text{Pot}_{\text{cocina}} \times \text{horas}_{\text{funcionamiento}} \times \text{Período}_{\text{factura}} \quad [16]$$

$$\text{Consumo}_{\text{cocina}} = (0.88 \text{ kW}) \cdot (3 \text{ h}) \cdot (52 \text{ días}) = 137.28 \text{ kWh}$$

Para ajustar los valores, se hicieron consideraciones del uso según la temporada del año, puesto que un equipo no siempre funciona la misma cantidad de horas al año. Es por esto que se ha elaborado dos tipos de programación horaria, una diaria que no varía en todo el año, y otra que varía según la temporada del año, es decir los equipos que tienen esta última programación tendrían dos periodos de funcionamiento diferente en el año, estos son los que se muestran en la Tabla 21 de color azul y rojo. Además, hay un caso especial con el convector eléctrico debido a que solo funcionará 5 horas diarias durante 11 días específicos al año, donde 3 de estas horas serán una zona térmica y las otras 2 en otra.

Los equipos que producen una ganancia casi nula, han sido tomados en cuenta únicamente para ajustar los consumos finales, y no se ingresara en el programa ninguna tasa de ganancia ni programación horaria, dado que en el caso del termo eléctrico se entiende que sus componentes están aislados del entorno y en cuanto al recuperador intercambia calor con el ambiente exterior y será estudio del siguiente capítulo.

Tabla 21. Consumo de equipos e iluminación que producen y no ganancia de calor

Período	Temporada	Horas Acumuladas	Consumo de factura (kWh)	Consumos que producen ganancia (kWh)															No ganancia (kWh)				
				Horas de func.	Cocina de inducción ²⁶	Horas de func.	Frigorífico combi	Horas de func.	Lavadora ²⁷	Horas de func.	TV 42 pulgadas	Horas de func.	Router Internet	Horas de func.	HIFI	Horas de func.	Convector ²⁸	Horas de func.	Iluminación LED ²⁹	Horas de func.	Termo eléctrico	Horas de func.	Recuperador de calor ³⁰
01-mar-2018	Invierno	1248	585	3	137.28	8	41.6	1	21.32	3	12.64	24	14.98	1	2.6	0	0	5	9.10	3.2	249.60	12	26.96
07-abr-2018	Invierno	2136	303	3	97.68	8	29.6	1	15.17	3	8.99	24	10.66	1	1.85	0	0	5	6.48	2.2	122.10	12	19.18
02-may-2018	Primavera	2736	207	3	66	8	20	1	10.25	3	6.08	24	7.20	1	1.25	0	0	4	3.50	2.1	78.75	12	12.96
03-jun-2018	Primavera	3504	269	3	84.48	10	32	1	13.12	3	7.78	24	9.22	1	1.6	0	0	4	4.48	2.4	115.20	0	0.00
02-jul-2018	Primavera	4200	210	3	76.56	10	29	1	11.89	3	7.05	24	8.35	1	1.45	0	0	4	4.06	1.6	69.60	0	0.00
13-jul-2018	Primavera	4464	74	2	19.36	10	11	1	4.51	3	2.67	24	3.17	1	0.55	0	0	4	1.54	1.6	26.40	0	0.00
13-ago-2018	Verano	5208	170	2	54.56	10	31	1	12.71	3	7.53	24	8.93	1	1.55	0	0	4	4.34	1.0	46.50	0	0.00
08-sep-2018	Verano	5832	150	2	45.76	10	26	1	10.66	3	6.32	24	7.49	1	1.3	0	0	4	3.64	1.2	46.80	0	0.00
08-oct-2018	Verano	6552	201	2	52.8	10	30	1	12.3	3	7.29	24	8.64	1	1.5	0	0	4	4.20	1.8	81.00	0	0.00
08-nov-2018	Otoño	7296	232	3	81.84	8	24.8	1	12.71	3	7.53	24	8.93	1	1.55	0	0	4	4.34	1.8	83.70	12	16.07
08-dic-2018	Otoño	8016	236	3	79.2	8	24	1	12.3	3	7.29	24	8.64	1	1.5	0	0	5	5.25	2.0	90.00	12	15.55
08-ene-2019	Invierno	8760	300	3	81.84	8	24.8	1	12.71	3	7.53	24	8.93	1	1.55	5	38.5	5	5.43	2.4	111.60	12	16.07
Total			2937	-	877.36	-	323.8	-	149.7	-	88.7	-	105.1	-	18.25	-	38.5	-	56.35	-	1121.3	-	106.79
Sumatoria de consumos				aproximadamente 2937 kWh																			

²⁶ Incluye también un horno, pero su uso no es considerable, por ello no se toma en cuenta.

²⁷ Uso de 2 a 3 veces por semana, pero su consumo depende del modo que se elija para lavar, es decir, ocupará más o menos potencia. Se ha puesto 1 hora diaria de promedio.

²⁸ Estuvo activo desde las 19:00 a 0:00 del 28-dic-2018 al 07-ene-2019 para las zonas Salón-Cocina y Cambra, pero se considera y traslada las fechas como si fueran del 2018.

²⁹ Las 7 bobillas se consideran encendidas todas a la vez en el edificio, debido a que no repercute mayormente su consumo final.

³⁰ Activo en la época de invierno desde noviembre hasta abril.

4.4.3 Vinculación al modelo

La conexión de los horarios regulares durante el año creados para los equipos y la ganancia asociada a cada zona se puede ver detalladamente en el Anexo 1.3.5, mientras que para la programación de horarios para equipos e iluminación que varían según la temporada se expondrán aquí.

4.4.3.1 Horas de funcionamiento

La programación de funcionamiento de equipos se ingresa en los dos entornos de TRNSYS del siguiente modo:

1. En Simulation Studio, los horarios que varían según la temporada
2. En TRNBuild, los horarios que son constantes durante todo el año

Todos los horarios de los equipos que varían según la temporada del año se vinculan a una *Equation* y todo esto a su vez está en el interior de una *Macro*, ver Figura 47. La calculadora contiene en su interior ecuaciones (ver Anexo 1.2.4.1) que gobiernan en que horas del año debe estar funcionando dicha programación horaria.

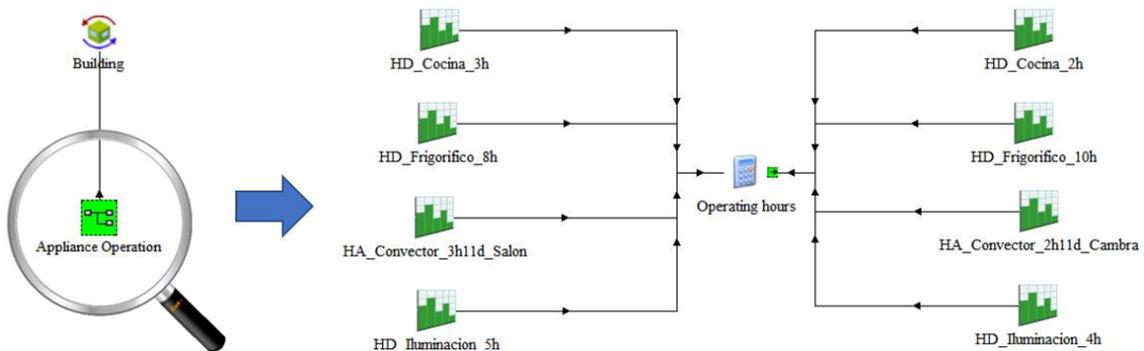


Figura 47. Vinculación al modelo de horarios variables para equipos e iluminación

Los primeros fueron vinculados a Simulation Studio, aunque posteriormente se vinculan a TRNBuild a través del Type56 nombrado como *Building*. Los horarios para estos fueron:

- Concina: funciona 3 horas en invierno (0 a 4200 h y 6553 a 8760 h) y 2 horas en verano (4201 a 6552 h) para minimizar las ganancias internas y no incrementar la temperatura interior del edificio.



Figura 48. Horario diario variable de la cocina de inducción

- **Frigorífico:** funciona 8 horas en invierno (0 a 2736 h y 6553 a 8760 h) y 10 horas en verano (2737 a 6552 h), esto debido a que el compresor del sistema de refrigeración se activa un aproximado de 10 y 12.5 minutos respectivamente, cada media hora. Es así que en un día el consumo será durante 480 y 600 minutos correspondiente a cada temporada.

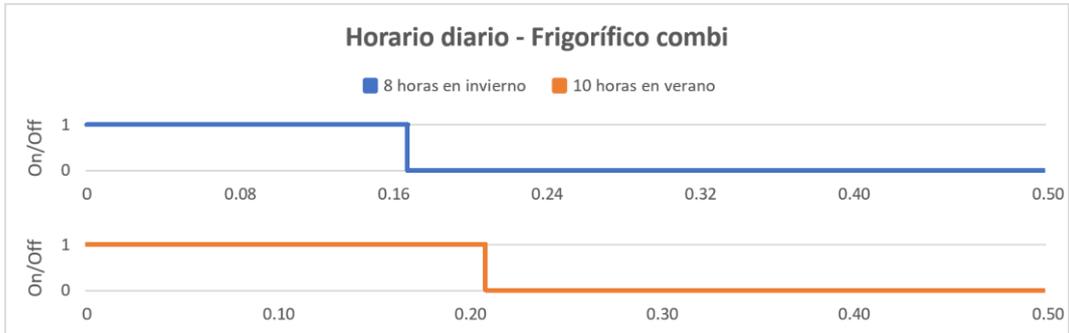


Figura 49. Horario diario variable del frigorífico combi

- **Convector:** funciona 5 horas durante 11 días (4 últimos y 7 primeros días del año) en el horario establecido en la Figura 50, donde 3 horas funciona en la zona Salón-Cocina y las otras 2 horas en la zona Cambra, dado que en esta última es cuando los ocupantes se iban a descansar.

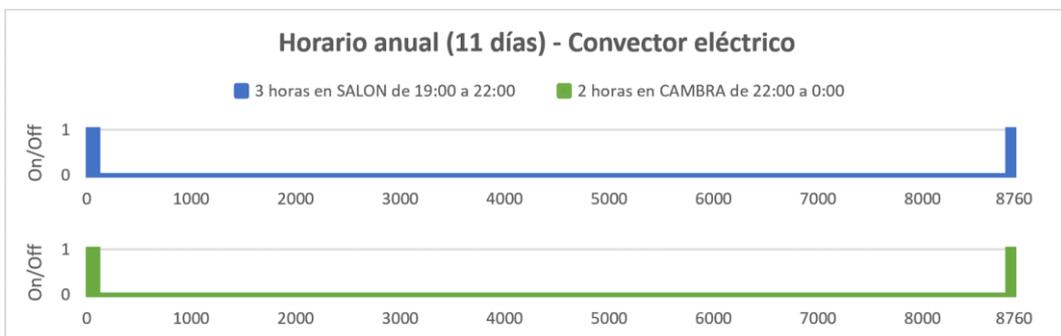


Figura 50. Horario anual variable del convector eléctrico

- **Iluminación:** funciona 5 horas en invierno (0 a 2136 h y 7297 a 8760 h) y 4 horas en verano (2137 a 7296 h) a causa de que los días son más largos y por tanto existe mayor luz solar, mientras tanto en invierno lo contrario.



Figura 51. Horario diario variable de la iluminación

En cuanto a los segundos que fueron directamente vinculados a TRNBuild se lo hizo sin ninguna condición ya que todo el año funcionan regularmente como se observa en la Figura 52.

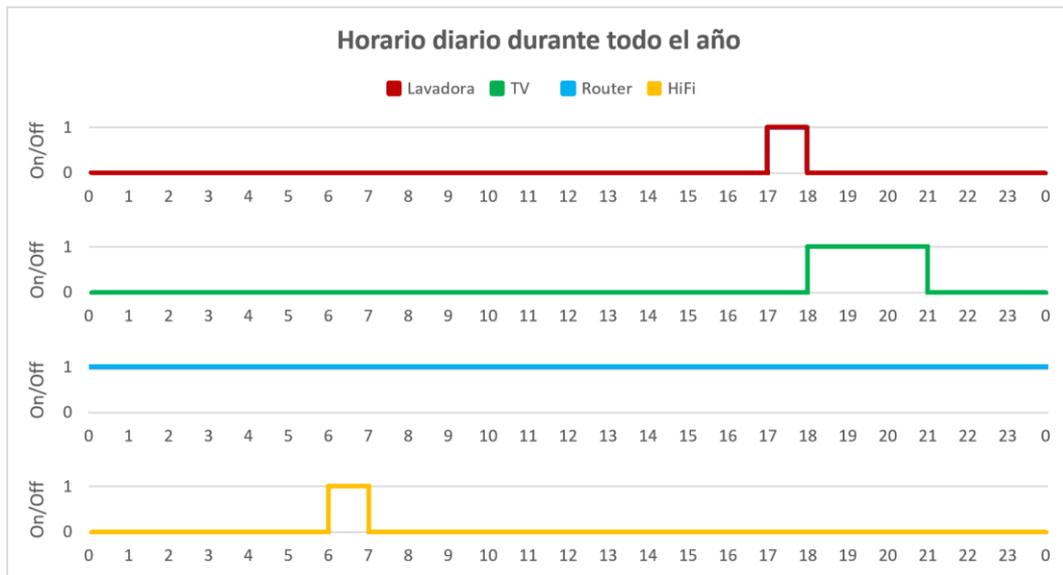


Figura 52. Horario diario durante todo el año para equipos

4.4.3.2 Ganancias internas asociadas a la zona

La ganancia es calculada por TRNSYS utilizando las tasas de calor de las personas, la potencia de equipos e iluminación y la programación horaria en la todos los anteriores están presentes o activos al interior del edificio. En el Anexo 1.3.5.1, se detalla un ejemplo de cómo se asocia estos valores a cada zona correspondiente. Los elementos que producen ganancias internas se distribuyen en cada zona como se muestra en la Tabla 22.

Tabla 22. Distribución de los elementos que producen ganancias internas

	SALON-COCINA	ASEO	ENTRADA	CAMBRA
<i>Personas</i>				
Número	3	1	2	3
Horario (ver figura)	Figura 42	Figura 42	Figura 42	Figura 42
<i>Equipos e Iluminación</i>				
Cocina de inducción	Figura 48	-	-	-
Frigorífico combi	Figura 49	-	-	-
Lavadora	Figura 52	-	-	-
TV	Figura 52	-	-	-
Router-Internet	-	-	Figura 52	-
HiFi	-	-	Figura 52	-
Convector eléctrico	Figura 50	-	-	Figura 50
Iluminación LED ³¹	0.29 × Figura 51	0.14 × Figura 51	0.29 × Figura 51	0.29 × Figura 51

³¹ El número de bombillas se indican en la sección 4.4.1.2, y estas deben ingresarse como una fracción de la unidad, dado que su consumo se ha contabilizado para toda la potencia conjuntamente.

CAPÍTULO 5. AJUSTE DEL MODELO

En este capítulo se realizará el ajuste del modelo implementando todos los parámetros y condiciones descritas en los capítulos anteriores, siguiendo una estrategia que implica un orden definido, las cuales se llevarán a cabo para lograr ajustar las temperaturas obtenidas por la simulación y las temperaturas tomadas por los sensores al interior de la vivienda.

Estrategia

Para realizar el ajuste se parte de una hipótesis de estudio, basándose en el análisis hecho en el CAPÍTULO 2, y se considera que el archivo climatológico que va a ser más próximo a la climatología del entorno de la alquería es el que está formado por los datos de la estación meteorológica de la UPV, por consiguiente se empezará utilizando este archivo para realizar el ajuste pertinente como muestran los pasos a seguir de la Figura 53. Cabe recalcar que, el uso de esta hipótesis es solo una recomendación a seguir, y lo que verdaderamente se ha hecho es ir ajustando los resultados con cada archivo climatológico, que por la extensión de la información se presentará solamente el trabajo del archivo climatológico de la UPV implementando paso a paso los ajustes pertinentes, puesto que hacerlo con los otros archivos es repetitivo, pero se realizará una comparación entre ellos con los resultados finales.

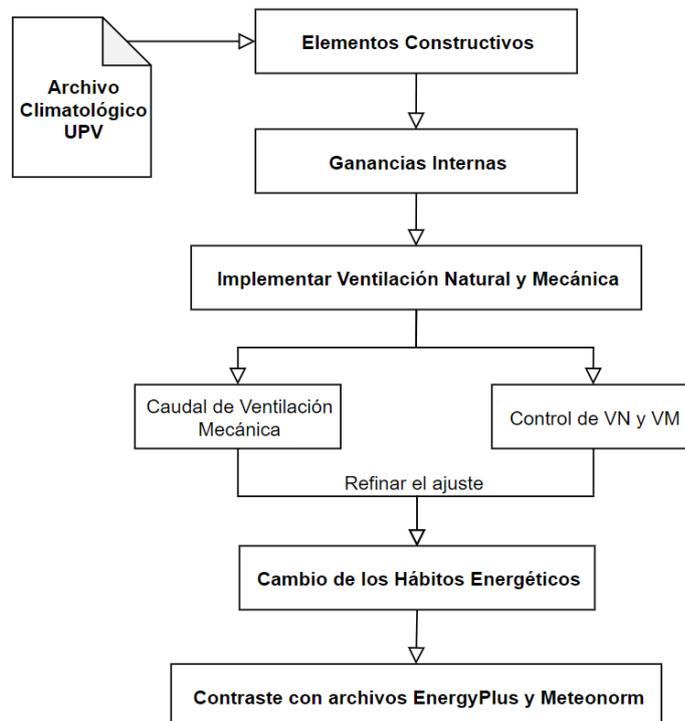


Figura 53. Pasos a seguir para el ajuste del modelo

5.1 ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

Se parte del proyecto básico creado en TRNSYS (ver Figura 54), con en el cual siguiendo la estrategia primeramente se va a incorporar las características de los elementos constructivos de la envolvente del edificio, para ello se puede revisar el Anexo 1.3, donde se detalla cómo se ha incorporado los cerramientos con el material correspondiente en TRNBuild, teniendo en cuenta las consideraciones del CAPÍTULO 3.

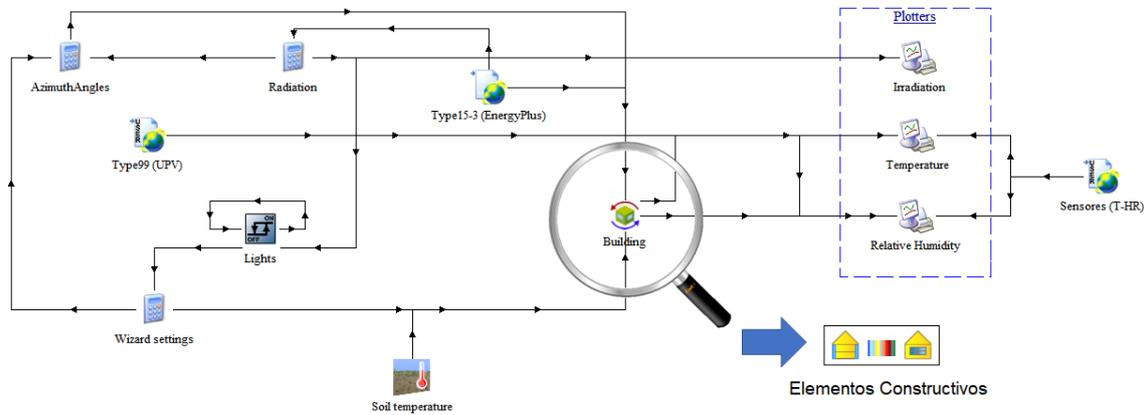


Figura 54. Modelo para ajuste de elementos constructivos con TRNSYS

Para esto, previamente se realiza una prueba donde se modifica el cerramiento de las paredes exteriores, eliminando el aislamiento de la envolvente, es decir, se prescinde del SATE. Puesto que una de las principales fortalezas térmicas de la vivienda es el aislamiento, se ha comprobado en el programa que la baja transmitancia térmica se la debe en gran de parte al poliestireno expandido que cubre todos los muros exteriores, reduciendo así el U-value en más del 87% solo por incorporar este material, tal como lo indica la Tabla 23.

Tabla 23. Variación del U-value del muro exterior en función del aislamiento

Id.	Cerramiento/Material	Espesor (m)	Transmitancia térmica U (W/m ² ·K)
Muro exterior SIN aislamiento		0.280	1.843
7	Enlucido de yeso aislante	0.020	
8	Ladrillo macizo (montado a soga)	0.260	
Muro exterior CON aislamiento		0.405	0.232
7	Enlucido de yeso aislante	0.020	
8	Ladrillo macizo (montado a soga)	0.260	
9	Poliestireno expandido EPS (SATE)	0.120	
10	Mortero de recubrimiento (SATE)	0.005	

5.1.1 Sin aislamiento

Se tiene que eliminando el aislamiento el espesor del muro quedaría en 0.28 m y el U-value en 1.843 W/m²·K, con lo que el resultado simulado de la temperatura interior del edificio se ve directamente influenciado (ver Figura 55), puesto que no existe un cerramiento lo

suficientemente capaz de mantener el calor almacenado en las épocas frías debido a que existe una alta transmitancia térmica. Y en épocas con elevada temperatura exterior es igualmente contraproducente, dado que tampoco el calor sigue transfiriéndose por conducción y convección del exterior al interior. En forma general se observa que la temperatura interior simulada sigue la misma tendencia que la temperatura exterior pero con una variación menos drástica, dado que se está considerando solamente que se ha prescindido del aislamiento pero no de los otros materiales y cerramientos, es decir, las características constructivas de los techos exteriores y suelo exterior de la terraza siguen siendo igual de buenas, es por esto que en todo instante aún se mantiene temperaturas superior a la media de la temperatura exterior.

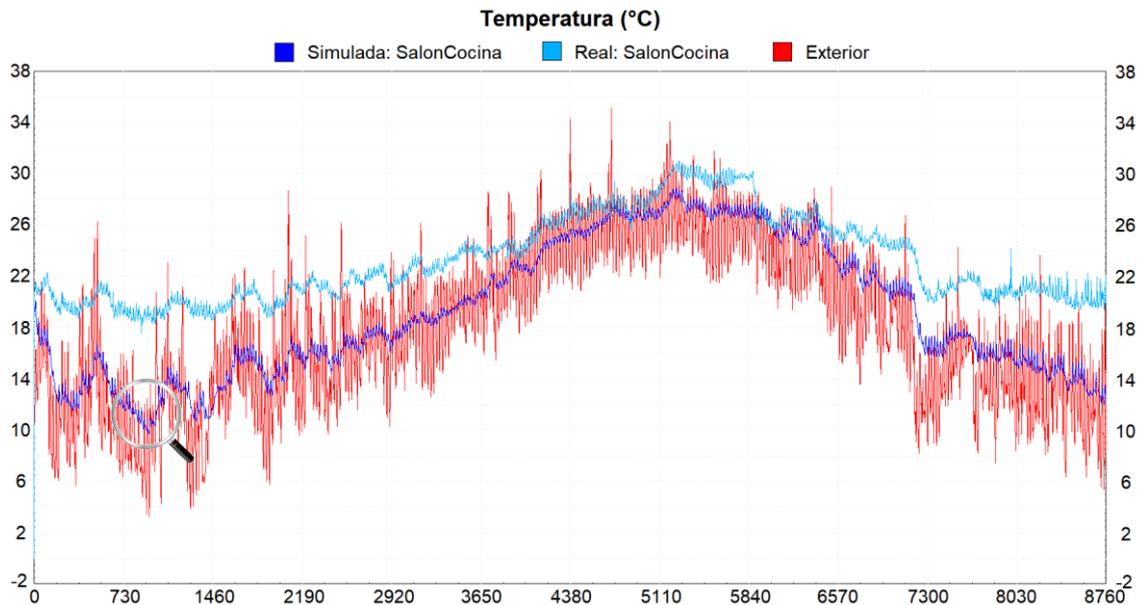


Figura 55. Ajuste de elementos constructivos sin aislamiento en muros exteriores

Un detalle de la diferencia de temperaturas que existen se tiene que en invierno del 6 al 8 de febrero (Figura 56) teniendo en cuenta que el 6 de febrero es el día más frío de ese año, al no haber el aislamiento en el muro exterior la temperatura del interior puede llegar a mantenerse estable a alrededor de los 10 °C, debido a que como se dijo la transmitancia térmica es alta.

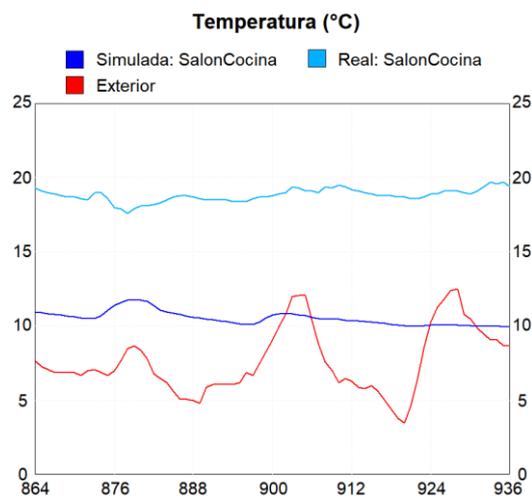


Figura 56. Detalle del ajuste de elementos constructivos del 6 al 8 de febrero

En cuanto a la humedad relativa, está claro que, al no existir ninguna forma de ventilación natural ni mecánica, el aire interior se va a llegar a saturar y con más razón aún en épocas de verano donde la humedad absoluta se incrementa en mayor grado con relación al invierno, y es por esto que el aire interior al no poder contener más humedad, este se satura produciendo una humedad relativa del 100% en casi toda la temporada estival, como se observa en la Figura 57.

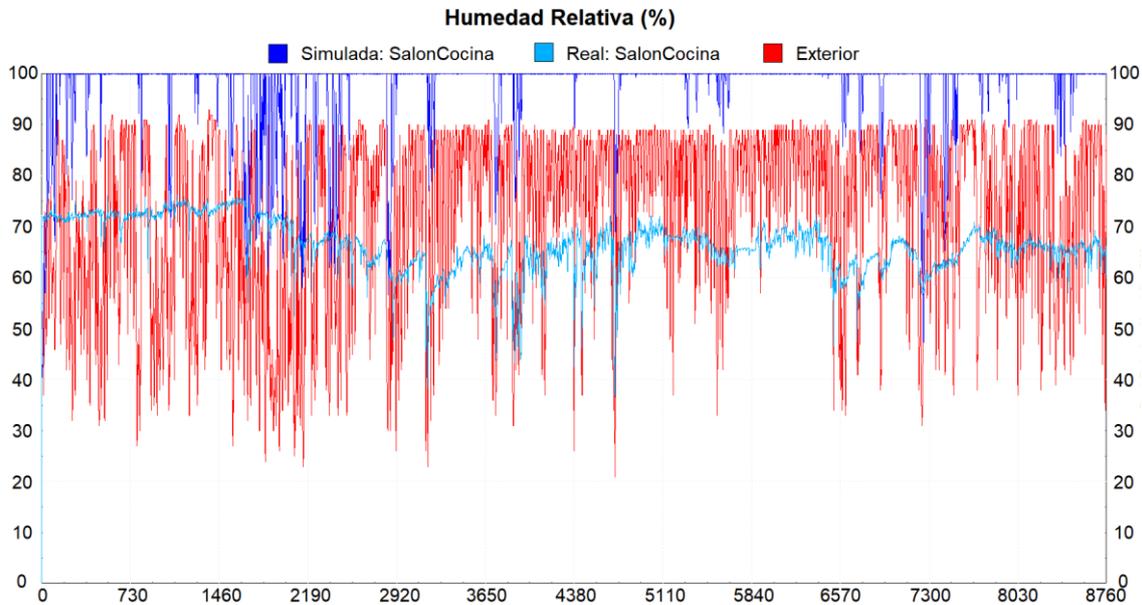


Figura 57. HR en ajuste de elementos constructivos sin aislamiento de muro exterior

5.1.2 Con aislamiento

La segunda y real prueba es tal y como está edificada actualmente la vivienda, es decir, implementando el aislamiento en el cerramiento del muro exterior, con lo que la transmitancia térmica mejora significativamente a un valor de $0.232 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, ajustando más cercanamente la curva simulada a la real.

En la Figura 58, se puede visualizar que el aislante exterior en toda la envolvente del edificio mejora significativamente la temperatura interior en invierno, consiguiendo almacenar más calor que cuando no existía el mismo. Es por ello que a inicios de agosto el interior de la vivienda conserva el remanente calor producido por la radiación solar de verano, manteniendo temperaturas que alcanzan los $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ya que no hay ningún sistema de climatización que disipe este calor.

Una comparativa de la planta baja con la planta primera se puede visualizar en la Figura 59, donde se puede notar que a pesar de que existiera el aislamiento suficiente, este no es favorable cuando no existe una ventilación adecuada para refrigerar en épocas de verano, por lo que la zona de la Cambra permanece en esta época con una temperatura superior a la zona SalonCocina, debido a que la radiación que recibe la Cambra sobre el techo y las paredes es a casi toda hora del día, en cambio el SalonCocina recibe la misma alta radiación pasado el mediodía, ya que en la mañana a determinadas horas, esta zona se encuentra protegida por la sombra que produce la misma Cambra. Además, por la tarde, se tiene protección solar en la planta baja, puesto que existe un muro exterior que no pertenece a la envolvente del edificio,

pero brinda sombreado continuo, lo cual hace que se reduzca aún más la temperatura interior en esta zona. Se puede visualizar la trayectoria del sol y la proyección de sombra que produce la alquería en cada hora en el Anexo 1.5. Otro de los factores que mantienen la temperatura de la Cambra un poco más elevada que la planta baja, es que al estar conectadas directamente estas dos zonas por las escalares y no existir ningún impedimento de circulación de aire, parte de éste fluye hacia arriba por tener menor densidad que el aire que se encuentra un poco menos caliente, haciendo que el aire más caliente permanezca en la parte superior de la Cambra. En invierno también se puede notar esta particularidad, pero con menos diferencia de temperaturas puesto que las horas de radiación solar recibidas son pocas y con menor intensidad debido a la inclinación de la tierra para esta temporada.

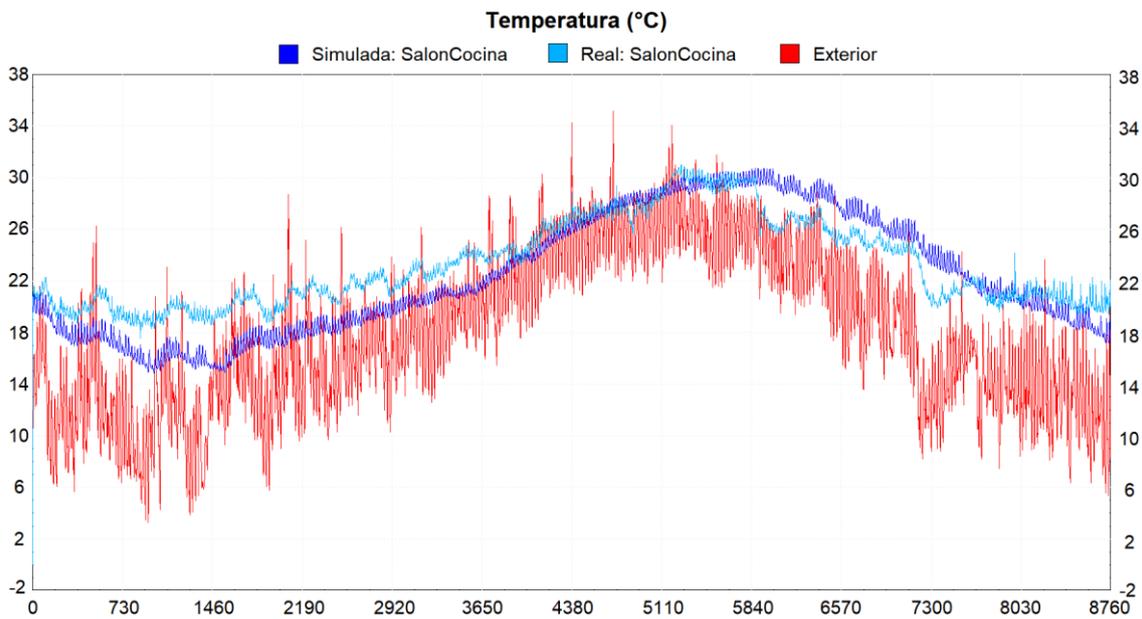


Figura 58. Ajuste de elementos constructivos con aislamiento en muros exteriores

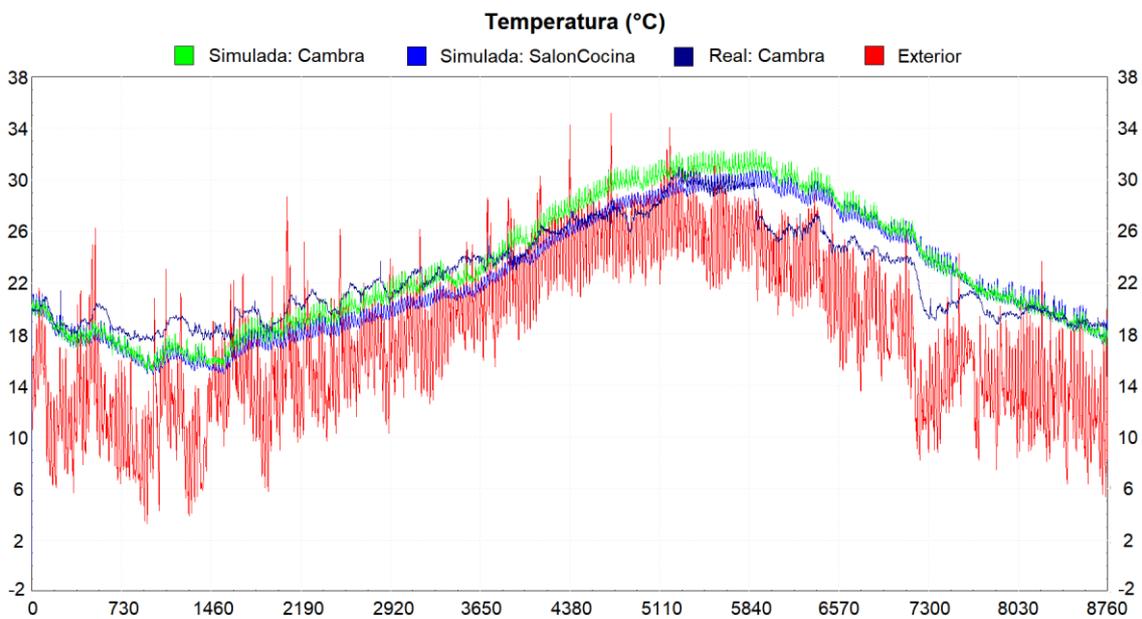


Figura 59. Comparación de temperaturas de las dos plantas de la vivienda

Comparando la humedad relativa de la vivienda respecto a cuando no se tenía el aislamiento, se puede ver en la Figura 60 que el aire interior sigue saturándose al no tener un sistema de ventilación, pero no con la magnitud que lo hacía antes debido a que, el aislamiento térmico no solamente es un material que reduce la transferencia de calor del exterior al interior del edificio sino que también en cierto grado crea una barrera hidrófuga que impide el paso de vapor de agua, claro que esa no es la función en realidad, por eso solo se ve una pequeña mejora de la humedad relativa, pero sigue aun manteniendo condiciones no deseadas en la mayor parte del año.

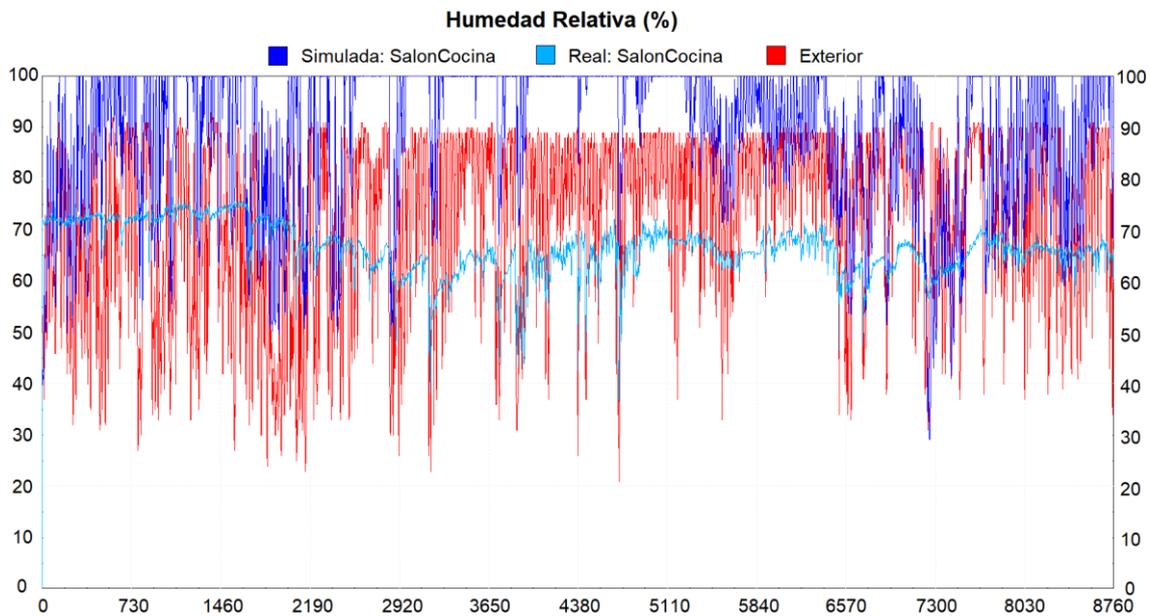


Figura 60. HR en ajuste de elementos constructivos con aislamiento de muro exterior

5.2 GANANCIAS INTERNAS

Luego de haber ajustado el modelo con los elementos constructivos de la envolvente, se realiza un ajuste con las ganancias producidas por las personas, equipos e iluminación al interior de la vivienda. Para ello se ha añadido al modelo energético de TRNSYS, las ganancias internas de dos formas, en el *Building* las producidas por personas y equipos que funcionan regularmente en todo el año con un horario fijo y a parte en el área de trabajo de *Simulation Studio* se han creado horarios que están vinculados al *Building* para equipos e iluminación, los cuales funcionan con un horario diferente según la temporada del año, ver Figura 61. El estudio para ambas condiciones de funcionamiento se puede seguir en el Anexo 1.3.5 de TRNBuild y en el CAPÍTULO 4, respectivamente.

Además, en el modelo se ha añadido un *Plotter* que imprime los resultados obtenidos de las ganancias que se producen al interior del edificio para cada zona, especificando que parte de estas se producen por convección y que parte por radiación, debido a lo cual se muestra más adelante como los valores producidos por las ganancias internas cambian durante un día típico ya que tanto la ocupación de las personas, como las horas de funcionamiento y potencia que tengan los equipos influye significativamente en una ganancia de calor que puede ser favorable o desfavorable dependiendo de las condiciones ambientales exteriores.

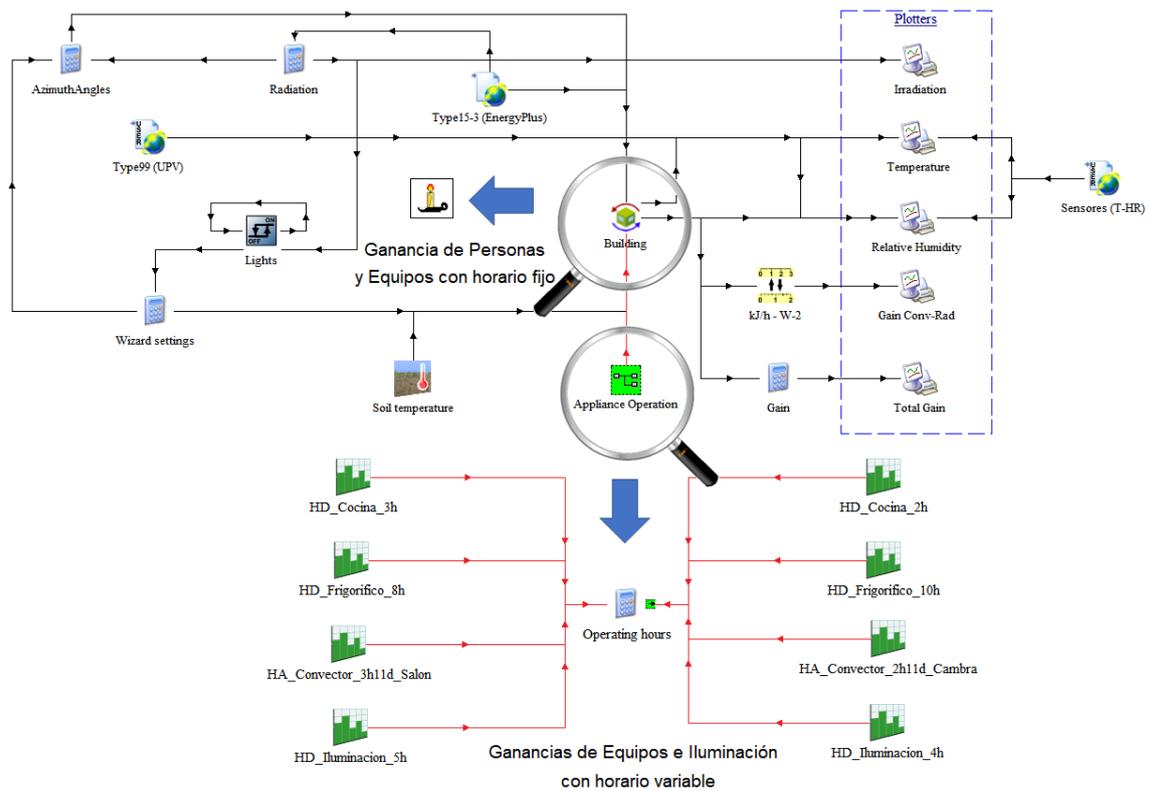


Figura 61. Modelo para ajuste de ganancias internas con TRNSYS

Implementado todas las ganancias de personas, equipos e iluminación se pueden observar claramente que en la época de verano resulta perjudicial para el confort humano, dado que no existe un control de ventilación natural, es por ello que se llega tener temperaturas por encima de los 30 °C e inclusive hasta alcanzar los 35 °C, ver Figura 62. Sin embargo, en la época invernal y parte de la primavera la temperatura interior no es tan desfavorable, puesto que sumado el superaislamiento en toda la envolvente, más las ganancias solares a través de las ventanas y cerramientos que a su vez producen ganancias de conducción y posteriormente convección de calor al aire interior, más las ganancias internas, se tienen temperaturas interiores relativamente buenas, pero aún sin una imperativa ventilación que permita mantener las condiciones de salubridad interior. Es por ello que, en algunos momentos de invierno se tiene inclusive mayores temperaturas simuladas que las reales, como al inicio del año, ya que no existe todavía una pérdida de las ganancias debido a infiltraciones o a la ventilación mecánica.

Pero también existe momentos donde las temperaturas simuladas aparentemente se adecuan casi a la perfección a las temperaturas reales del edificio como se puede ver en detalle en la Figura 63, que es una muestra de seis días del 16 al 21 de febrero (1104-1248 horas), en donde se puede observar que en días típicos de invierno la temperatura simulada en el día es muy parecida a la real, pero por las noches cae más abajo de esta, porque no existe un control de recuperación de calor adecuado, y lo que mantiene a la temperatura aún en esos niveles es las ganancias internas y el aislamiento de la vivienda. Es por ello que un incremento repentino de la temperatura en el día 21, no hace que varíe de modo relevante la temperatura interior, logrando mantener así una inercia térmica a ser calentada a los mismos 21 °C del aire exterior, pero si almacenando ese calor para las horas de la noche.

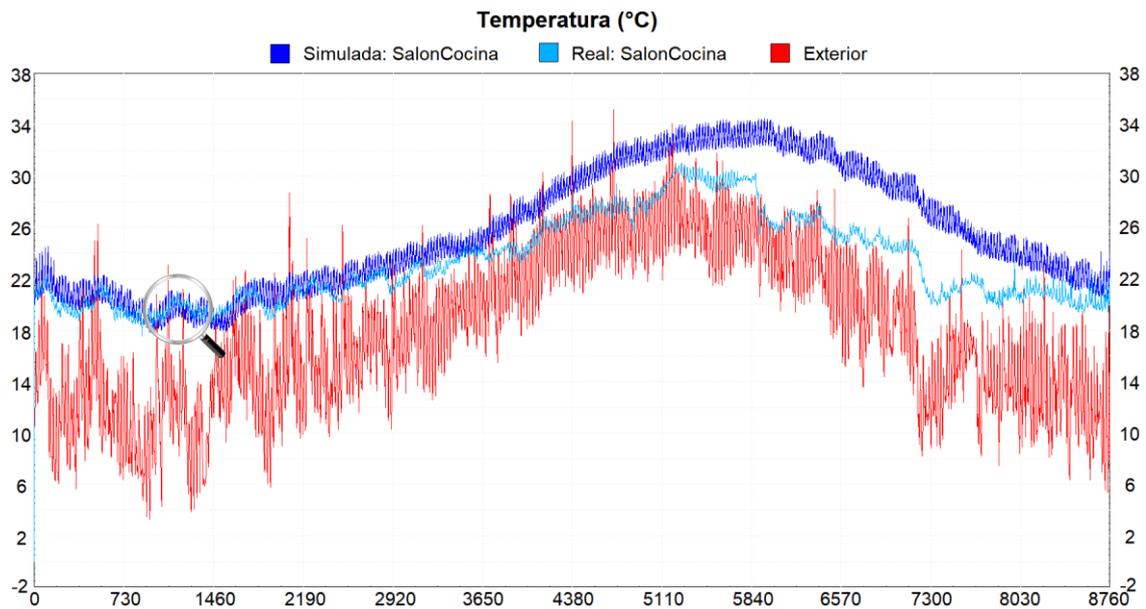


Figura 62. Ajuste de ganancias internas

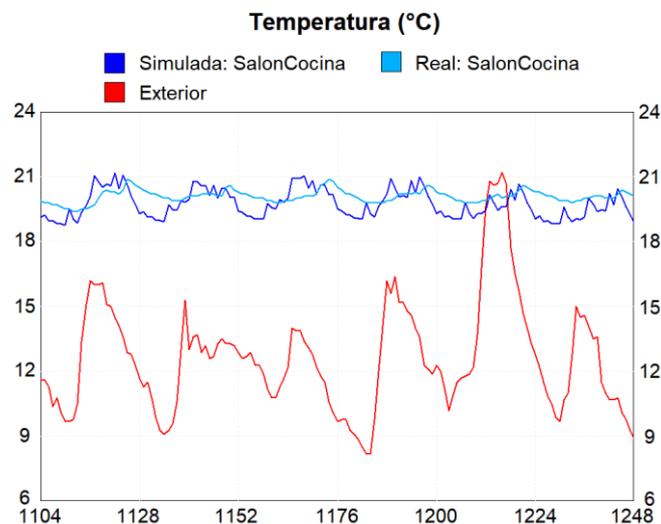


Figura 63. Detalle del ajuste de ganancias internas de 16 al 21 de febrero

Al comparar la temperatura interior con la planta primera, se puede ver en la Figura 64 que en la que en la Cambra al no existir mayormente ganancias internas excepto las producidas por la ocupación de las personas, ya que las producidas por los equipos están la planta baja, se tiene que en invierno las temperaturas son menores que las del SalonCocina. Algo similar ocurre con la temperatura de la zona Aseo y zona Entrada, puesto que son un solo ambiente con la zona SalonCocina y las temperaturas interiores son muy cercanas a esta última, por ello se ha decidido no mostrar en la gráfica. Se debe notar en la gráfica que la temperatura simulada en invierno de la Cambra es un poco superior a la temperatura real, esto es debido a que aún no se está considerando las pérdidas térmicas que producen la ventilación del espacio, pero en cambio esto se verá repercutido en la saturación de humedad al interior.

Las zonas además tienen prácticamente las mismas temperaturas en primavera, y en verano se tiene ligeramente mayor temperatura en la planta primera que la planta baja, pero con un

incremento exagerado de la temperatura en todo el verano y resto del año en comparación con las temperaturas cuando solamente existía los elementos constructivos, eso quiere decir, que el modelo está funcionando bien hasta el momento, puesto que no existe una ventilación en esta temporada del año que disipe el calor interno de las zonas del edificio.

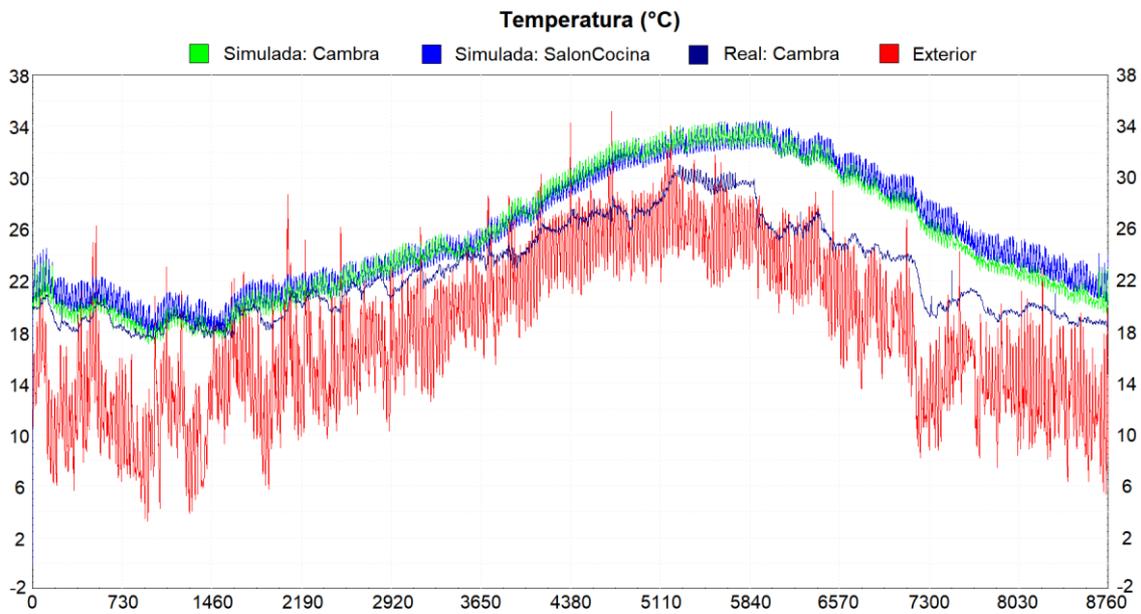


Figura 64. Comparación de temperaturas entre plantas, incluido ganancias internas

Y como se esperaba al no existir la ventilación necesaria que disipe el calor y que no concentre humedad en la vivienda, los índices de humedad relativa seguirán siendo altos, como lo indica la Figura 65, llegando a saturarse el aire interior la mayor parte del tiempo, con una diferenciación del ajuste anterior en que desde la época de verano hasta finales de otoño, constantemente se gana y pierde humedad relativa, esto es porque mientras más temperatura tiene el aire, puede contener más vapor de agua en su interior logrando bajar así su humedad relativa pero luego volviéndola a saturar por ausencia de ventilación.

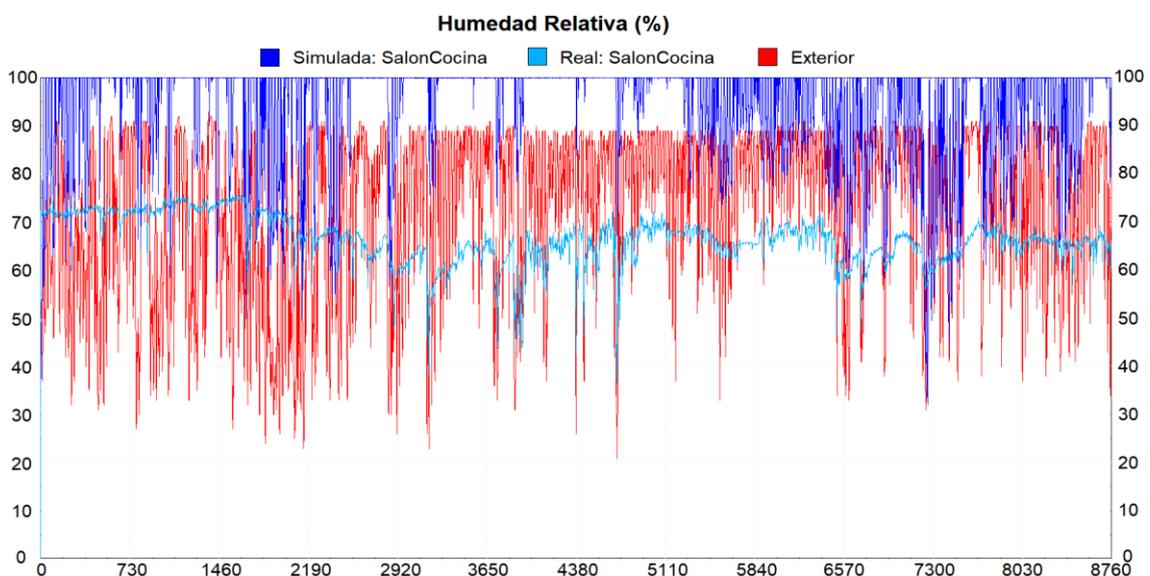


Figura 65. HR en ajuste de ganancias internas

5.2.1 Convectivas y Radiantes

Como parte de la incorporación de las ganancias internas añadidas para continuar ajustando el modelo energético, se puede cuantificar cuantas de estas ganancias son por convección directa del calor producido por personas, equipos e iluminación, y cuantas de estas se transfieren de forma radiante hacia paredes, techos y resto de la envolvente en forma de onda larga en un inicio, para luego acabar volviéndose convectivas con un retardo de tiempo, tal y como se explicó en el CAPÍTULO 4.

Para ello, se ha escogido tres días al inicio del año entre el 1 al 3 de enero para explicar cómo cambian estas ganancias según la hora de funcionamiento de los equipos e iluminación, y ocupación de las personas. Como se puede observar en la Figura 66, las ganancias radiantes de la zona SalonCocina son mayores que las convectivas a las horas de la comida por la mañana y pasado el mediodía, puesto que en esos momentos se hace uso de la cocina de inducción, en consecuencia al transferir ésta más calor radiante que convectivo se tiene un valor mayor de la ganancia radiante en esta zona, pero sin embargo al finalizar el día, se puede ver que por la noche éstas revierten sus valores a partir de las 19:00, porque es en estos días cuando se hace uso del convector eléctrico para mantener la temperatura a un nivel confortable, y como especifica su nombre, la mayor transferencia de calor que hace este equipo al ambiente es en un 80% por convección, logrando superar al calor producido por radiación que en esos instantes también tiene un valor alto de 900 W aproximadamente, ya que se está haciendo uso de la cocina de inducción para la cena, más el calor generado por las personas, y otros equipos con menores tasas de ganancia radiante.

También se debe notar que, las ganancias convectivas en la zona Cambra también son superiores a las radiantes a partir de las 22:00, puesto que en ese momento los personas ocupan este espacio para descansar llevando consigo la ganancia del convector eléctrico a esta zona, puesto que en la planta baja permanece sin actividad y sin funcionamiento de equipos, con excepción del frigorífico y uno que otro equipo que produce menor transferencia de calor, consiguiendo así producir mayores ganancias convectivas y radiantes durante la madrugada en planta primera por la permanencia de las personas en esta.

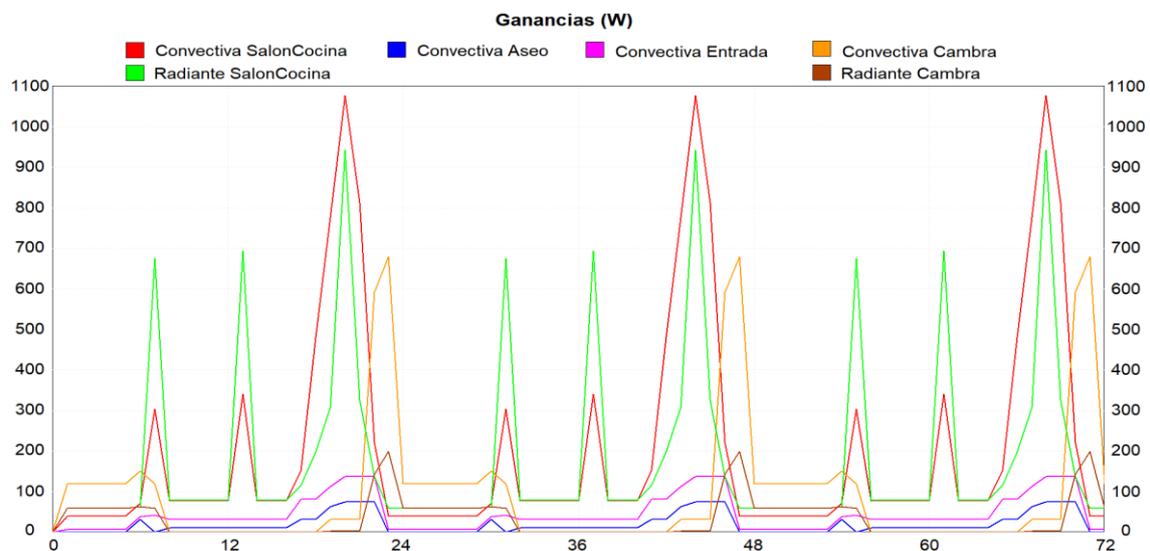


Figura 66. Cuantificación de las ganancias internas producidas en cada zona

En términos colectivos, se puede apreciar en la Figura 67, que en estos tres primeros días del año sumando las ganancias de todas las zonas se tiene que las ganancias por convección durante el día son menores que por la noche, que es cuando empieza a funcionar el convector eléctrico, tres horas en la planta baja y luego consecutivamente dos horas en la planta primera, y es donde estas superan a las ganancias radiantes porque se está calentando el ambiente transfiriendo calor al aire por convección en un 80% aproximadamente.

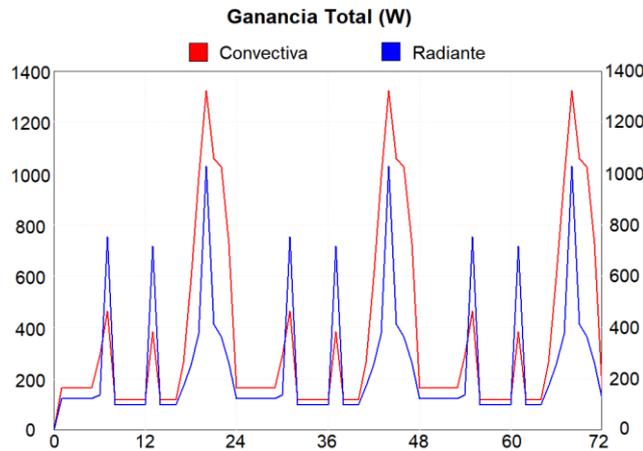


Figura 67. Cuantificación de las ganancias por convección y radiación totales

5.3 IMPLEMENTAR VENTILACIÓN NATURAL Y MECÁNICA

Una vez ajustado el modelo con los elementos constructivos y las ganancias producidas al interior del edificio, se realiza un ajuste implementando la ventilación natural y mecánica que mantendrá al edificio en su interior en condiciones de confort y salubridad adecuadas, pero antes de ello se realizará un breve estudio de como se ha calculado el caudal de ventilación mecánica regulado por el recuperador de calor, y además como se realiza parte del control tanto de la ventilación natural como mecánica desde una calculadora en TRNSYS renombrada Heat Recovery Ventilator, que emplea ecuaciones para la activación de una u otra ventilación.

5.3.1 Caudal de Ventilación Mecánica

El caudal se lo calcula basándose en el caudal de ventilación mínimo que viene determinado por reglamentación, en donde se debe cumplir el CTE DB-HS3, en su apartado “Calidad del aire interior” [13], para el caso de la vivienda es para un edificio tipo residencial.

Cabe recalcar que la nueva normativa del CTE-2019 DB-HS3 es un poco más flexible en el caudal de ventilación que debe tener cada espacio de una vivienda, puesto que solo establece valores mínimos en base al tipo de local (seco o húmedo), mientras que en su versión anterior lo hace además de establecer en base al tipo de local, también exige un mínimo en base al número de ocupantes por local. Entonces, tomando en consideración el importante aislamiento que posee el edificio y la condición de ser una vivienda reformada, son factores que hacen que al interior se concentre mayor grado de humedad, por lo tanto, se optará por una ventilación lo suficientemente exigente para asegurar una mayor calidad de aire al interior para reducir la humedad y a la concentración de partículas de CO₂, trabajando así con la normativa anterior.

Por normativa se conoce que el aire debe circular de los locales secos a los húmedos, por lo que el edificio cuenta con tres aberturas de suministro de aire repartidas en la zona Entrada y en Cambra, mientras que las zonas SalonCocina y Aseo al ser locales húmedos cuentan con una abertura de extracción de aire en cada una, tal como se lo representa en la Figura 68. Se debe tener en cuenta que, para el cálculo de flujo de aire que realiza TRNFlow, las rejillas de extracción y suministro de aire se encuentran a 2.1 m del nivel de suelo, asimismo las cuatro aberturas de la planta baja se encuentran aproximadamente a nivel del techo (2.1 m del nivel del suelo), y la abertura de la planta primera está a nivel del suelo esta planta (2.6 m del nivel de suelo de la planta baja).

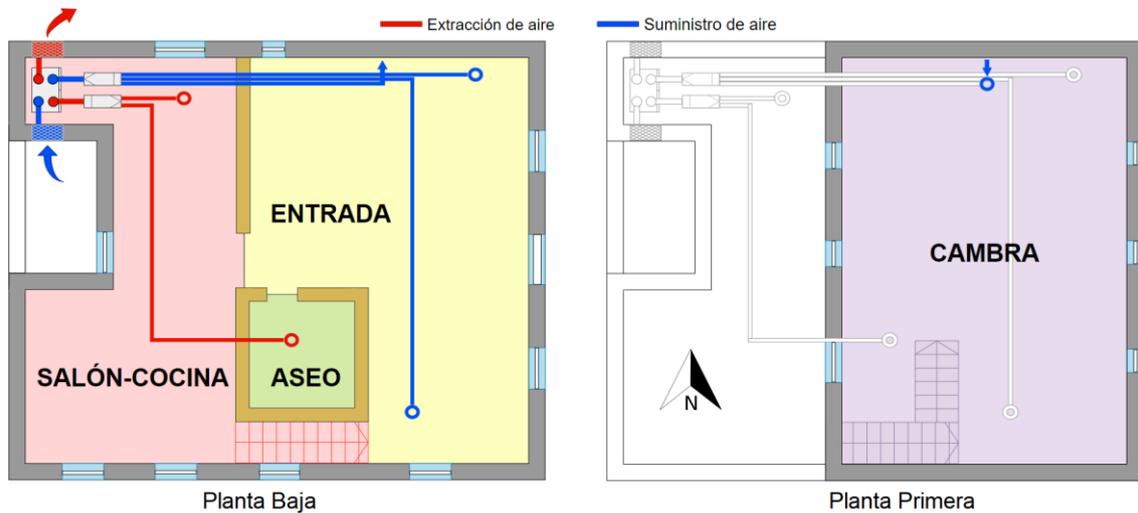


Figura 68. Flujos de aire para la ventilación mecánica

A continuación, se cuantifica el caudal que exige la normativa por local y por ocupante, considerando a cada zona térmica como un tipo de local, en donde para el caso del SalonCocina al existir la combinación de un local seco y otro húmedo, se debe cuantificar por separado el caudal correspondiente, tal como se indica en la Tabla 24. Consiguiendo al final obtener un caudal total individual, tanto para la suma de los flujos de extracción como suministro.

Tabla 24. Cálculo de la ventilación mínima exigida por el CTE DB-HS3

Ventilación mínima exigida por el CTE DB-HS3							
Local (Zona térmica)	Flujo de aire	Caudal _{mín} (L/s)	Ocupantes	Caudal (L/s)	Caudal total		
					(L/s)	(m ³ /h)	(ren/h)
Cocina (SalonCocina)	EXTRACCIÓN	2	por m ² útil	19.92	34.92	125.71	0.470
Cuarto de baño (Aseo)		15	por local	15			
Comedor (SalonCocina)	SUMINISTRO	3	3	9	33	118.8	0.445
Sala de estar (Entrada)		3	3	9			
Dormitorio (Cambra)		5	3	15			

Analizando los caudales totales se puede notar que los flujos no son equivalentes, por lo que se debe equilibrar los flujos de aire igualando al mayor de ellos, de tal forma que en teoría se tenga un balance de flujos, en donde el mismo caudal que entra debe ser el mismo caudal que salga al exterior, como muestra la Tabla 25.

Tabla 25. Equilibrio de flujos de extracción y suministro de aire

Equilibrio de flujos de aire					
Local (Zona térmica)	Flujo de aire	Caudal (L/s)	Caudal total		
			(L/s)	(m ³ /h)	(ren/h)
Cocina (SalonCocina)	EXTRACCIÓN	20	35	126	0.471
Cuarto de baño (Aseo)		15			
Comedor (SalonCocina)	SUMINISTRO	10	35	126	0.471
Sala de estar (Entrada)		10			
Dormitorio (Cambra)		15			

Realizado el equilibrio de flujos, se debe tener en cuenta que el CTE exige que se cumpla un caudal mínimo equivalente a 0.3 ren/h estableciendo a 2 personas/local. Fijándose en el resultado para esta vivienda se supera ese mínimo exigido, por lo que el caudal equivalente se calculó en base al volumen ocupado, resultando aproximadamente 0.5 ren/h, ver Ecuación [17].

$$Caudal_{min,CTE} = \frac{126 \frac{m^3}{h}}{267.27 m^3} = 0.471 h^{-1} \quad [17]$$

Mientras que el estándar Passivhaus establece una ventilación mínima de 30 m³/h-persona, como se indica en la Tabla 5, resultando un caudal equivalente de aproximadamente 0.34 ren/h, ver Ecuación [18].

$$Caudal_{min,Passivhaus} = 30 \frac{m^3}{h} \cdot 3 \text{ personas} = 90 \frac{m^3}{h} \cdot \left| \frac{1 \text{ ren}}{267.27 m^3} \right| = 0.337 h^{-1} \quad [18]$$

Habiendo un conflicto respecto a los caudales de ventilación mínima entre las dos normativas se optará por la de mayor valor, pero además se considerará la explicación realizada al inicio de este apartado, donde para asegurar una mayor calidad de aire al interior de la vivienda para reducir la humedad y a la concentración de partículas de CO₂, se preferirá un valor de 0.6 ren/h, obteniendo así un caudal equivalente de 160 m³/h.

Determinado el caudal equivalente respecto a la renovación mínima que se estableció, se calculará cuanto flujo de aire que debe circular para cada zona a través del recuperador de calor, teniendo en cuenta el nuevo valor de 160 m³/h, para ello se hace un cálculo de acuerdo a la proporción del caudal para cada local según la Tabla 25, consiguiendo tener un caudal de flujo de aire para cada zona, como se muestra en la Ecuación [19], un ejemplo para la zona SalonCocina, y para el resto de las zonas se puede ver el caudal respectivo en la Tabla 26, donde igualmente se considera el equilibrio de flujos entre la extracción y suministro de aire.

$$Caudal_{Recuperador, SalonCocina} = \frac{108 \frac{m^3}{h} \cdot 162 \frac{m^3}{h}}{160 \frac{m^3}{h}} = 106.67 \frac{m^3}{h} \quad [19]$$

Tabla 26. Cálculo del caudal de ventilación mecánica para el Recuperador de Calor

Caudal de ventilación mecánica para el Recuperador de Calor				
Zona	Flujo de aire	Caudal _l (m ³ /h)	Σ (m ³ /h)	Caudal _l Recuperador (m ³ /h)
SalonCocina	EXTRACCIÓN	108	162	106.67
Aseo		54		53.33
Entrada	SUMINISTRO	36	90	64
Cambra		54		96
Total de cada flujo de aire				160

Adicionalmente, de acuerdo al catálogo del fabricante del recuperador de calor *Zehnder ComfoAir 180*, se establece una presión estática de acuerdo al caudal de ventilación, donde este último varía en función de la velocidad del ventilador, de manera que existen 4 niveles de control para ajustar la velocidad a la que gira el motor del ventilador, como se indica en la Tabla 27.

Y como el cálculo de caudal mínimo del recuperador se determinó en 160 m³/h, por lo tanto, se ocupará una presión estática de 118 Pa para definir la curva de presión en el cálculo que realiza TRNFlow para los flujos de extracción y suministro de aire, cuando se ocupe la ventilación mecánica, teniendo presente que el ventilador está girando al 80% de su velocidad máxima.

Tabla 27. Presión estática y caudal de ventilación según la velocidad del motor

Ajuste	Velocidad (%)	Caudal (m ³ /h)	ΔP estática (Pa)	Potencia (W)	Curva de presión
Reposo	15	28	3	7	
Bajo	20	37	6	8	
	30	55	14	10	
Medio	40	76	27	13	
	50	97	44	18	
Alto	60	118	64	26	
	70	141	92	37	
Alto	80	160	118	50	
	90	178	148	66	
	100	195	179	85	

Sin embargo, esto no significa que el recuperador esté funcionando al máximo de su eficiencia térmica, puesto que, basándose en pruebas realizadas, el fabricante establece que se alcanzaría **un rendimiento máximo de recuperación de calor del 82%, siempre y cuando el caudal de ventilación esté entre 90-145 m³/h**, pero así mismo certifica que a cualquier velocidad del ventilador se tendrá una eficiencia térmica $\geq 75\%$. Esta eficiencia se podría mejorar aún más si el sistema contara con un precalentador de aire, logrando así alcanzar una recuperación de calor de hasta el 95%. [14]

Conociendo entonces que, el caudal que se utiliza en el estudio de 160 m³/h no llega a trabajar al máximo rendimiento térmico, se aproximará este valor a una tasa de recuperación de calor promedio del 80%, en vista de que, si se requiere calcular el rendimiento real, se requeriría

colocar un sensor de temperatura en la salida del aire de escape al exterior, tal como lo indica la Ecuación [20] del manual del fabricante, considerando que las otras variables de la ecuación y las de temperatura especificadas en la Figura 69 son ya conocidas.

$$\eta_T = \frac{T_{ETA} - T_{EHA}}{T_{ETA} - T_{ODA}} \cdot \frac{P_{electric}}{\dot{m} \cdot c_p} \quad [20]$$

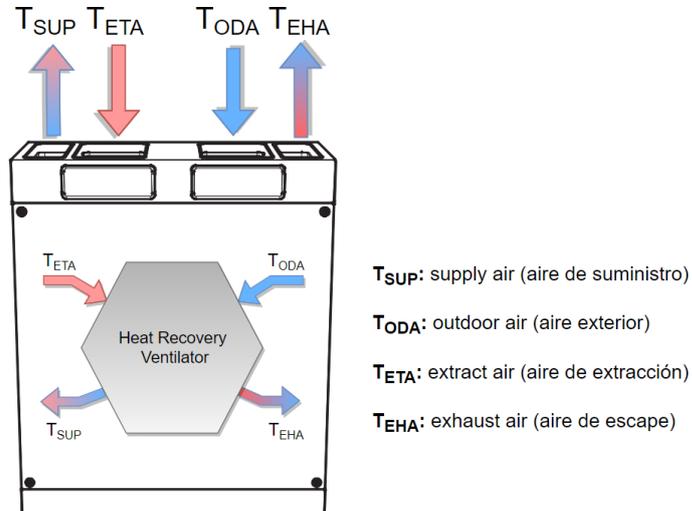


Figura 69. Intercambio de calor a través de los flujos de aire en el recuperador

5.3.2 Control de Ventilación Natural y Mecánica

Previamente, para los dos tipos de ventilación se debe considerar que, en la ventilación natural se realiza una ventilación cruzada con flujos de aire provenientes del exterior, tanto en la planta baja como la planta primera, ver Figura 70; mientras que para la ventilación mecánica se extrae y suministra el aire, desde y hacia el interior respectivamente, a través del recuperador de calor, como se indicó en la Figura 68. Para los dos tipos de ventilación el control de los flujos de aire se lo realiza desde TRNFlow (ver Anexo 1.4.3), donde se apertura determinadas puertas y ventanas para la ventilación natural, así como se hace circular el aire controlando el caudal que fluye hacia y desde las zonas térmicas, para la ventilación mecánica.

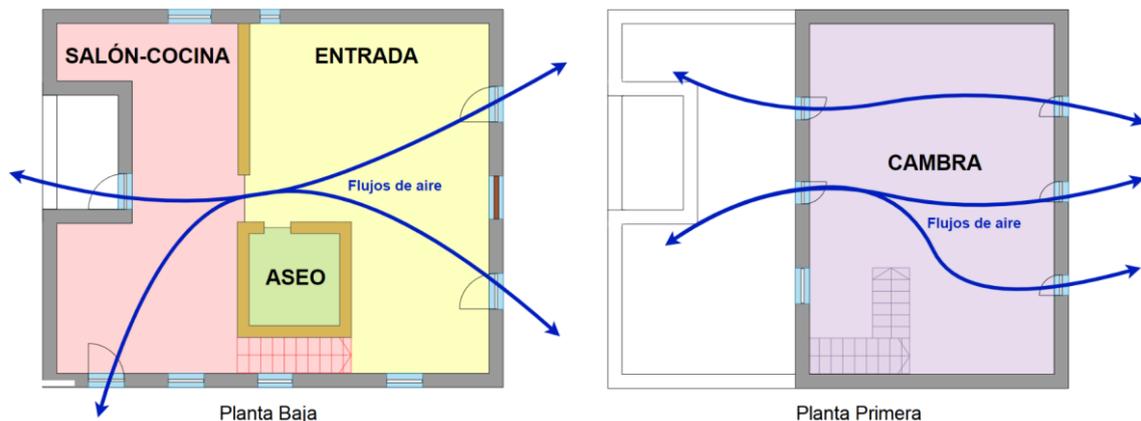


Figura 70. Ventilación natural cruzada

Se sabe que desde TRNFlow se regula la trayectoria y caudal del aire para los dos tipos de ventilación. Para la ventilación natural, abriendo total o parcialmente los huecos, de manera que según cuales huecos estén abiertos se controla que la trayectoria sea de una ventilación cruzada, y si se abre completamente estos, el flujo de aire natural que circula será máximo.

En cuanto a la ventilación mecánica, la extracción y suministro del aire están definidos por la ubicación de las boquillas distribuidas en cada zona, que en el software se interpreta como nodos de aire térmicos. Además, el caudal de aire está regulado por los ventiladores del recuperador de calor, que en el software se representa con un ventilador por cada zona, consiguiendo un equilibrio de flujos, donde lo que entré de aire debe ser igual a lo que sale.

Sin embargo, se debe considerar que el equipo de recuperación de calor no es entálpico³², por lo cual es un equipo que recupera únicamente energía sensible, en consecuencia, no es conveniente su uso en la época estival a partir de ciertas temperaturas ya que concentra humedad y produce condiciones de confort no deseadas. No obstante, aunque no se recupere energía latente se debe tener en cuenta la cantidad de vapor de agua que contiene el aire que ingresa, para ello en el software se considera la humedad absoluta ($HUMEDAD_{ABS}$) proveniente desde el exterior, y la temperatura a la que se suministra el aire al edificio (T_{SUP}) después del intercambio de energía. De la misma manera el recuperador se representa como un nodo auxiliar que contiene estas dos últimas variables.

Períodos y temperaturas T_{ODA} y T_{ETA}

Adicionalmente a la función que cumple TRNFlow se debe controlar los tiempos en que cada tipo de ventilación se activa o desactiva, para ello se plantea una serie de ecuaciones desde una calculadora en Simulation Studio denominada *Heat Recovery Ventilator* (se puede revisar las ecuaciones en el Anexo 1.2.4.3). Esta calculadora controla los dos tipos de ventilación en función de la época del año (ver Figura 71) y a la vez basándose en la temperatura exterior T_{ODA} y temperatura interior T_{ETA} se activa o desactiva una u otra ventilación (ver Tabla 28).

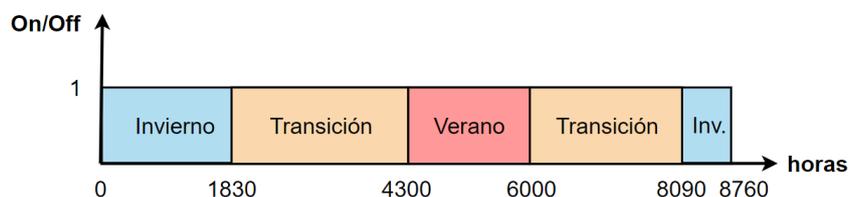


Figura 71. Control de la ventilación en función de cada época del año

El criterio en que se ha basado el uso de cada tipo de ventilación es considerando la capacidad de intercambiar calor según la temperatura exterior e interior. Así, en invierno se usará solamente ventilación mecánica, puesto que el recuperador hará un trabajo más eficiente debido al constante calor producido por las ganancias internas generadas y las ganancias solares absorbidas, al intercambiar calor con el exterior para mantenerse en condiciones de confort.

³² Los equipos de recuperación de calor entálpico (también llamados Energy Recovery Ventilator, ERV) son equipos que recuperan tanto la energía sensible como latente, puesto que el equipo puede recuperar energía calorífica a partir de la diferencia de temperatura y tasa de humedad que existe entre el ambiente exterior y el interior.

Asimismo, en verano y transición se usará cualquiera de los dos tipos de ventilación, así la ventilación natural dependerá solamente de cuando la temperatura exterior (T_{ODA}) sea favorable, mientras que para la ventilación mecánica se dependerá tanto de la temperatura exterior e interior, ya que si la exterior (T_{ODA}) está por debajo de cierto límite de confort se imitará el proceso de invierno, pero igualmente se usará ventilación mecánica cuando la temperatura exterior esté por encima del límite de confort siempre y cuando la temperatura exterior (T_{ODA}) sea mayor que la temperatura interior (T_{ETA}), ya que solamente ahí se podrá hacer un intercambio de calor favorable a reducir la temperatura al interior, caso contrario se estaría introduciendo más calor innecesario, y aunque en este caso no se tenga condiciones de confort será siempre más conveniente la ventilación con flujo de brisa natural que refrescará en alguna medida el ambiente del interior. Cabe recalcar que los instantes en que sucede este último caso en la alquería es muy raro, debido a que en el día el aislamiento desempeña un papel importante al mantener una inercia térmica favorable con un desfase de la curvatura de la temperatura exterior con respecto a la interior, como se explicó en la Figura 10.

Tabla 28. Control de ventilación basado en la temperatura exterior e interior de la vivienda

Ventilación Natural	Ventilación Mecánica
Invierno	
0	1
Transición	
$GE(T_{oda},21) * GE(28,T_{oda})$	$LT(T_{oda},21) + GT(T_{oda},28) * GT(T_{oda},T_{eta})$
Verano	
$GE(T_{oda},21) * GE(29,T_{oda})$	$LT(T_{oda},21) + GT(T_{oda},29) * GT(T_{oda},T_{eta})$

5.3.3 Ajuste

Después de considerar el control del caudal de aire y la activación de los dos tipos de ventilación, se analizará como repercuten las ecuaciones planteadas (ver Anexo 1.2.4.3) en el comportamiento de la temperatura al interior de la vivienda. Para ello, previamente se comprobará que el componente *Heat Recovery Ventilator* (Figura 72) está aplicando correctamente las ecuaciones para la activación tanto de la ventilación natural como mecánica. Se realizan tres pruebas, primero donde la ventilación natural está activada todo el año y la ventilación mecánica desactivada, segundo, una prueba a la inversa. Y finalmente, para continuar ajustando los resultados del modelo a la realidad, se combinará los dos tipos de ventilación, activándose o desactivándose en función de los parámetros que se analizaron anteriormente en este apartado.

De igual forma, se ha incluido en el modelo, un *Plotter* llamado *Ventilation* que imprime los resultados obtenidos, como la temperatura de suministro (T_{SUP}) proveniente de la transferencia de energía cuando en el recuperador se intercambia calor entre la temperatura de extracción (T_{ETA}) y la temperatura del exterior (T_{ODA}). Además, se muestra gráficamente cuando se activa la una u otra ventilación. Adicionalmente para el análisis se imprime la temperatura real del sensor SalonCocina que podrá ser comparada con la temperatura simulada en la misma zona. Asimismo, se debe recordar que la temperatura exterior (T_{ODA}) que se muestra es proveniente del archivo climatológico de la UPV.

La temperatura de extracción de aire utilizada (T_{ETA}), no corresponde exclusivamente a la zona del SalonCocina, sino a una media ponderada del volumen de aire que contiene esta zona y la zona Aseo.

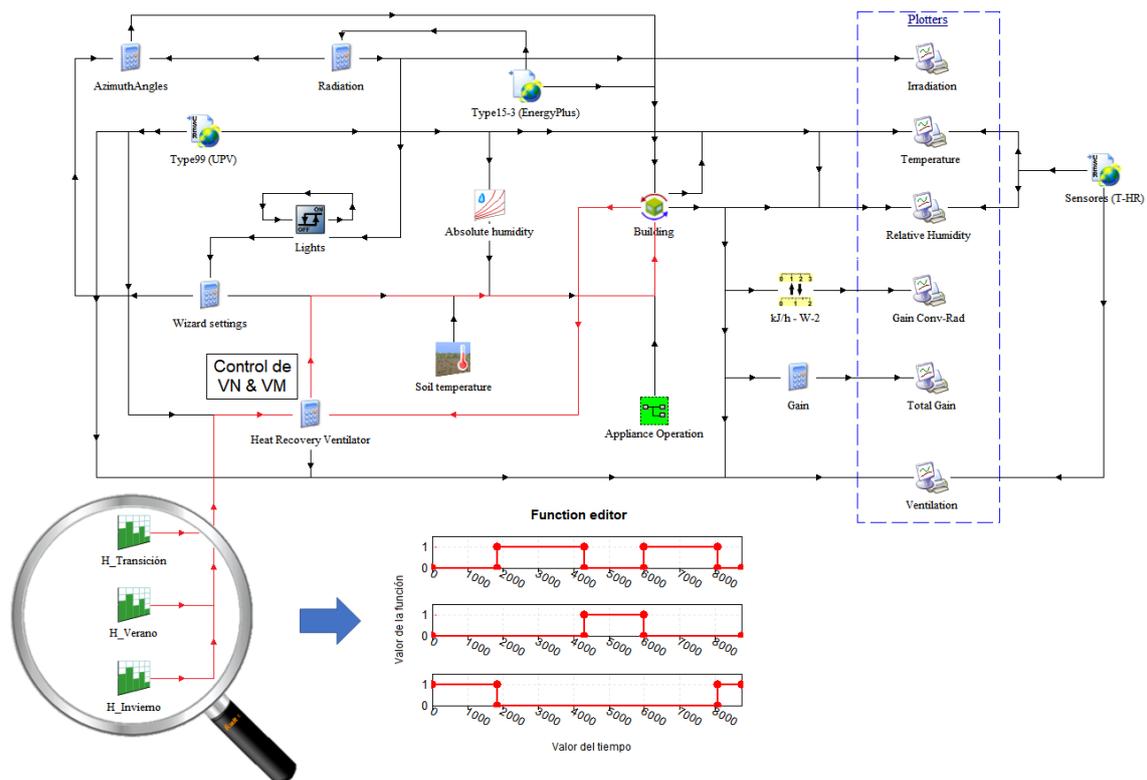


Figura 72. Modelo para ajuste de implementar la ventilación con TRNSYS

5.3.3.1 Ventilación Natural (únicamente)

En la primera prueba se puede observar que, al solo existir ventilación natural, la temperatura simulada del SalonCocina desciende considerablemente tratando de imitar a la temperatura exterior, dado que existe la apertura de determinadas puertas y ventanas en todo momento haciendo que el aire exterior ingrese libremente. En forma general, se puede notar en la Figura 73 que en invierno la mayoría del tiempo se cometería un error si se activará esta ventilación, sin embargo, en verano sería beneficiosa en gran parte del tiempo.

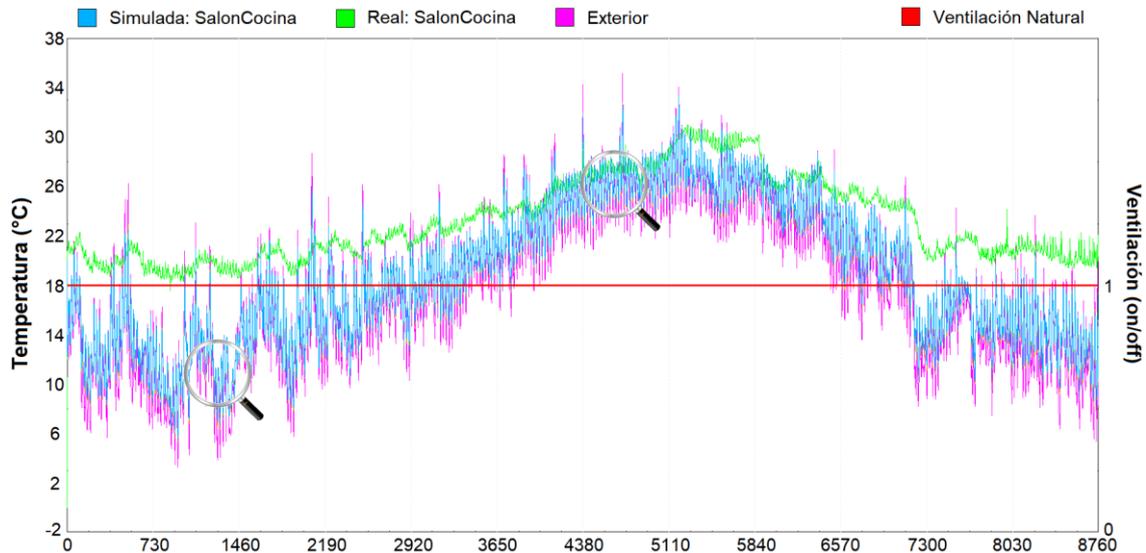


Figura 73. Ajuste de probar implementando solo la ventilación natural

Un detalle para observar de mejor manera este control se tiene en la Figura 74, en el que durante invierno, por ejemplo en seis días del 21 al 26 de febrero (1224-1368 horas), al abrir puertas y ventanas la temperatura simulada desciende al ritmo de la temperatura exterior, pero manteniendo un mínimo de diferencia entre ambas, debido que ya existen ganancias internas y los diferentes tipos de cerramientos que protegen y almacenan una pequeña parte del calor aún contenido, pero por supuesto esta acción sería ilógica, puesto que tener abiertas las puertas y ventanas con temperaturas exteriores fuera del rango de confort en invierno es algo indeseado.

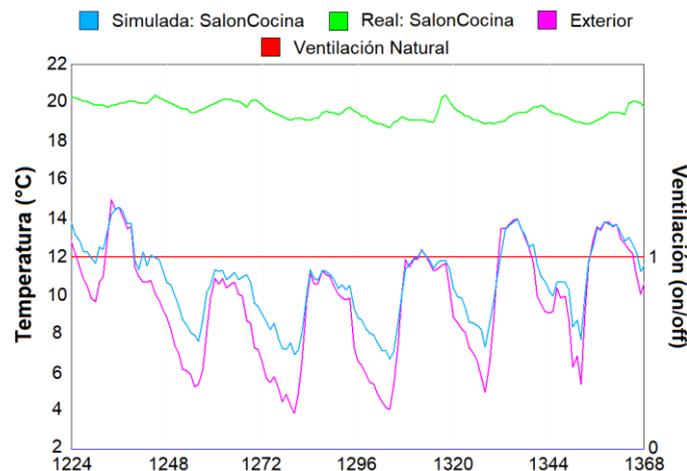


Figura 74. Detalle del ajuste de ventilación natural de 21 al 26 de febrero

Otro detalle se puede visualizar durante verano, por ejemplo, en cinco días del 10 al 14 de julio (4559-4679 horas), se observa en la Figura 75, que las tres temperaturas tienen prácticamente los mismos valores al medio día, debido a que en la realidad se abrió las ventanas y puertas tal como lo representa la temperatura simulada. Además, nótese que en el transcurso de la madrugada que es cuando la temperatura exterior baja, si en la realidad se optara por una ventilación natural cruzada adecuada, se pudiera bajar la temperatura real del edificio, que se mantiene sobre los 27 °C en el SalonCocina, reproduciéndose algo similar en las otras zonas.

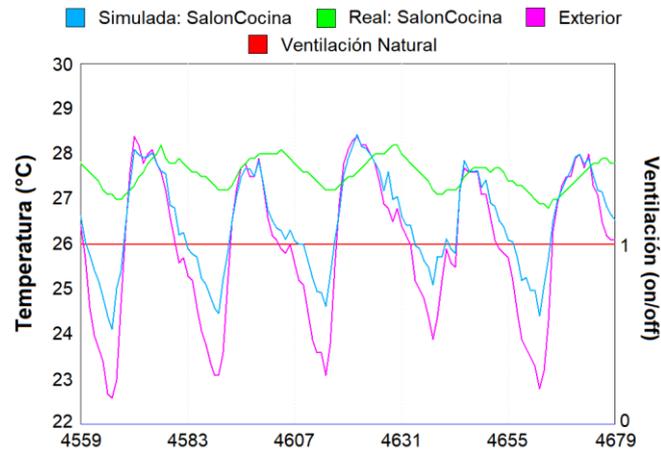


Figura 75. Detalle del ajuste de ventilación natural del 10 al 14 de julio

5.3.3.2 Ventilación Mecánica (únicamente)

La segunda prueba es la inversa de la anterior, es decir, desactivar la ventilación natural y activar la ventilación mecánica. Tener en cuenta que el control de la ventilación mecánica se lo hace a través del recuperador de calor, por consiguiente, la temperatura de suministro debe ser inferior que la temperatura interior de la vivienda, tal como se indica en la Figura 76, dado que su cálculo se basa en la ecuación del rendimiento térmico del recuperador, como se indica en el Grupo de Ecuaciones [31], en que la temperatura del aire exterior al intercambiar calor con el aire que se extrae de la vivienda, este aire exterior gana energía pasando a ser aire de suministro pero con una temperatura mayor al exterior y menor al extraído de la vivienda, para un caso donde se requiera calentar el ambiente interior de la vivienda, y todo lo contrario si se requiriera refrescar.

Para visualizar mejor la influencia de la ventilación mecánica con el flujo de aire que entra a través del recuperador suministrando una temperatura más caliente que el exterior para el caso de invierno (ver Figura 77), resultado del intercambio de calor que se produce en el recuperador. Se tiene un rango de 17 días del 16 de febrero al 4 de marzo (1104-1512 horas), en donde es claramente notorio que la temperatura de suministro es menor que la temperatura simulada al interior de la vivienda, pero mucho mayor que la temperatura exterior con una diferencia promedio de 6 °C, e incluso momentos donde se aprovecha mejor la transferencia de calor hasta con 10 °C como en la hora 1392. Este comportamiento de la temperatura simulada se acerca bastante bien a la temperatura real, y se puede evidenciar que en esta temporada del año se aplicó correctamente el uso de la ventilación con recuperación de calor. Además, se evidencia que el control de la ventilación mecánica con las ecuaciones planteadas funciona perfectamente con temperaturas inferiores a las de confort.

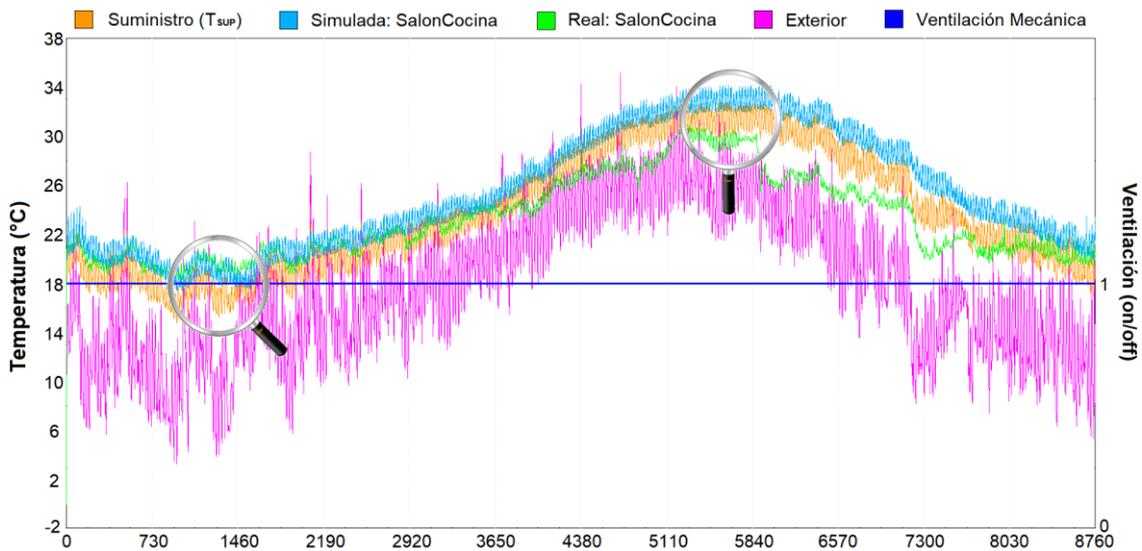


Figura 76. Ajuste de probar implementando solo la ventilación mecánica

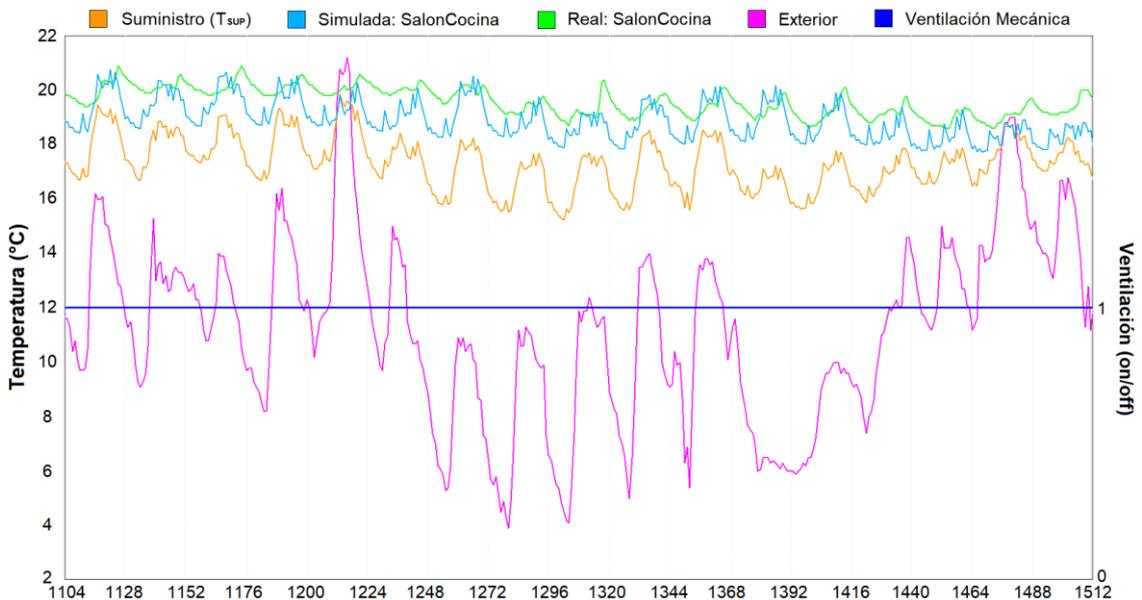


Figura 77. Detalle del ajuste de ventilación mecánica del 16 de febrero al 4 de marzo

Por el contrario en verano, por ejemplo durante 12 días del 16 al 27 de agosto (5447-5735 horas) como lo indica la Figura 78, se llega a un escenario en el que, el uso del recuperador ya no es adecuado, debido a que en los momentos de máxima temperatura al interior el caudal de renovación de aire ya no es lo suficientemente grande como para contrarrestar las cargas que se producen por las ganancias internas y ganancias solares, lo que hace que el calor que existe en el interior de la vivienda vaya cada vez incrementando su temperatura, a pesar de que la temperatura en el exterior sea a momentos favorable, y al no haber un sistema de enfriamiento, se tiene temperaturas extremadamente altas, totalmente fuera del confort. Es entonces ahí, cuando es conveniente usar la ventilación natural, puesto que la temperatura exterior baja especialmente por las noches y no se está aprovechando esta condición para refrescarse. Aunque existirá días donde la temperatura exterior al mediodía sea igual a la hora 5555 y si no se tiene un sistema activo de refrigeración, el uso de cualquier ventilación será inválida.

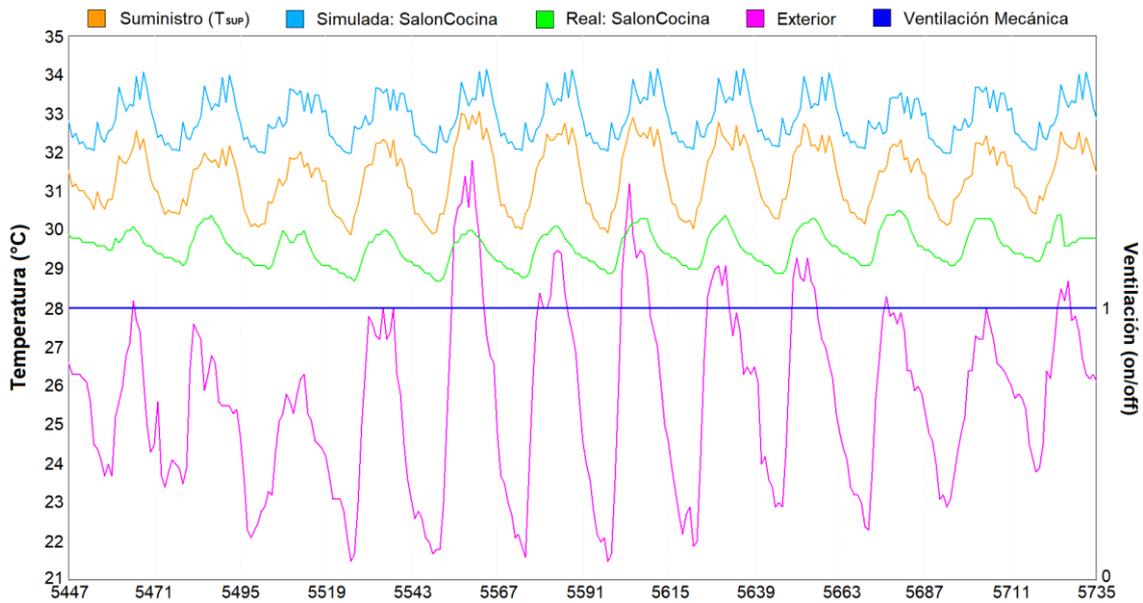


Figura 78. Detalle del ajuste de ventilación mecánica del 16 al 27 de agosto

5.3.3.3 Proceso Combinado (VN + VM)

Una vez analizadas las dos ventilaciones y probando a activarse independientemente durante todo el año, se realiza ahora la combinación de las mismas, en donde utilizando el control de ventilación en función de la época del año (ver Figura 71) y a la vez basado en la temperatura exterior T_{ODA} y temperatura interior de la vivienda T_{ETA} , se aplique la ventilación adecuada activándose o desactivándose una u otra ventilación, para tratar de ajustar aún más la curva de temperatura simulada a la real.

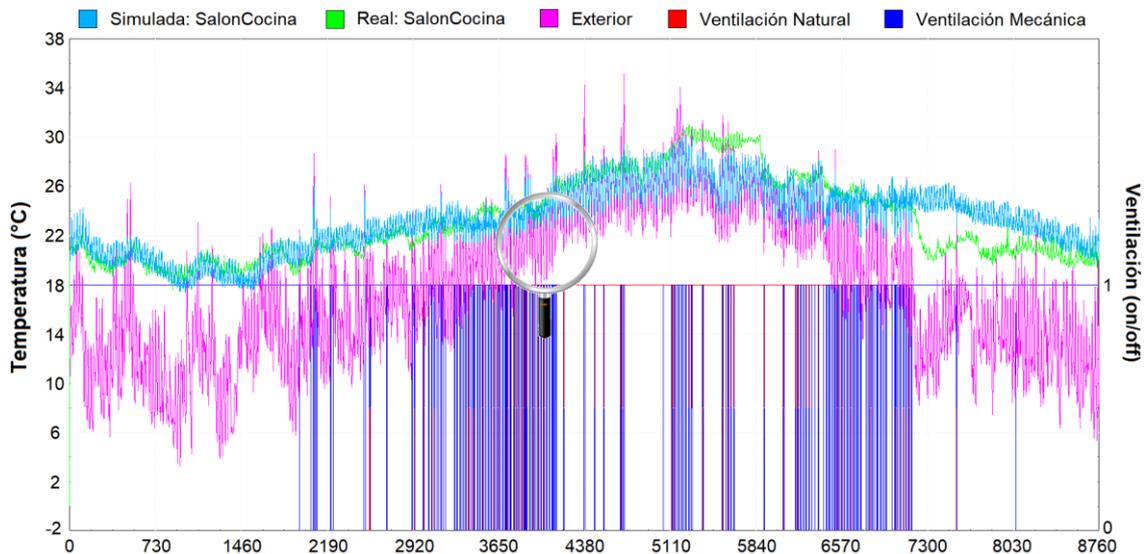


Figura 79. Ajuste de implementar la ventilación natural y mecánica

Puede observarse en la Figura 79, que la curva simulada se ajusta en la mayor parte del tiempo a la real, con las excepciones de agosto y desde finales de octubre. En el caso del acertado ajuste se debe a que la ventilación mecánica está activada solamente en la época de invierno y en parte

de la transición alternándose en esta última época con la ventilación natural, funcionando así una u otra ventilación dependiendo de las temperaturas interior y exterior. Además, se puede percibir que en verano se utiliza más la ventilación natural, puesto que para refrescar el ambiente interior que involucra ganancias de calor, bastará en la mayor parte del tiempo solo con utilizar corrientes de aire provenientes del exterior. Sin embargo, existe momentos como el mes de agosto o a finales de octubre e inicio de noviembre, que la curva de temperatura no se ajusta por completo a la temperatura real. Para el caso de agosto, la temperatura simulada presenta condiciones más confortables que la real, esto es debido a que la mayor parte de este mes la vivienda pasó deshabitada por periodo de vacaciones, permaneciendo cerrada sin ningún tipo de ventilación, llegando a alcanzar temperaturas fuera de confort, que si se hubiese aplicado la correcta ventilación natural la temperatura interior decrecería como muestra la Figura 79. En el caso de fines de octubre e inicios de noviembre, al parecer se hizo mal un mal uso de la ventilación en vista de que, la temperatura real no debió haber disminuido como lo hizo a pesar de las bajas temperaturas exteriores, si se hubiera aplicado la ventilación mecánica.

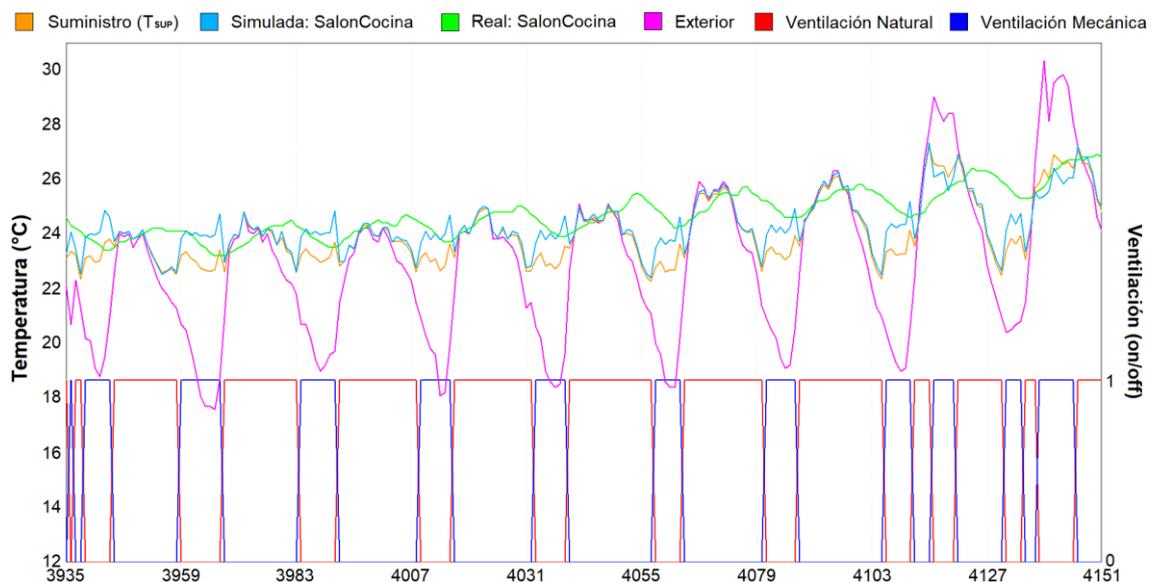


Figura 80. Detalle del ajuste de ventilación natural y mecánica del 14 al 22 de junio

Un detalle de los dos tipos de ventilación se puede visualizar en la Figura 80, donde la combinación de estos es favorable sobre todo en las épocas de transición, como por ejemplo en primavera, 9 días del 14 al 22 de junio (3935-4151 horas), donde se observa que durante la noche cuando las temperaturas descienden se utiliza la ventilación mecánica, de modo que se mantiene el interior de la vivienda en temperaturas óptimas entre 23 y 24 °C, pero durante el día cuando la temperatura exterior se incrementa consiguiendo ser la óptima, es conveniente el uso de la ventilación natural, de esta manera no se necesita disponer del recuperador ni de ningún sistema activo, ya que la renovación del aire es gratuita y favorable.

Además, se visualiza que en los últimos dos días la temperatura exterior se incrementa más allá de las temperaturas óptimas, llegando a superar los 29 °C, y es en este momento que pasado los 28 °C en la transición, nuevamente se ocupa la ventilación mecánica a través del recuperador para intercambiar aire del exterior que viene un poco más caliente con el aire interior que está un poco más frío, ingresando así un aire a una temperatura media entre el interior y exterior.

5.4 CAMBIO DE LOS HÁBITOS ENERGÉTICOS

Para refinar aún más el ajuste, se ha tenido que modificar las condiciones de control de la ventilación natural (ver Grupo de Ecuaciones [33]) para que la curva de temperatura simulada pueda ajustarse completamente a la real. Para esto se agregó al modelo anterior dos periodos extra (ver Figura 81) que puedan modificar el comportamiento de la temperatura simulada en el mes de agosto y desde finales de octubre hasta finales de noviembre, que son justamente cuando el sensor registra condiciones de temperatura no tan favorables al interior de la vivienda. Para el primer caso debido a que en verano la vivienda pasó desocupada sin una oportuna ventilación natural, y para el segundo caso, no se utilizó el tipo de ventilación adecuada.

Cabe hacer hincapié que, esta modificación del control de la ventilación es simplemente para ajustar al comportamiento de la curva real de temperatura, pero que en ningún caso es una acción que se deba realizar, puesto que afecta a las condiciones de confort del interior. Con ello se cae en cuenta que la condición del modelo anterior es un ejemplo de **un hábito por parte del usuario que debe ser cambiado** en esos períodos.

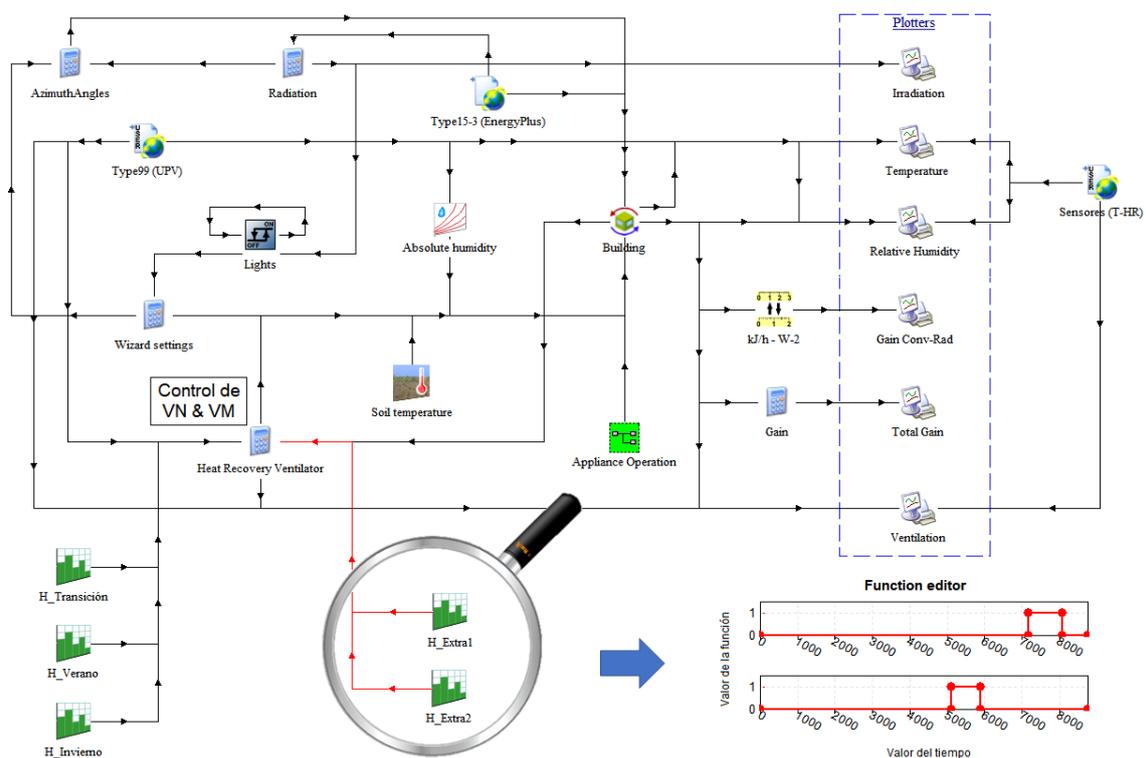


Figura 81. Modelo para refinar el ajuste modificando hábitos energéticos con TRNSYS

El cambio realizado en el control de la ventilación se visualiza en la Figura 82, donde se muestra que en verano al solamente proporcionar un mínimo de ventilación natural igual al 5% del total que equivale a abrir las puertas y ventanas especificadas en TRNFlow, la temperatura interior simulada incrementa alcanzando así a la temperatura real. Este acontecimiento en la realidad se debe a que, como la vivienda estuvo desocupada en casi todo este mes, estando cerrada completamente y sin existir ventilación natural alguna, las cargas solares elevaron la temperatura superando incluso los 32 °C. Esta ventilación del 5 % implementada en este modelo, es equiparable a la ventilación mínima que produce el recuperador en el estado de

reposo, ya que, aunque no esté funcionando a gran caudal, este no se encuentra apagado completamente, suministrando así un caudal de 28 m³/h, como lo indica el fabricante.

En cuanto, al caso de otoño, la ventilación del 5% es correspondiente a que en estas fechas se hizo un uso no adecuado del tipo de ventilación requerida, puesto que, en el modelo anterior con el control propuesto, se establecía que en este período se tenía que usar el recuperador de calor exclusivamente ya que las temperaturas bajan demasiado y la transferencia de calor al interior sería eficiente. Es por ello que este 5% de ventilación natural implementado corresponde a que se siguió utilizando mínimamente la ventilación natural a partir del mediodía que son cuando las temperaturas crecían, pero no lo suficiente.

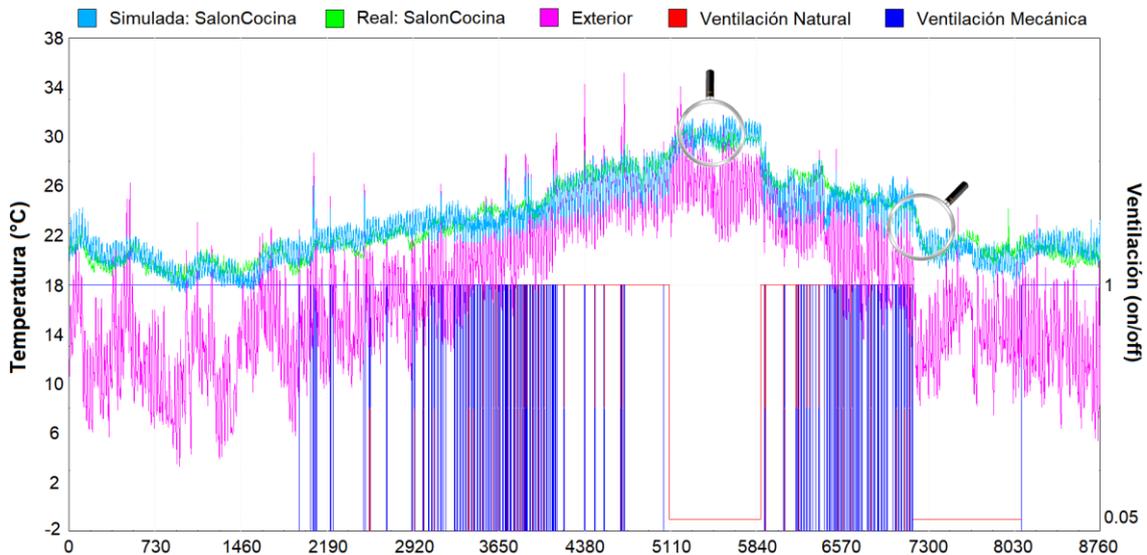


Figura 82. Refinar el ajuste modificando hábitos energéticos

Un detalle del caso de verano se visualiza en la Figura 83, durante ocho días del 11 al 18 de agosto (5327-5519 horas), en donde evidentemente aplicando una insignificante ventilación, la temperatura simulada es muy similar a la curva de temperatura real. Los picos que sobresalen en la curva simulada son los que corresponderían al funcionamiento de determinados equipos.

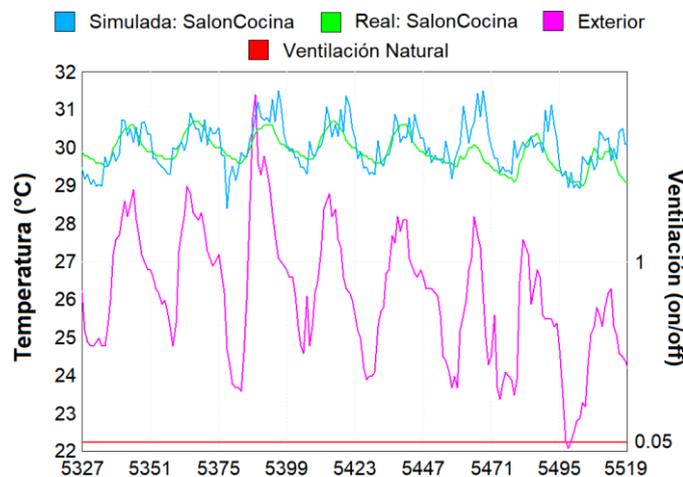


Figura 83. Detalle de refinar el ajuste modificando hábitos energéticos del 11-18 agosto

El caso de otoño se visualiza en la Figura 84, a lo largo de ocho días del 26 de octubre al 2 de noviembre (7151-7344 horas), en el que es notorio la brusca caída de temperaturas a partir del 27 de octubre, y en vista de que se venía de temperaturas exteriores confortables, se continuó probablemente haciendo uso de un mínimo de ventilación natural durante horas del día, combinando con ventilación mecánica. No obstante, como se advirtió la ventilación adecuada para este período debió haber sido exclusivamente la ventilación a través del recuperador.

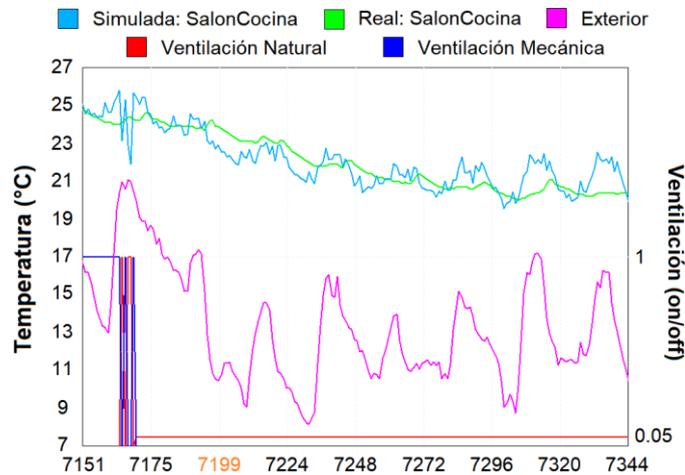


Figura 84. Detalle de refinar el ajuste modificando hábitos energéticos, 26-oct al 2-nov

Por último, en la Figura 85 se puede avizorar que el comportamiento de la humedad relativa es el esperado al no controlarse con un recuperador de calor entálpico. Por consiguiente, en la temporada de verano el aire al estar más caliente, tiene más capacidad de contener vapor de agua, es por ello que la humedad relativa permanece alta en este período, mientras que en invierno y la transición permanece con niveles más aceptables (40-70%) en la mayor parte del tiempo. No se hará un ajuste para el caso la humedad relativa, dado que independientemente de la época del año y la ventilación utilizada esta siempre ha estado oscilando entre 60 y 75% lo cual no refleja la realidad.

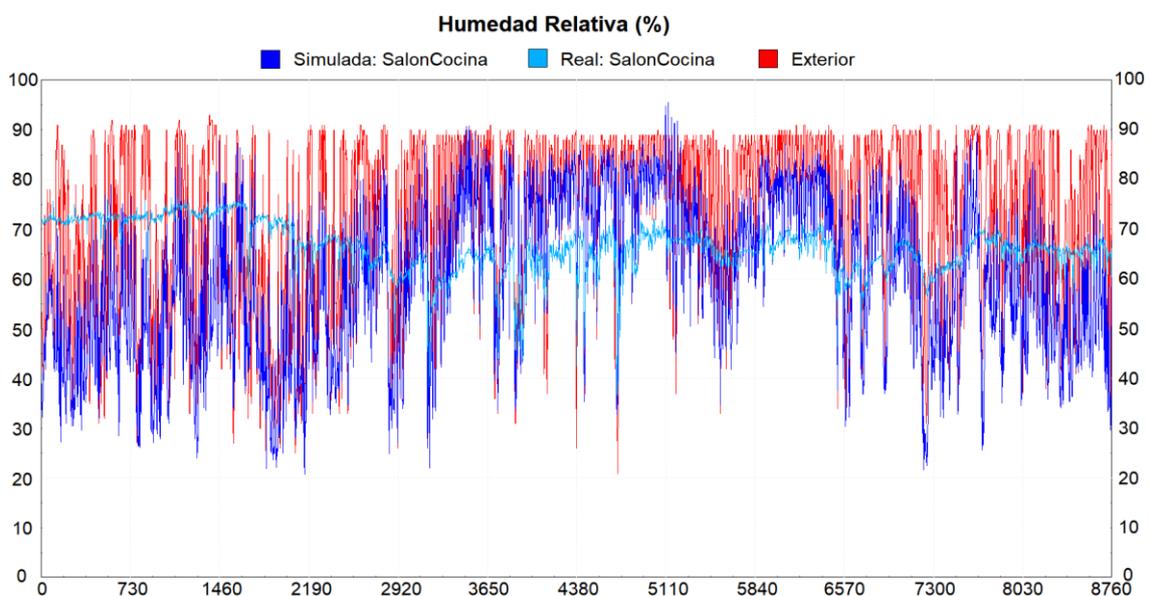


Figura 85. Humedad Relativa modificando hábitos energéticos

5.5 CONTRASTE CON ARCHIVOS ENERGYPLUS Y METEONORM

Para realizar la comparación de la simulación del archivo climatológico UPV con las simulaciones de los archivos EnergyPlus y Meteonorm se reemplaza el *Type* correspondiente de la fuente de procedencia por el *Type99* (ver Figura 86), y se reconectan los vínculos que se estaban utilizando con este componente. Adicionalmente, se debe cargar en el *Type* el archivo externo (archivo climatológico) de la extensión correspondiente, perteneciente a dicha biblioteca, como se indicó en la Tabla 2.

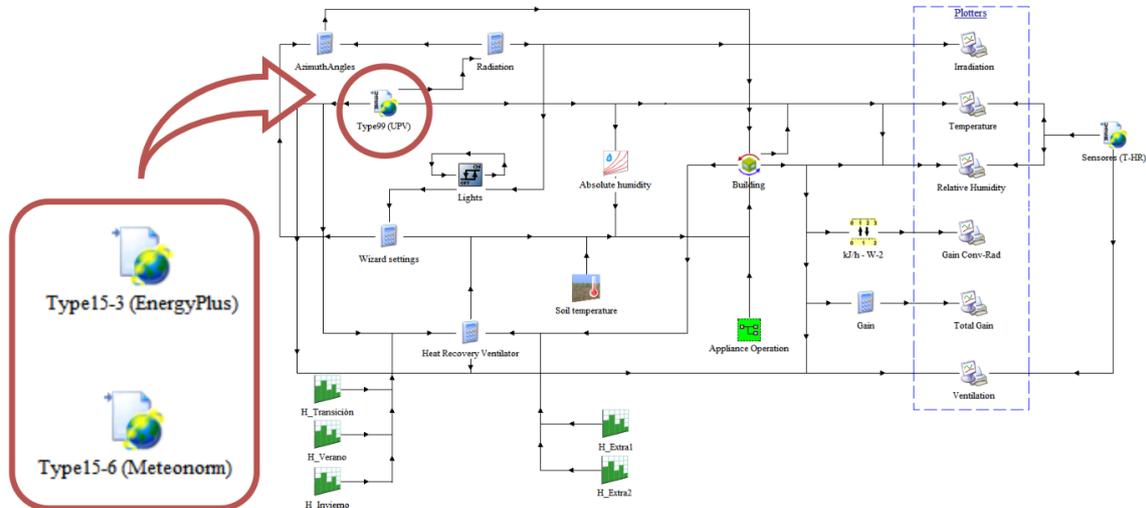


Figura 86. Modelo para contrastar con archivos EnergyPlus y Meteronorm

El contraste de cada archivo contiene diferencias de temperaturas punto a punto, que a simple vista se puede catalogar que determinado archivo tiene un comportamiento mejor que el otro, al tratar de ajustarse a la curva de temperatura real. Es por ello que, para confirmar este análisis no basta con hacerlo visualmente, sino que se debe legitimar el modelo a través de parámetros estadísticos.

En consecuencia, se realizará una validación estadística con el modelo energético que utiliza el archivo de la UPV, basándose en los resultados obtenidos anteriormente. Estos resultados se los separa en dos partes, primero los que se obtuvieron con la implementación de la ventilación natural y mecánica; y segundo, al modificar los hábitos energéticos por parte del usuario.

O también, dicho de otra manera, un contraste:

- Sin refinar el modelo
- Refinado el modelo

El contraste para los dos casos se puede observar en la Figura 87 y Figura 88, respectivamente, mientras que el análisis comparativo se explica en la Tabla 29, que para una descripción más detallada, se analizan los archivos en cada estación del año.

Cabe indicar que, en los dos casos se ha empleado las mismas conexiones y ecuaciones para la simulación de los tres archivos, difiriendo solamente el *Type* y el correspondiente archivo climatológico.

Tabla 29. Contraste de resultados de los tres archivos climatológicos

Sin refinar el modelo	Refinado el modelo
Invierno	
<p>El archivo UPV tiene un mejor ajuste, que los otros dos, puesto que la variación que existe es notoria en tres picos que sobresalen de la curva de temperatura real a finales de enero, febrero y mitad de marzo, respectivamente. Estas subidas de temperatura del sensor se deben a que el archivo de la UPV, tiene una temperatura exterior más alta en las máximas y mínimas, que los otros archivos.</p>	<p>Las diferencias de los tres archivos son prácticamente similares a las de su par correspondiente en el modelo sin refinar, debido a que en esta estación no se realiza los cambios para refinar el modelo. No obstante, existen diferencias mínimas que apenas son notorias como en diciembre que, al incluir la ventilación mecánica a finales de otoño, esta influye en la inercia térmica del edificio.</p>
Primavera	
<p>El ajuste de los tres archivos es bueno, se acercan bastante al sensor, siendo muy similares el de Meteonorm y la UPV. Sin embargo, el de EnergyPlus comienza a tener oscilaciones muy grandes al terminar la primavera que luego continúan en verano. Además, estas variaciones entre el día y la noche tienen una diferencia de hasta 7 °C durante el período de junio primaveral.</p>	<p>Al igual que la estación anterior, en esta no se aprecia diferencias a simple vista, a causa de que a este periodo no le afecta los cambios realizados en el control de la ventilación natural. Sin embargo, esto se lo debe verificar cuantificándolo, por lo que es necesario el análisis estadístico para determinar si de hecho no existen las diferencias que se presumen.</p>
Verano	
<p>Los tres archivos presentan oscilaciones de temperatura constantes, pero en EnergyPlus y Meteonorm son muy drásticas estas variaciones. Asimismo, el ajuste de estos dos, no es muy bueno a inicios de verano. En cuanto a las divergencias de agosto por parte de los tres archivos, no se debe a problemas de la simulación, sino que la vivienda permaneció cerrada sin ninguna ventilación.</p>	<p>Al realizar el control de la ventilación se observa que el archivo de EnergyPlus y UPV son los que mejor se justan a la curva real, en tanto que el de Meteonorm no termina de ajustarse a inicios de agosto. No obstante, las bruscas oscilaciones que presentaban EnergyPlus y Meteonorm se reducen apreciablemente en este periodo. Pero UPV es el que termina ajustándose con exigencia.</p>
Otoño	
<p>A finales de octubre en adelante, el archivo de la UPV presenta grandes diferencias con la curva real, y no significa que el modelo no sea válido, dado que los hábitos energéticos no favorables del usuario incurren en esta estación, afectando a los tres archivos, que conjuntamente con la eventualidad de agosto, es por lo cual se realiza un ajuste refinado del modelo, pero aclarando que esto solo sirve para identificar las divergencias.</p>	<p>Las anomalías que se presentan en esta estación no tienen que ser identificadas como divergencias entre la realidad y el modelo, sino más bien que los parámetros de ventilación que debían usarse no se implementaron correctamente en la realidad, es por ello que el de UPV al ser el archivo climatológico más cercano al edificio responde de mejor manera al ajustarse a la curva de temperatura del sensor.</p>

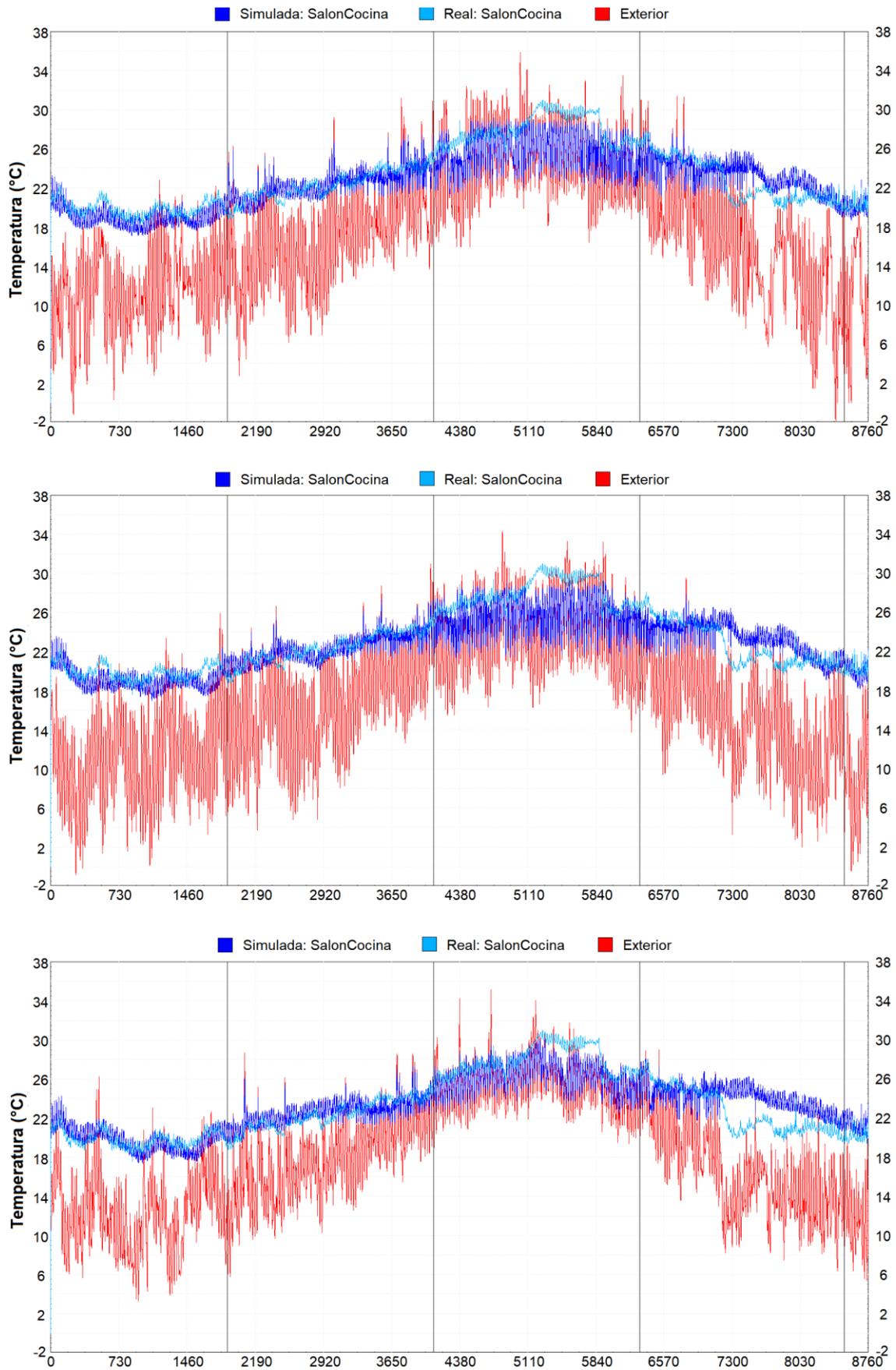


Figura 87. Contraste sin refinar el modelo. EnergyPlus, Meteonorm, UPV

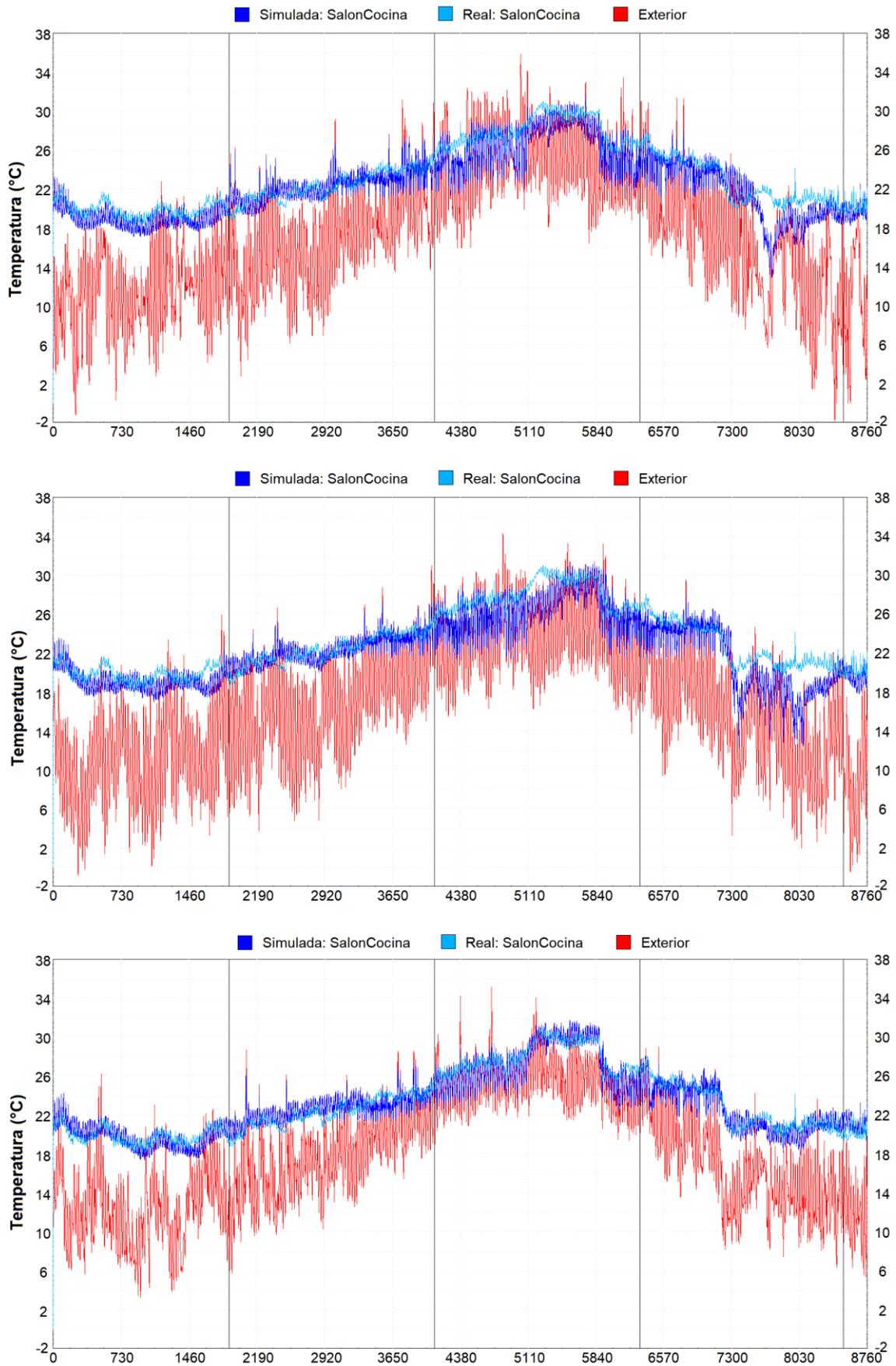


Figura 88. Contraste refinado el modelo. EnergyPlus, Meteonorm, UPV

CAPÍTULO 6. VALIDACIÓN Y OPTIMIZACIÓN DEL MODELO

En este capítulo se realiza la validación del modelo energético construido con los datos de la estación meteorológica UPV, en vista de que, en el contraste realizado en el capítulo anterior se deja entrever qué archivo tiene un mejor comportamiento al ajustarse a la curva de temperatura real, conteniendo cada archivo diferencias de temperaturas punto a punto. Para legitimar el análisis no basta con un contraste realizado gráficamente, sino que se debe validar el modelo a través de criterios estadísticos.

Adicionalmente, como un agregado de este trabajo se analizará dos casos en donde se puede optimizar el modelo. En el primer caso, ajustándose más a la curva real, para ello se varía el caudal del recuperador a un valor mayor y menor al ya establecido; y un segundo caso en donde al implementar un sistema activo para calefacción y refrigeración, con un control de temperaturas entre 19-27 °C durante todo el año, no incumpla la vigente normativa respecto al consumo energético de energía primaria no renovable.

6.1 VALIDACIÓN

Para evaluar la exactitud del modelo, de modo que se pueda identificar cual se comporta de mejor manera, se puede utilizar diferentes criterios estadísticos como, el error medio (ME), el error absoluto medio (MAE), el error porcentual medio (MPE), el error porcentual absoluto medio (MAPE), el error cuadrático medio (MSE), la raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE) y la U de Theil. [15]

Para el caso de estudio no se empleará ni el ME ni el MPE, debido a que, al medir la exactitud de un punto, las diferencias positivas grandes pueden ser compensadas con diferencias negativas grandes, es así que un modelo muy malo puede tener un ME o un MPE de cero. En cuanto al resto de mediciones, estas son más útiles para comparar modelos de una serie dada. Sin embargo, solo pueden interpretarse en el análisis el MAPE y U de Theil, dado que éstos se representan en porcentajes, mientras MAE, MSE y RMSE manejan diferentes unidades.

Cabe indicar que el RMSE es una medición de exactitud y se la interpreta fácilmente, ya que es similar al concepto estadístico de la desviación estándar. Por consiguiente, se utilizará un criterio estadístico que emplee y no emplee un valor de porcentaje, es así que, para la validación del modelo se hará uso del MAPE y RMSE, respectivamente.

Las Ecuaciones [21] y [22], se emplean para calcular estos dos parámetros estadísticos, donde R_t y S_t , es el valor de la temperatura real y simulada, respectivamente en cada periodo de tiempo, y n es el número de períodos que se usan en el cálculo.

$$MAPE = \frac{\sum \left| \frac{(R_t - S_t)}{R_t} \right|}{n} \quad [21]$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (R_t - S_t)^2}{n}} \quad [22]$$

Los resultados con los que se realiza la validación, son los que se obtuvieron sin refinar el modelo (implementación de la ventilación natural y mecánica) y refinado el modelo (modificación de los hábitos energéticos por parte del usuario). Para ello, al igual que el contraste se clasificará cada parámetro estadístico en función de cada estación del año y zona térmica analizada perteneciente a cada archivo, comparando con una etiqueta de color **verde** al criterio más bajo de entre los tres archivos, es decir, el más favorable; y una etiqueta de color **rojo** al valor menos favorable. Asimismo, se mostrará de forma anual, que archivo tiene el mejor comportamiento en cada una de las zonas que han sido simuladas, exponiendo finalmente un valor promedio entre todas las zonas de un mismo archivo para cada parámetro estadístico.

Para la validación sin refinar el modelo se muestran la Tabla 30 y Tabla 31, mientras que para validación refinado el modelo la Tabla 32 y Tabla 33.

Las horas que se han tomado para el análisis en cada estación es de acuerdo a los solsticios y equinoccios, como se muestra:

- Invierno: 21-diciembre al 20-marzo (8497-1896 horas)
- Primavera: 21-marzo al 20-junio (1897-4104 horas)
- Verano: 21-junio a 20-septiembre (4105-6312 horas)
- Otoño: 21-septiembre a 20-diciembre (6313-8496 horas)

Análisis 1

Después de haber realizado el contraste de los tres archivos climatológicos comparándolos gráficamente, se puede corroborar de acuerdo a la *Validación sin refinar el modelo* que, en efecto, el archivo de la UPV en términos anuales es el que mejor se comporta al tratar de ajustarse a la curva de temperatura real ya que el MAPE y RMSE tienen los valores más favorables, a pesar de que en la estación de otoño posea anomalías muy marcadas que no son resultado de problemas en la simulación, sino que los hábitos del usuario alteran este comportamiento, además del mes de agosto en donde no se tenía un control por parte del usuario de una adecuada ventilación. De tal manera que, por estos acontecimientos se ha realizado un refinamiento del modelo.

Estos acontecimientos, inicialmente relacionados como anomalías de la simulación, no se los tiene que identificar como divergencias entre la realidad y el modelo, sino más bien que los parámetros de ventilación que se debían poner en práctica en esos periodos no se implementaron, teniendo así temperaturas en agosto fuera de confort, y para fines de octubre se pudo haber tenido mejores temperaturas.

Tabla 30. Validación por cada estación del año, sin refinar el modelo energético

INVIERNO	Archivo	Zona	MAPE	RMSE	PRIMAVERA	Archivo	Zona	MAPE	RMSE		
	Energy Plus	Cocina		4.81%		1.149	Energy Plus	Cocina		4.07%	1.176
		Entrada		6.80%		1.542		Entrada		4.00%	1.130
		Cambra		4.65%		1.073		Cambra		4.51%	1.265
	Meteo norm	Cocina		5.04%		1.253	Meteo norm	Cocina		3.42%	0.992
		Entrada		6.34%		1.564		Entrada		3.65%	1.017
		Cambra		4.76%		1.166		Cambra		3.89%	1.120
	UPV	Cocina		4.09%		1.000	UPV	Cocina		3.88%	1.092
		Entrada		4.14%		0.995		Entrada		2.77%	0.826
		Cambra		3.51%		0.820		Cambra		4.27%	1.169

VERANO	Archivo	Zona	MAPE	RMSE	OTOÑO	Archivo	Zona	MAPE	RMSE		
	Energy Plus	Cocina		8.72%		2.992	Energy Plus	Cocina		6.85%	1.924
		Entrada		8.19%		2.849		Entrada		5.81%	1.617
		Cambra		8.01%		2.741		Cambra		6.45%	1.745
	Meteo norm	Cocina		8.50%		3.005	Meteo norm	Cocina		7.08%	1.958
		Entrada		8.22%		2.912		Entrada		6.10%	1.695
		Cambra		7.76%		2.761		Cambra		6.67%	1.785
	UPV	Cocina		6.43%		2.203	UPV	Cocina		9.20%	2.398
		Entrada		5.37%		1.983		Entrada		7.25%	1.891
		Cambra		5.05%		1.787		Cambra		8.44%	2.103

Tabla 31. Validación anual y promedio, sin refinar el modelo energético

ANUAL	Archivo	Zona	MAPE	RMSE	PROMEDIO ANUAL	Archivo	MAPE	RMSE		
	Energy Plus	Cocina		6.12%		1.963	EnergyPlus		6.08%	1.896
		Entrada		6.20%		1.899				
		Cambra		5.91%		1.828				
	Meteo norm	Cocina		6.01%		1.967	Meteonorm		5.95%	1.910
		Entrada		6.08%		1.928				
		Cambra		5.77%		1.835				
	UPV	Cocina		5.90%		1.790	UPV		5.37%	1.620
		Entrada		4.88%		1.516				
Cambra			5.32%	1.555						

Análisis 2

En cuanto a la *Validación refinado el modelo*, igualmente se puede reafirmar que, en todas las estaciones del año, el archivo de la UPV tiene los mejores resultados, a excepción de la primavera que comparte legitimación con el archivo de Meteonorm, pero sin duda en términos anuales y promedio, después de haber modificado los parámetros de ventilación, es el que mejor se ajusta a la curva del sensor. Precisando, además que el archivo de EnergyPlus es el que mejor comportamiento tiene después del de la UPV.

Pudiendo así concluir que, siempre que se requiera que los modelos reproduzcan la realidad se tendrá que hacer un estudio muy exhaustivo del comportamiento del mismo, por ello será muy importante como esté funcionando el edificio a nivel térmico, considerando los hábitos de uso de las personas que viven en él, y que las condiciones climatológicas del entorno a más de tener consistencia estadística, posean datos actualizados, puesto que, con el constante cambio climático los datos están variado de manera apreciable.

Tabla 32. Validación por cada estación del año, refinado el modelo energético

INVIERNO	Archivo	Zona	MAPE	RMSE	PRIMAVERA	Archivo	Zona	MAPE	RMSE
	Energy Plus	Cocina		4.89%		1.165	Energy Plus	Cocina	
Entrada			7.00%	1.571	Entrada			4.00%	1.130
Cambra			4.77%	1.091	Cambra			4.51%	1.265
Meteo norm	Cocina		5.09%	1.268	Meteo norm	Cocina		3.42%	0.992
	Entrada		6.57%	1.598		Entrada		3.65%	1.017
	Cambra		4.87%	1.184		Cambra		3.89%	1.120
UPV	Cocina		3.95%	0.961	UPV	Cocina		3.88%	1.092
	Entrada		4.01%	0.979		Entrada		2.77%	0.826
	Cambra		3.32%	0.767		Cambra		4.27%	1.169

VERANO	Archivo	Zona	MAPE	RMSE	OTOÑO	Archivo	Zona	MAPE	RMSE
	Energy Plus	Cocina		5.74%		2.027	Energy Plus	Cocina	
Entrada			5.36%	1.872	Entrada			8.90%	2.511
Cambra			4.93%	1.734	Cambra			7.78%	2.157
Meteo norm	Cocina		6.12%	2.163	Meteo norm	Cocina		9.25%	2.583
	Entrada		5.93%	2.102		Entrada		10.01%	2.716
	Cambra		5.20%	1.852		Cambra		8.60%	2.257
UPV	Cocina		3.72%	1.337	UPV	Cocina		3.99%	1.164
	Entrada		2.67%	0.986		Entrada		4.42%	1.242
	Cambra		3.30%	1.093		Cambra		3.08%	0.880

Tabla 33. Validación anual y promedio, refinado el modelo energético

ANUAL	Archivo	Zona	MAPE	RMSE	PROMEDIO ANUAL	Archivo	MAPE	RMSE	
	Energy Plus	Cocina		5.61%		1.726	EnergyPlus		5.80%
Entrada			6.30%	1.840	Meteonorm			6.04%	1.833
Cambra			5.50%	1.617		UPV			3.61%
Meteo norm	Cocina		5.96%	1.868					
	Entrada		6.53%	1.960					
	Cambra		5.63%	1.672					
UPV	Cocina		3.88%	1.148					
	Entrada		3.46%	1.019					
	Cambra		3.49%	0.992					

6.2 OPTIMIZACIÓN

La optimización energética no es un objetivo de este trabajo, pero se lo realiza debido a que se han planteado dos casos que pueden optimar el modelo, siendo el primero para que se mejore el comportamiento de la curva de temperatura simulada, ajustándose un poco más a la curva real, y un segundo caso, poniendo en marcha una bomba de calor para que conserve las temperaturas idóneas durante todo el año, proporcionando así calefacción y refrigeración, pero sin que esto incumpla en el límite de consumo de la actual normativa del CTE-2019 DB-HE.

6.2.1 Caudal y Rendimiento del Recuperador

Para llevar a cabo este análisis, se utiliza el archivo climatológico de la UPV, habiendo refinado el modelo. Para lo cual se realiza dos pruebas modificando el de flujo de aire que circula a través del recuperador, a un valor inferior y superior a 160 m³/h.

Al modificar el caudal del recuperador a valores que lo especifica el fabricante, se logra alcanzar la eficiencia térmica máxima del sistema, es decir, ajustando la velocidad del giro del motor del ventilador para que se suministre un flujo de aire de 141m³/h, lo que hace que el rendimiento incremente al 82%. Asimismo, si se incrementa el suministro de flujo de aire a 178 m³/h, la tasa de recuperación de calor decrecerá al 78%.

La modificación de estos valores se lo realiza en TRNFlow, cambiando el caudal de cada ventilador de la zona correspondiente a Extracción y Suministro, como se lo indica en el Anexo 1.4.2.3. Adicionalmente a esto se debe tener en consideración la variación de presión estática que tiene al modificar el caudal, como se indica en la Tabla 27. En consecuencia, para un caudal de 141 y 178 m³/h se tendrá 92 y 148 Pa, respectivamente.

Resultados

Al comparar los resultados obtenidos en el modelo inicial cuando se fijó un caudal a 160 m³/h, con los dos tipos de pruebas planteadas, se tiene que la curva de temperatura simulada en los dos casos, apenas se alcanza a distinguir de forma gráfica con la curva del modelo inicial, ya que se está incidiendo en detalles mínimos, pero que sin duda ayudan a establecer parámetros óptimos de ventilación y tomar mejores decisiones para el bienestar del usuario. Por lo tanto, para analizar que sucede con cada prueba se analizará el comportamiento de la curva simulada, a través de parámetros estadísticos.

Para un caudal de 141 m³/h, se calculan proporcionalmente los caudales para cada zona teniendo un equilibrio de flujos, como se muestra en la Tabla 34. Y conociendo que, para este caudal la tasa de recuperación de calor tiene su máximo valor, se puede determinar por criterios estadísticos que, en comparación al caudal inicial establecido, el comportamiento de la curva simulada solamente mejora en la zona de la Entrada, teniendo para las otras zonas una mayor variación de la temperatura y por consiguiente un valor menos favorable en estos criterios. Además de manera general, en un promedio de todas las zonas del edificio, se tiene que, a pesar de incrementar el rendimiento del sistema el comportamiento de la curva simulada no se ajusta de mejor manera a la curva real, como sí lo hace el modelo inicial, tal como se lo muestra en la Tabla 35.

Tabla 34. Cálculo del caudal del Recuperador para cada zona si el flujo total es 141 m³/h

Zona	Flujo de aire	Caudal _{min} (m ³ /h)	Σ (m ³ /h)	Caudal Recuperador (m ³ /h)
SalonCocina	EXTRACCIÓN	108	162	94.00
Aseo		54		47.00
Entrada	SUMINISTRO	36	90	56.40
Cambra		54		84.60
Total de cada flujo de aire				141

Tabla 35. Comportamiento anual y promedio de la curva simulada al variar el caudal a 141 m³/h

ANUAL	Caudal (m ³ /h)	η (%)	Zona	MAPE	RMSE	PROMEDIO ANUAL	Caudal (m ³ /h)	η (%)	MAPE	RMSE
	160	80	Cocina	3.88%	1.148		160	80	3.61%	1.053
Entrada			3.46%	1.019						
Cambra			3.49%	0.992						
141	82	Cocina	3.93%	1.157	141	82	3.65%	1.060		
		Entrada	3.43%	1.009						
		Cambra	3.60%	1.015						

Ahora en cambio, para un caudal de 178 m³/h, igualmente se calculan de forma proporcional los caudales para cada zona teniendo un equilibrio de los flujos, como se muestra en la Tabla 36. Y al igual que el anterior caso, en base a criterios estadísticos, como se indica en la Tabla 37, de manera general haciendo un promedio de las zonas del edificio, se puede determinar que, al incrementar el caudal de la ventilación mecánica se logra que la curva de temperatura simulada se ajuste aún más a la real, a pesar de que la tasa de recuperación de calor se reduzca, consiguiendo así que, al incrementar el caudal se ajuste mejor que el modelo inicial.

Tabla 36. Cálculo del caudal del Recuperador para cada zona si el flujo total es 178 m³/h

Zona	Flujo de aire	Caudal _{min} (m ³ /h)	Σ (m ³ /h)	Caudal Recuperador (m ³ /h)
SalonCocina	EXTRACCIÓN	108	162	118.67
Aseo		54		59.33
Entrada	SUMINISTRO	36	90	71.20
Cambra		54		106.80
Total de cada flujo de aire				178

Tabla 37. Comportamiento anual y promedio de la curva simulada al variar el caudal a 178 m³/h

ANUAL	Caudal (m ³ /h)	η (%)	Zona	MAPE	RMSE	PROMEDIO ANUAL	Caudal (m ³ /h)	η (%)	MAPE	RMSE
	160	80	Cocina	3.88%	1.148		160	80	3.61%	1.053
Entrada			3.46%	1.019						
Cambra			3.49%	0.992						
178	78	Cocina	3.85%	1.139	178	78	3.59%	1.048		
		Entrada	3.51%	1.033						
		Cambra	3.41%	0.972						

Como un ejemplo del último caso, se puede notar en la Figura 89, que durante cinco días del 3 al 7 de febrero (792-912 horas) la curva simulada con caudal de 178 m³/h, se ajusta mejor que la curva del modelo base con caudal de 160 m³/h.

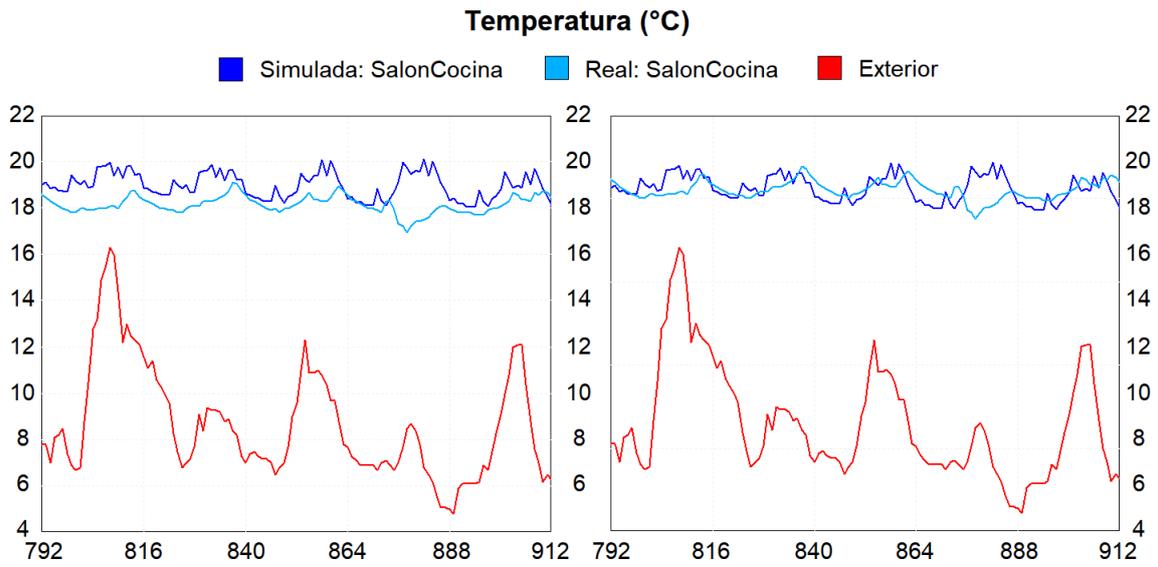


Figura 89. Comparación de variación del caudal, 160 m³/h (izq.) y 178 m³/h (der.) del 3 al 7 de febrero

6.2.2 Activación de una Bomba de Calor

Se propone la puesta en marcha de un sistema activo, debido a que el sistema de ventilación mecánica no es automático, puesto que el usuario debe estar controlando las temperaturas para la activación o desactivación del mismo, esto dificulta que siempre se pueda estar consiguiendo una adecuada ventilación para la época de verano, dado que es donde las temperaturas se salen del rango de confort. Es por ello que, se ha escogido una bomba de calor que proporcione calefacción y refrigeración durante todo el año cuando las temperaturas se salgan de un control establecido entre 19-27 °C, como se indica en la Figura 90.

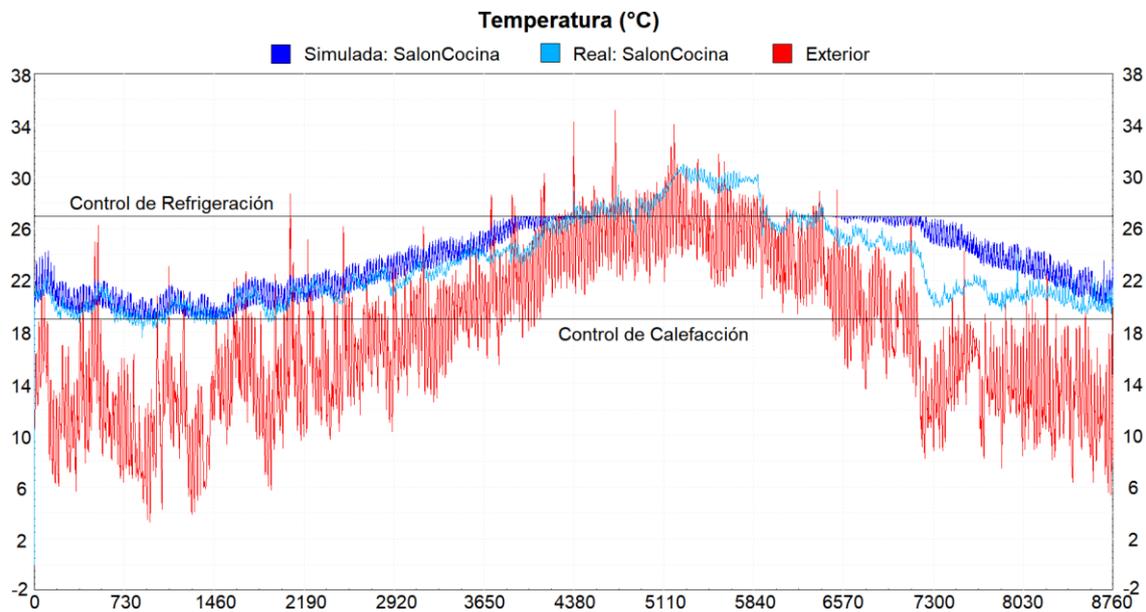


Figura 90. Control de temperaturas implementando un sistema activo

Para el cálculo de la demanda, el software ha tenido en cuenta las cargas térmicas generadas por las ganancias de calor, por ello es importante el estudio detallado del CAPÍTULO 4, debido a que el propósito de la carga térmica es calcular las condiciones pico de calefacción y refrigeración, para así estimar las capacidades de los equipos para cumplir la demanda requerida.

Al observar la demanda que se tiene por calefacción y refrigeración en la Figura 91, efectivamente se requiere más energía frigorífica para suplir las necesidades de confort en la época de verano, requiriendo 14.53 kWh/m²·año, y 1.40 kWh/m²·año para calefacción, considerando que la superficie de la vivienda es 114.64 m². De esta manera se cumple lo estipulado por el estándar Passivhaus, que fija un valor ≤ 15 kWh/m²·año para ambos casos.

Tabla 38. Energía anual demandada de calefacción y refrigeración en la vivienda

Energía	Calefacción	Refrigeración	Total
(kWh·año)	159.97	1666.01	1825.97
(kWh/m ² ·año)	1.40	14.53	15.93

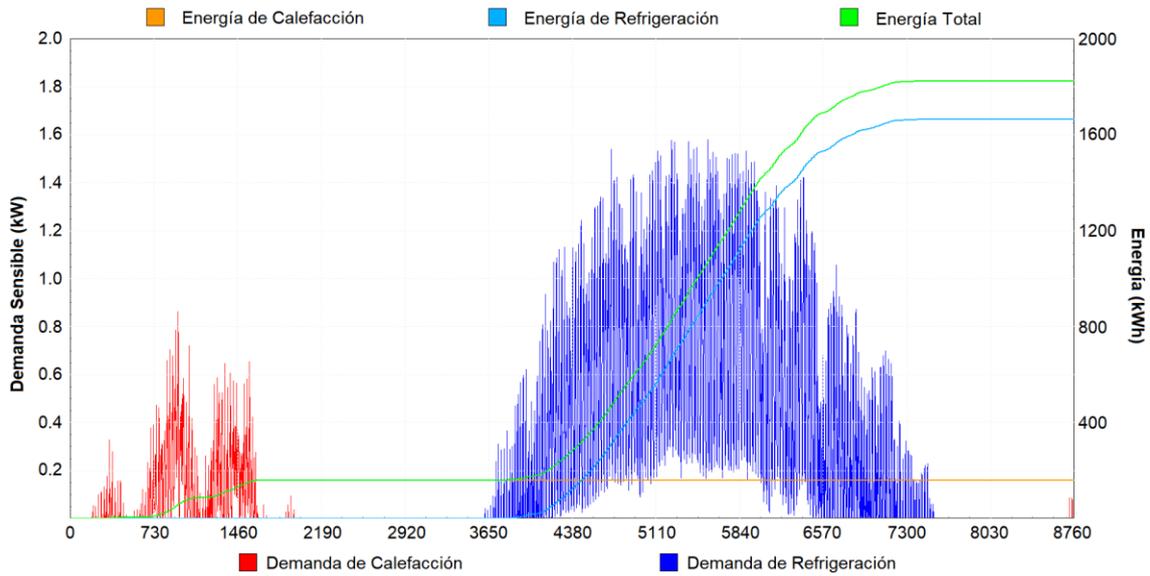


Figura 91. Demanda de calefacción, refrigeración y energía demandada de la vivienda

Tabla 39. Características de la bomba de calor

	Capacidad nominal (kWh)	Consumo nominal (kWh)	COP/EER	Representación
Calefacción	3.2	0.78	4.10	 MUZ-SF25/35/42VE2
Refrigeración	2.5	0.60	4.17	

$$COP = \frac{\dot{Q}_{heating}}{\dot{E}} = \frac{\text{Potencia de calorífica}}{\text{Energía consumida por ciclo}} \quad [23]$$

$$EER = \frac{\dot{Q}_{cooling}}{\dot{E}} = \frac{\text{Potencia de frigorífica}}{\text{Energía consumida por ciclo}} \quad [24]$$

Para calcular el consumo que demanda esta energía, se requiere el COP y EER de la bomba de calor, indicados en la Tabla 39. Y utilizando las Ecuaciones [23] y [24], se tiene que el consumo eléctrico calefacción y refrigeración es 0.34 y 3.49 kWh_{eléctricos}/m², respectivamente.

Además, en base al cálculo realizado en el CAPÍTULO 4, se tiene que el termo eléctrico consume 1121.3 kWh, que considerando la superficie de la vivienda se tendría un consumo de 9.78 kWh_{eléctricos}/m² de ACS.

Y considerando el consumo conjunto de calefacción, refrigeración y ACS, se tiene 13.61 kWh_{eléctricos}/m², que al multiplicarlos por un factor de conversión de 2.35 kWh_{EPNR}/kWh_{eléctricos}, se obtiene que el consumo de EPNR de la vivienda es de 31.98 kWh_{EPNR}/m², cumpliendo así la vigente normativa CTE-2019 DB-HE-0 que limita a 55 kWh_{EPNR}/m²·año para un edificio de uso residencial privado, en una zona climática de invierno tipo B, como la comunidad valenciana.

CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

7.1 CONCLUSIONES

Generales

Este trabajo ha sido enfocado al estudio de un modelo energético de una vivienda que utiliza un archivo climatológico propio de la zona en estudio en el que se ajusta, compara y valida con otros archivos que poseen consistencia estadística. Por esta razón, basándose en la simulación mediante software se ha determinado que la construcción de un archivo climatológico que posea datos cercanos al área de estudio es indispensable, debido a que las condiciones climatológicas cambian de un lugar al otro repercutiendo así en los resultados. Además, es relevante que los datos que se utilizan para el análisis sean lo más reciente posible, en vista de que, al utilizar un archivo con estas características como el elaborado en este trabajo con la información de la estación meteorológica de la UPV, que a pesar de carecer de consistencia estadística, los resultados obtenidos, se ajustan de mejor manera a la realidad, permitiendo así no solo realizar predicciones climatológicas en un futuro, sino que a causa del constante cambio climático que existe hoy en día, se pueda analizar el comportamiento térmico de la vivienda en momentos puntuales cuando se produzca inclemencias climáticas, y tomar las decisiones correctas para poder prevenir esta situación.

Siempre que se requiera que un modelo reproduzca la realidad se tendrá que hacer un estudio muy exhaustivo del comportamiento del mismo, para ello será muy importante conocer como está funcionando el edificio a nivel térmico, teniendo en cuenta los hábitos de uso de las personas que residen en él. De manera que, en base a un análisis energético se pueda aportar con posibles sugerencias al usuario sin que influya en confort interior, por lo cual el mismo usuario pueda optimizar la demanda energética de la vivienda sin tener que recurrir a sistemas de domotización costosos, tal y como ha ocurrido en este caso de estudio en meses de verano y otoño, en donde se estaba efectuando un uso no adecuado del control de la ventilación natural y ventilación mecánica a través de un sistema de recuperación de calor.

Específicas

En el ajuste final se puede analizar que los datos reales de temperatura tienen una mayor inercia térmica que los datos simulados (ver Figura 92), puesto que estos últimos oscilan más que los datos del sensor. Esto se debe a que en TRNBuild no se está considerando este amortiguamiento ni el desfase en la curva de temperatura, característico en la inercia térmica, dado que no se ha manipulado un parámetro denominado *Capacitance* (expresado en kJ/K), que respecto al volumen de una zona se refiere a la capacidad calorífica volumétrica $\rho \cdot c_p$ (kJ/m³·K), entendida

como la capacidad de almacenamiento de calor de un material, lo que implicaría que un valor más alto del que viene por defecto en el programa, tendría al edificio mayor tiempo conservando el equilibrio térmico. Entonces, para mejorar la conservación del almacenamiento térmico, con ello amortiguando la curva de temperatura de la simulación se tendría que caracterizar la inercia térmica del edificio, en virtud de que el programa considera al volumen contenido en las zonas como un espacio vacío sin muebles ni enseres, y en la realidad no es así porque estos conservan y retienen calor que no se está tomando en cuenta. Pese a que, mejorar este comportamiento de la curva de temperatura es ya un ajuste mínimo, realizarlo sin duda mejoraría aún más los resultados de la validación del modelo.

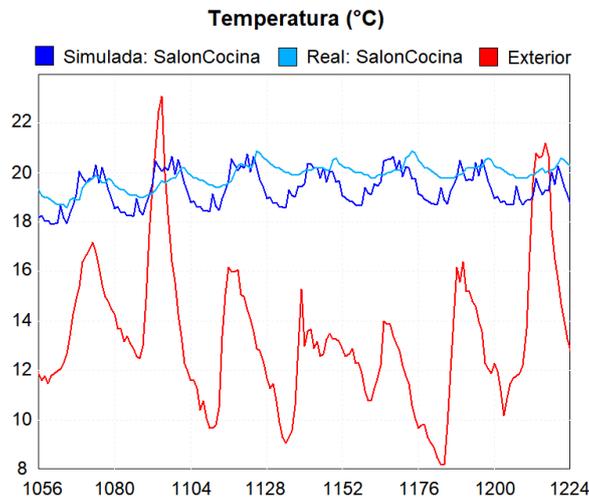


Figura 92. Inercia térmica real vivienda durante una semana de febrero

Siguiendo en la misma línea, habiendo actualizado las características constructivas del modelo después de su rehabilitación, se determina que la inercia térmica que conserva la vivienda es un factor determinante en verano, produciendo temperaturas que superan los 30 °C, consecuencia de almacenar calor durante el transcurso del día, que se lo debe en gran parte al aislamiento que se tiene por el exterior, ya que éste hace que se rompan más puentes térmicos, siendo favorable en invierno pero no del todo en verano, ya que debido al alto grado de hermeticidad al interior de la vivienda se debe realizar el uso adecuado de ventilación como se ha propuesto, puesto que de no hacerlo, se incrementan las temperaturas y se concentra un alto grado de humedad, afectando la calidad del aire interior. La otra alternativa para mantener el confort térmico en verano es, como se ha planteado en el capítulo anterior, poniendo en marcha una bomba de calor, aunque no es un aspecto alineado a una estrategia pasiva, pero no incumple el límite de consumo impuesto por la actual normativa.

7.2 TRABAJO FUTURO

El estudio del CAPÍTULO 4 se basa en el cálculo de ganancias internas que producen personas, equipos e iluminación a través de ingresar su tasa de calor, potencia y periodos de ocupación/funcionamiento en TRNSYS. Para ello se ha realizado un cálculo inverso para introducir las horas de funcionamiento apoyándose en los consumos que proporcionan las facturas de electricidad durante un año, de tal manera que se hizo una aproximación lógica del tiempo de utilización de los elementos para ajustar al consumo total.

En consecuencia, un futuro trabajo estaría enfocado en ampliar el estudio realizando un proceso automático. Para ello se debe desarrollar un algoritmo matemático que permita obtener una curva de carga automáticamente similar a la del Anexo 2.2. El algoritmo iría iterando los tiempos y potencias de un equipo de una manera razonable, teniendo en cuenta que para que la curva sea más precisa hay que considerar que no todo el tiempo un equipo hace uso su máxima potencia. Teniendo así que la energía final consumida será la sumatoria de todas las potencias empleadas durante un intervalo de tiempo, ver Ecuación [25].

$$E = \sum P \cdot \Delta t \quad [25]$$

La implementación del algoritmo se puede realizar tras llamar a programas externos desde la interfaz de Simulation Studio, entre los más conocidos EES, Excel, Matlab, de tal modo que la programación se haga en estos soportes y posteriormente se vincule el archivo a TRNSYS usando el acceso directo *Utility*.

La utilidad de esta función aparte de obtener las ganancias instantáneamente para el modelo, es poder hacer un análisis de cuantitativo de los consumos al final del año e ir comparando con el año siguiente para ir optimizando el consumo producido por los elementos de mayor valor, además de servir como opción para un posible nuevo contrato con/sin discriminación horaria que se ajuste a las necesidades y hábitos del usuario.



DOCUMENTO

ANEXOS

ANEXO 1. SIMULACIÓN DEL EDIFICIO

1.1 TRNSYS3D PARA SKETCHUP

El diseño tridimensional del edificio donde se ingresan las características geométricas se hace instalando un plugin perteneciente a TRNSYS en SketchUp, denominado Trnsys3D, complemento que sirve para la construcción de un modelo multizona para que pueda ser reconocido por el software de simulación TRNSYS17, en archivos de extensión *.idf.

Cabe indicar que, de manera general para una correcta definición de las medidas reales del edificio no se debe trabajar ni con medidas exteriores ni interiores puesto que, se sobreestima y subestima respectivamente la masa total de las paredes, por lo que se tiene un enfoque más apropiado si se mide desde la línea de centro de la pared exterior hacia la línea de centro de la pared adyacente. Pero para el caso de estudio se trabaja con superficies y volúmenes internos, ya que estos serán necesarios para los cálculos de flujo de aire en TRNFlow, por lo que las medidas empleadas son las interiores.

1.1.1 Diseño del edificio

Para crear las distintas zonas térmicas se debe hacerlo como tal con el comando *New Trnsys3d Zone*, sin olvidar que para comenzar el dibujo primero se debe entrar a la zona haciendo doble clic sobre ella y una vez ahí comenzar el dimensionado de la zona, ver Figura 93. Asimismo, para la aplicar sombreados externos como muros o paredes que no pertenezcan a ninguna zona térmica del modelo, se lo hace con el comando *New Trnsys3d Shading Group*.

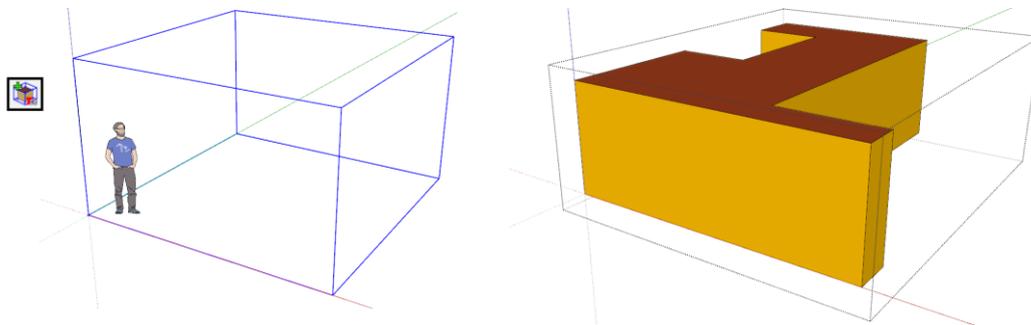


Figura 93. Creación de una zona térmica (izq.) y zona térmica finalizada (der.)

Una vez finalizada la creación de las zonas térmicas, se dibujan los huecos, donde igualmente para que puedan ser reconocidos como parte de la zona, se debe ingresar en cada una de estas y dibujarlos en la superficie que corresponde, ver Figura 94.

TIP: Para el caso de las puertas, estas no se deben dibujar desde la arista inferior de la zona, es decir, no desde el suelo de esta, ya que al importar el modelo en TRNBuild, estas no serán reconocidas, debido a que la mayoría de programas de simulación energética no admite la

incorporación de puertas como tal, ya que estas se deben considerar como huecos de ventanas. Por lo tanto, se debe dejar una mínima distancia entre el borde inferior de la zona y el comienzo del hueco (se ha dejado 0.01 m), y posteriormente en TRNBuild asignar la correspondencia transmitancia térmica del material de la puerta.

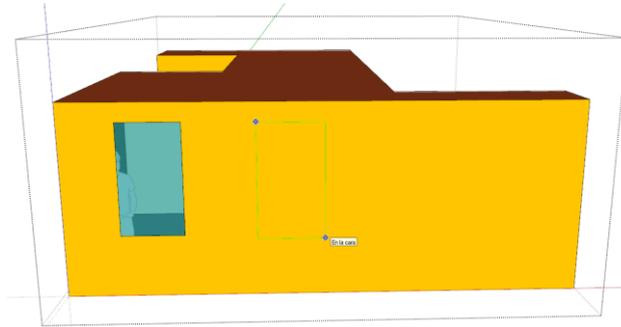


Figura 94. Creación de los huecos en la superficie de la zona térmica

Una vez finalizado el diseño del edificio en conjunto con las zonas térmicas, los huecos y los sombreados, se puede observar en la Figura 95 que no ha dibujado las escaleras, ya que estas no son trascendentes para el modelado energético en TRNBuild, aunque no por eso dejan de ser importantes cuando fluye el aire de la planta baja a la planta alta, es por esto que en TRNFlow se simula este comportamiento de conexión entre las dos plantas por medio de un ducto recto, indicado en el Anexo 1.4.

Adicionalmente, se cambia el nombre de las zonas, puesto que vienen por defecto con un código preestablecido por el programa, teniendo así finalmente 4 zonas térmicas y 3 muros de sombreado, todos con un espesor cero.

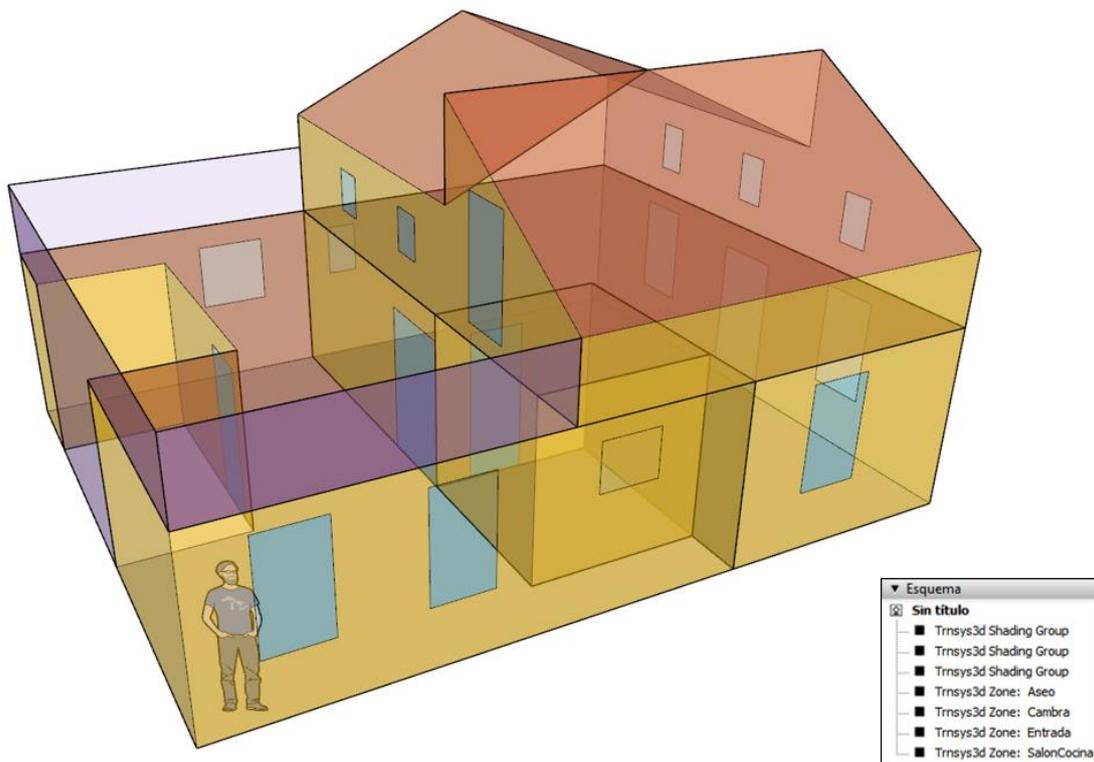


Figura 95. Diseño final 3D del edificio visto en perspectiva transparente

1.1.2 Tipos de construcción y Condiciones de adyacencia

Una vez diseñado el edificio es necesario agregar las condiciones de adyacencia que tienen las superficies de cada zona, para lo cual de manera automática se lo puede hacer con el comando *Surface Matching*, con el cual el programa considera cuál es la adyacencia entre superficies, pero se corre riesgo de que el programa establezca de forma errónea las condiciones según su interpretación, y una vez ejecutado el comando no hay como deshacer la acción. Entonces, para tener mayor seguridad en el correcto condicionamiento de la adyacencia de las superficies es mejor hacerlo manualmente.

Para lo cual, previamente se definirá los tipos de construcción con los que el programa trabaja para identificar cada tipo de cerramiento o hueco de la envolvente, para posteriormente puedan ser interpretados de manera adecuada por TRNBuild al crear el proyecto con TRNSYS. Así los tipos de construcción definidos se indican en la Figura 96. Nótese que al interior del edificio no existen ventanas interiores, pero se ha añadido un tipo de construcción *ADJ_WINDOW* la cual hará que los pórticos que conectan las zonas SalonCocina, Aseo con la Entrada se consideren como ventanas, puesto que Trnsys3D no permite que existan zonas huecas o abiertas, estas deben ser completamente cerradas, pero esto no es un inconveniente dado que, en TRNBuild se interpretará a estos pórticos como un espacio hueco por el que hay libre flujo de aire.

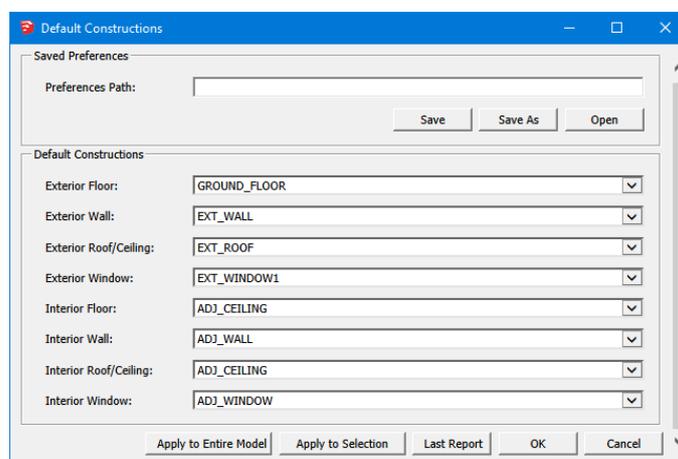


Figura 96. Tipos de Construcciones predeterminadas en Trnsys3D

La forma de establecer las adyacencias manualmente una por una en cada superficie, es mediante el comando *Object Info*, con el que para utilizarlo es necesario ingresar haciendo doble clic en cada zona, seleccionando así una superficie, y en el cuadro de diálogo del comando establecer las condiciones necesarias, ver Figura 97. Si el diseño de la zona está correctamente dibujado el programa reconoce automáticamente el *Tipo* de superficie, entonces se elige la *Construcción* a la que pertenece según la Figura 96. Por último, se elige la *Condición Límite Exterior* que puede ser de tres tipos:

- Zona (Zone)
- Exteriores (Outdoors)
- Suelo del terreno (Ground)

Y si en el caso de elegir *Zona* como condición límite, se habrá habilitado una pestaña desplegable adicional que posibilita elegir con cuál de las otras zonas creadas tiene adyacencia la superficie que haya sido seleccionada.

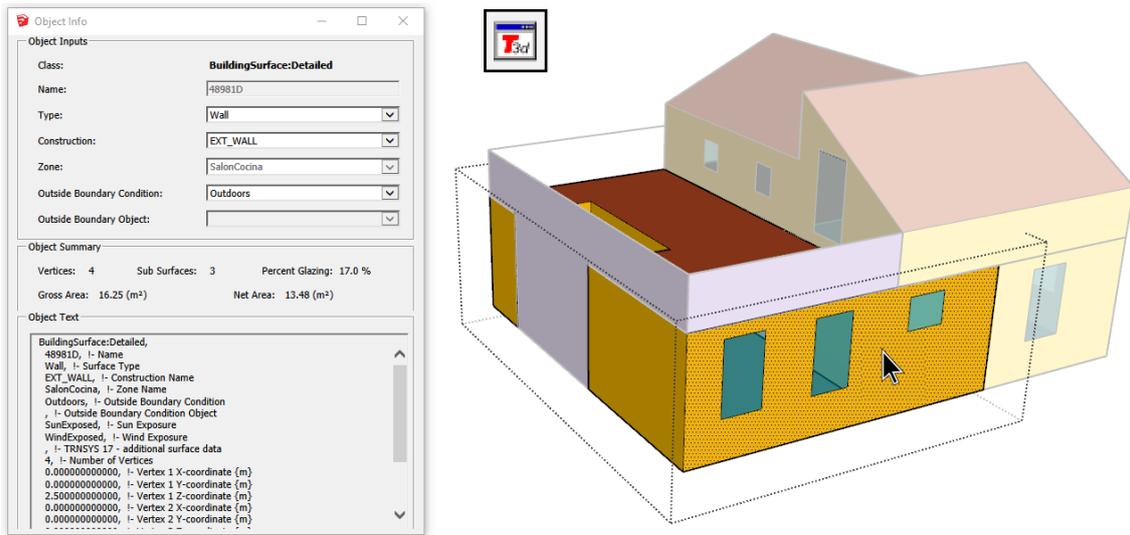


Figura 97. Definición manual de adyacencia en una superficie

Consecutivamente, habiendo realizado las adyacencias a cada superficie de las zonas, se tendrá los resultados que se muestran de la Tabla 41 a la Tabla 44, y para la representación de las superficies de sombreado en la

Tabla 45. En las tablas se muestran las respectivas adyacencias, pero para diferenciar más fácilmente estas, se puede activar un comando llamado *Render by Boundary Condition* el cual permite diferenciarlas visualmente con colores para cada tipo de *Condición Límite Exterior*, así las superficies que estén en contacto con el exterior (azul oscuro), superficies en contacto con otras zonas (rojo), superficies en contacto con el terreno (dorado) y las superficies consideradas ventanas interiores (verde).

Antes aclarar que existen tres clases de superficies, consiguiendo así haber creado en el diseño final del edificio los objetos que se muestran en la Tabla 40.

- Superficie edificada (Building Surface)
- Superficie acristalada (Fenestration Surface)
- Superficie sombreada (Shading Surface)

Tabla 40. Cantidad de objetos creados en el diseño del edificio con Trnsys3D

Objetos	Cantidad
Zonas	4
Superficie base (edificaciones)	40
Sub-superficies (acristalamientos)	20
Superficies de sombreado	3
Otros objetos	29
Total	96

Tabla 41. Condiciones de adyacencia establecidas en Trnsys3D para la zona: SalonCocina

Id.	Zona	Clase	Sección	Tipo	Construcción	Límite exterior	Zona límite
1	SalonCocina	BuildingSurface (14 superficies)	Suelo	Floor	GROUND_FLOOR	Ground	-
2			Wall	EXT_WALL	Outdoors	-	
3			Wall	ADJ_WALL	Zone	Entrada	
4			Wall	ADJ_WALL	Zone	Aseo	
5			Wall	ADJ_WALL	Zone	Aseo	
6			Wall	ADJ_WALL	Zone	Entrada	
7			Wall	EXT_WALL	Outdoors	-	
8			Wall	EXT_WALL	Outdoors	-	
9			Wall	EXT_WALL	Outdoors	-	
10			Wall	EXT_WALL	Outdoors	-	
11			Wall	EXT_WALL	Outdoors	-	
12			Wall	EXT_WALL	Outdoors	-	
13			Techo	Roof	EXT_ROOF	Outdoors	-
14			Ceiling	ADJ_CEILING	Zone	Cambra	
15		FenestrationSurface (6 sub-superficies)	Ventana	Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
16				Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
17				Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
18				Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
19			Puerta	Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
20			Pórtico	Window	ADJ_WINDOW	Zone	Entrada

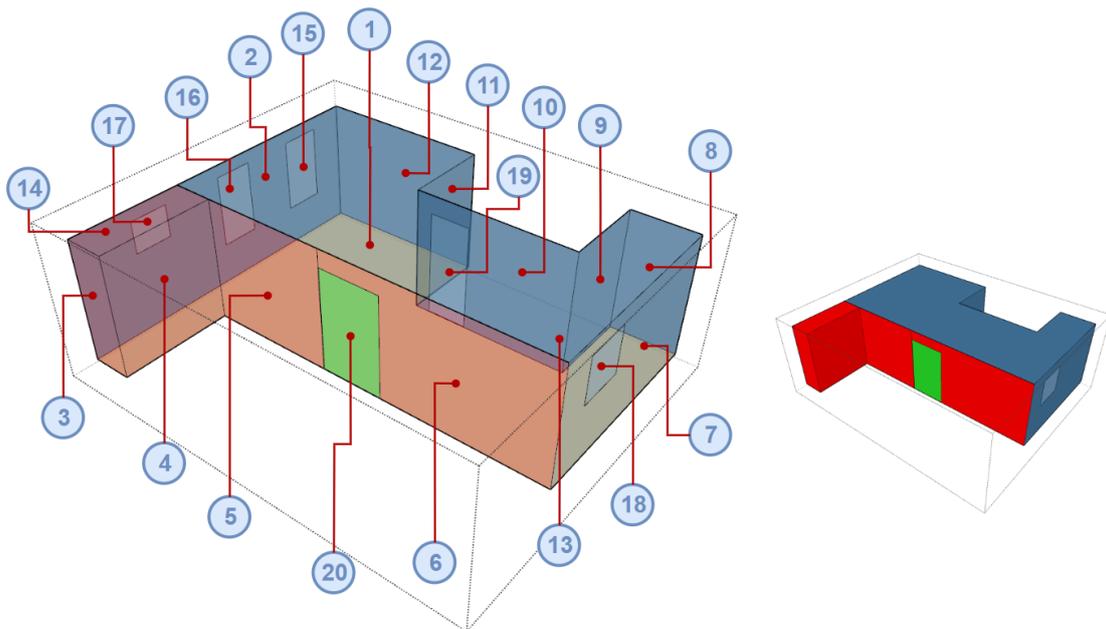


Figura 98. Identificación de las adyacencia para la zona SalonCocina

Tabla 42. Condiciones de adyacencia establecidas en Trnsys3D para la zona: Aseo

Id.	Zona	Clase	Sección	Tipo	Construcción	Límite exterior	Zona límite
21	Aseo	BuildingSurface (6 superficies)	Suelo	Floor	GROUND_FLOOR	Ground	-
22			Pared	Wall	ADJ_WALL	Zone	SalonCocina
23				Wall	ADJ_WALL	Zone	Entrada
24				Wall	ADJ_WALL	Zone	Entrada
25				Wall	ADJ_WALL	Zone	SalonCocina
26				Techo	Ceiling	ADJ_CEILING	Zone
27		FenestrationSurface (1 sub-superficie)	Pórtico	Window	ADJ_WINDOW	Zone	Entrada

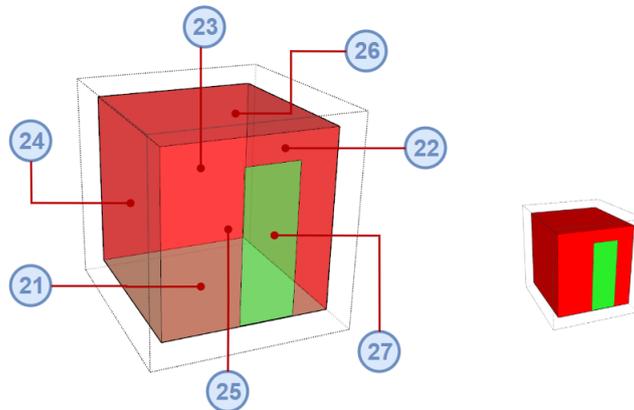


Figura 99. Identificación de las adyacencia para la zona Aseo

Tabla 43. Condiciones de adyacencia establecidas en Trnsys3D para la zona: Entrada

Id.	Zona	Clase	Sección	Tipo	Construcción	Límite exterior	Zona límite
28	Entrada	BuildingSurface (9 superficies)	Suelo	Floor	GROUND_FLOOR	Ground	-
29			Pared	Wall	EXT_WALL	Outdoors	-
30				Wall	EXT_WALL	Outdoors	-
31				Wall	EXT_WALL	Outdoors	-
32				Wall	ADJ_WALL	Zone	SalonCocina
33				Wall	ADJ_WALL	Zone	Aseo
34				Wall	ADJ_WALL	Zone	Aseo
35				Wall	ADJ_WALL	Zone	SalonCocina
36			Techo	Ceiling	ADJ_CEILING	Zone	Cambra
37		FenestrationSurface (7 sub-superficies)	Ventana	Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
38				Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
39				Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
40				Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
41			Puerta	Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
42			Pórtico	Window	ADJ_WINDOW	Zone	Aseo
43				Window	ADJ_WINDOW	Zone	SalonCocina

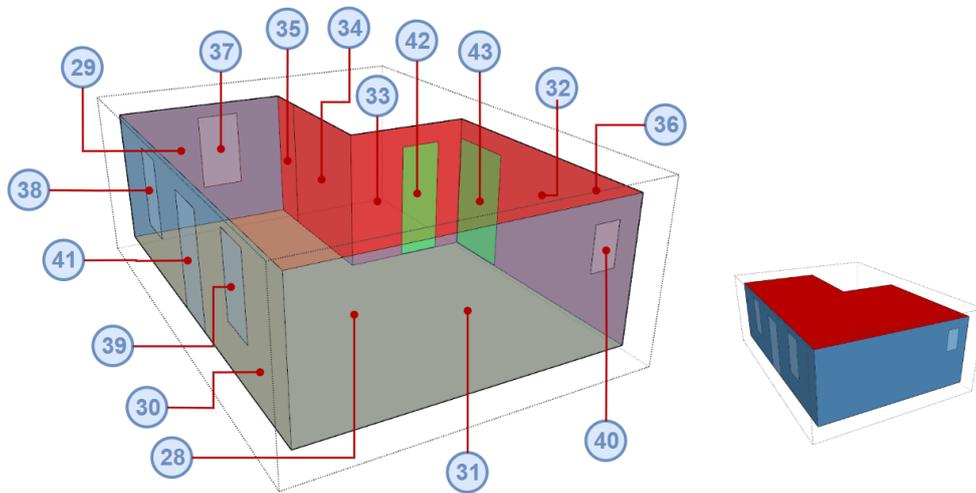


Figura 100. Identificación de las adyacencia para la zona Entrada

Tabla 44. Condiciones de adyacencia establecidas en Trnsys3D para la zona: Cambra

Id.	Zona	Clase	Sección	Tipo	Construcción	Límite exterior	Zona límite
44	Cambra	BuildingSurface (11 superficies)	Suelo	Floor	ADJ_CEILING	Zone	SalonCocina
45				Floor	ADJ_CEILING	Zone	Aseo
46				Floor	ADJ_CEILING	Zone	Entrada
47			Pared	Wall	EXT_WALL	Outdoors	-
48				Wall	EXT_WALL	Outdoors	-
49				Wall	EXT_WALL	Outdoors	-
50				Wall	EXT_WALL	Outdoors	-
51				Wall	EXT_WALL	Outdoors	-
52			Techo	Roof	EXT_ROOF	Outdoors	-
53				Roof	EXT_ROOF	Outdoors	-
54				Roof	EXT_ROOF	Outdoors	-
55		FenestrationSurface (6 sub-superficies)	Ventana	Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
56				Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
57				Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
58				Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
59				Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-
60				Window	EXT_WINDOW1	Outdoors	-

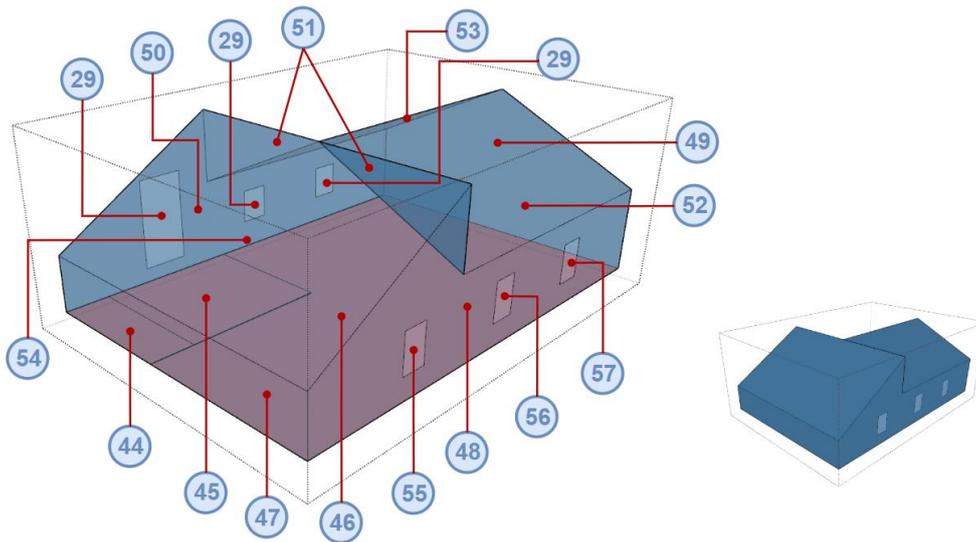
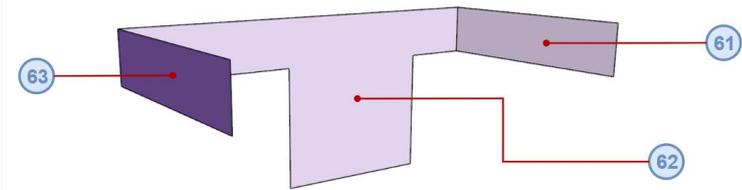


Figura 101. Identificación de las adyacencia para la zona Cambra

Tabla 45. Representación de las superficies de sombreamientos en Trnsys3D

Id.	Clase	Tipo	Representación
61	ShadingBuilding (3 superficies)	Sombreamiento	
62			
63			

Finalmente, para comprobar que se ha hecho adecuadamente las adyacencias se puede usar el comando *Search Surfaces* que indicará por separado cada clase de superficie (*Building Surface*, *Fenestration Surface* y *Shading Surface*), en la que a su vez se puede elegir el *Tipo* de superficie, la *Construcción* y si se quiere ser más específico la *Condición Límite Exterior*, logrado así verificar que se ha realizado correctamente las adyacencias, ver Figura 102.

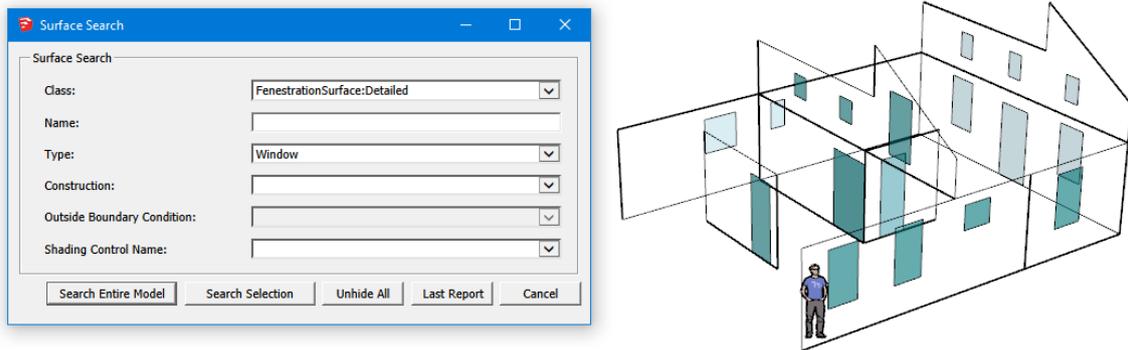


Figura 102. Comprobación de la adyacencia en una superficie

1.2 SIMULATION STUDIO

Esta herramienta es parte del software que conforma a TRNSYS, dentro de esta herramienta se tiene una plataforma llamada *Deck*, que es donde se conectan los componentes necesarios para que el modelo funcione con todas las condiciones reales que le afectan energéticamente, partiendo del modelo 3D creado en *Trnsys3D para SketchUp*, que se importa a esta plataforma.

1.2.1 Creación del proyecto

Una vez creado el modelo en *Trnsys3D* con formato *.idf se puede importar dicho archivo a TRNSYS17 Simulation Studio, haciendo clic en *New* en la barra de menú del programa, y a través del asistente del software se selecciona *3D Building Project (multizone)*. Seguidamente se carga el archivo climatológico, que también se lo puede vincular posteriormente cuando se haya creado el proyecto en el *Type* correspondiente a su fuente de procedencia. Por último, se selecciona el archivo *.idf proveniente *Trnsys3D* (ver Figura 103), en donde si el modelo tuviera alguna observación o error se indica en esta parte, como por ejemplo si no está correctamente definidas las zonas o si las adyacencias entre superficies no son las correctas.

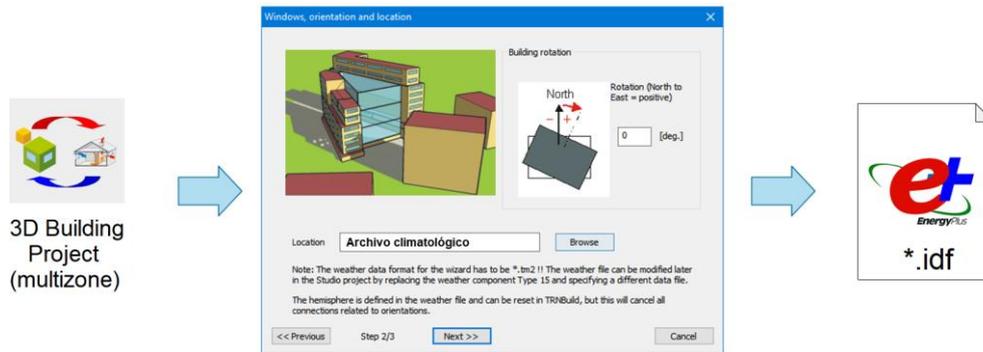


Figura 103. Creación del modelo con Simulation Studio

Luego de crear el proyecto, se generan archivos adicionales automáticamente en la carpeta donde se guarda el modelo *.idf, que son para el correcto funcionamiento del proyecto, siendo el archivo de extensión *.b17, el cual registra toda la información agregada respecto a los elementos constructivos, parte de las ganancias térmicas, y el control de los flujos de aire realizados con TRNFlow. Si se ha modificado un modelo en Simulation Studio pero se requiere utilizar las características del archivo *.b17, basta solo con copiar este último a la carpeta del nuevo modelo.

Nombre	Tipo	Tamaño
Modelo3.b17	TRNBuild Building File	36 KB
MODELO3.bld	Archivo BLD	19 KB
Modelo3.dck	TRNSYS Input File	10 KB
Modelo3.idf	EnergyPlus Input Data File	87 KB
Modelo3.inf	Información sobre la instalación	59 KB
Modelo3.log	Documento de texto	1 KB
MODELO3.trn	Archivo TRN	2 KB
Modelo3_b17.idf	EnergyPlus Input Data File	88 KB
Modelo3_imported.tpf	TRNSYS Studio Project	179 KB
Modelo3_trnsidf.log	Documento de texto	5 KB

Figura 104. Archivos generados al crear un proyecto en TRNSYS

1.2.2 Tipos utilizados en el modelo

Las unidades utilizadas en el modelo energético son *Type* y *Equation*, como indica la Tabla 46.

Tabla 46. Tipos utilizados en el modelo energético de TRNSYS

Imagen	Unidad	Denominación	Funcionalidad
Loads and Structures			
	Type56-TRNFlow	Building	Asocia el modelo de Simulation Studio con TRNBuild, permitiendo ingresar elementos constructivos, ganancias de calor y controles del flujo de aire a través de TRNFlow
Weather Data Reading and Processing			
	Type15-3	EnergyPlus	Contiene el archivo climatológico nombrado: ESP_Valencia.082840_IWEC.epw
	Type15-6	Meteonorm	Contiene el archivo climatológico nombrado: ES-Valencia-Airp-82840.tm2
	Type99	UPV	Contiene el archivo climatológico nombrado: Estación-VLC-UPV-2018.f90
		Sensores (T-HR)	Contiene el archivo de los sensores nombrado: Sensores-Alquería-T-HR.f90
Physical Phenomena			
	Type77	Soil temperature	Modela la distribución vertical de la temperatura del suelo
	Type33e	Absolute humidity	Por psicrometría se obtiene la humedad absoluta del aire, a partir de conocer la temperatura de bulbo seco y humedad relativa del aire húmedo, en un instante dado
Utility			
	Type14h	HD_Cocina_3h	Horario diario de la cocina en invierno
		HD_Cocina_2h	Horario diario de la cocina en verano
		HD_Frigorifico_8h	Horario diario del frigorífico en invierno
		HD_Frigorifico_10h	Horario diario del frigorífico en verano
		HA_Convector_3h11d_Salon	Horario anual del convector en el SalonCocina
		HA_Convector_2h11d_Cambra	Horario anual del convector en la Cambra
		HD_Iluminacion_5h	Horario diario de la iluminación en invierno
		HD_Iluminacion_4h	Horario diario de la iluminación en verano
		H_Transición	Horario anual de la época de transición
		H_Verano	Horario anual de la época de verano
		H_Invierno	Horario anual de la época de invierno
		H_Extra1	Horario anual desde 7170 a 8090 horas
		H_Extra2	Horario anual desde 5100 a 5880 horas
	Type24	Type24	Integra la energía sensible demandada para cada zona
		Type24-2	Integra la energía sensible demandada para calefacción y refrigeración
	Type57	kJ/h - W	Conversión de unidades de demanda sensible
		kJ/h - W-2	Conversión de unidades de ganancias convectivas y radiantes

Imagen	Unidad	Denominación	Funcionalidad
Controllers			
	Type2d	Lights	Control Solver 0 (Successive Substitution). Controla de la luz del día en función de la radiación horizontal sobre una superficie inclinada (IT_H_0_0)
Output			
	Type65c	Irradiation	Imprime los resultados de la radiación inclinada (IT) y la radiación directa (IB) sobre todas las superficies de fachadas del edificio
		Temperature	Imprime los resultados simulados de la temperatura interior de todas las zonas térmicas, la curva de temperatura de los datos registrados por los 5 sensores y los datos de la temperatura exterior
		Relative Humidity	Imprime los resultados simulados de la humedad relativa interior de todas las zonas térmicas, la curva de humedad relativa de los datos registrados por los 5 sensores y los datos de la humedad relativa exterior
		QDemSens	Imprime los resultados de demanda de calefacción y refrigeración sensible para cada zona térmica
		Power-Energy All	Imprime los resultados de demanda de calefacción y refrigeración sensible total y la energía demandada total de las mismas
		Gain Conv-Rad	Imprime los resultados de las ganancias convectivas y radiantes para cada zona
		Total Gain	Imprime los resultados de las ganancias convectivas y radiantes totales
		Ventilation	Imprime los resultados de activación de la ventilación natural y mecánica, además del comportamiento de la temperatura de suministro de aire a través del recuperador
	Type125	Temperatura3D	Imprime los resultados de la simulación de las temperaturas a un archivo *.eso para visualizarlo en Trnsys3D
Otros			
	Equation	Azimuth Angles	Calcula los ángulos azimuth de orientación
		Radiation	Calcula parámetros de radiación directa e inclinada de todas las superficies del edificio
		Wizard settings	Calcula variables de sombreado y luz solar
		Operating hours	Controla horas de funcionamiento de equipos
		Heat Recovery Ventilator	Controla la ventilación natural y mecánica en función de la estación y las temperaturas
		Demand	Calcula la demanda total de calefac. y refriger.
		Demand Sensible	Calcula la demanda sensible para cada zona
		Gain	Calcula la ganancia convectiva y radiante total
	Macro	Appliance Operation	Agrupar la <i>Equation</i> "Operating hours" conjuntamente con los horarios variables de funcionamiento de equipos e iluminación

1.2.3 Conexiones a considerar

Type15-3, Type15-6, Type99

Una vez generado el proyecto con el asistente del software, automáticamente se crean conexiones básicas utilizando un lector de datos climatológicos (*Weather Data Reading*) llamado Type15-2 que funciona exactamente igual al Type15-6 que es el componente original de lectura de datos de Meteonorm, que se lo proporciona como un componente por separado simplemente por familiaridad del usuario. En el Capítulo 5.5, se explica cómo se tiene que reemplazar este *Type* por los otros lectores que usan los archivos climáticos de estudio. Ellos se encuentran en la carpeta biblioteca *Weather Data Reading and Processing*. Adicionalmente, para adjuntar el archivo climatológico en el *Type* correspondiente, se lo vincula ingresando desde la pestaña *External Files* en la opción buscar, como se indica en la Figura 105.

Para el caso del archivo climatológico de la UPV previamente se requiere preparar el archivo con un formato específico para que pueda ser leído por el componente Type99, como se indica en el Capítulo 2.5. El propósito de este *Type* y los otros lectores es proporcionar las variables climatológicas para el cálculo interno de las condiciones interiores en el modelo energético.

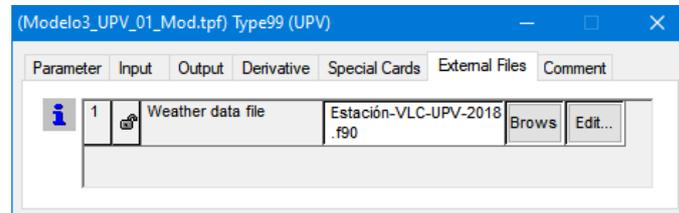


Figura 105. Vinculación del archivo climatológico al Type respectivo

Type65c

Se usa este plotter para poder observar los resultados gráficamente y para después de correr la simulación visualizarlos numéricamente en un archivo generado de Excel, que desde la pestaña *External Files* del mismo *Type* se le da un nombre al archivo que será guardado en la ruta donde constan todos los demás archivos de esta simulación. Para ello, previamente se deben vincular las variables de salida del *Building* o del componente que se quiera mostrar los resultados.

Type77

Este componente se agrega para modelar la distribución vertical de la temperatura del suelo proporcionando los siguientes datos:

- La temperatura media de la superficie del suelo para el año (T_{mean})
- La amplitud de la temperatura de la superficie del suelo para el año (T_{amp})
- La diferencia de tiempo entre el comienzo del año calendario y la ocurrencia de la temperatura mínima de la superficie (t_{shift})
- El tiempo presente (t_{now})
- La profundidad a la que se realiza el análisis (*depth*)
- Difusividad térmica del suelo (α)

Para conocer la temperatura del suelo primero se debe buscar el tipo de material de éste, y se lo ha realizado tomando como fuente el IGME (Instituto Geológico y Minero de España) ya que se puede obtener la composición del tipo de suelo con más precisión. Una vez determinado el material, corresponde buscar las propiedades para la difusión térmica.

Para este caso, se desea analizar el comportamiento de la temperatura de una instalación pequeña, por tal el valor de las propiedades de la difusividad térmica del suelo se lo obtiene del Catálogo de Elementos Constructivos CTE, pero cuando este análisis se lo realiza a gran escala es necesario hacer un sondeo denominado Test In Situ³³, puesto que, este valor puede afectar significativamente a la simulación de los resultados.

Conociendo que el tipo de suelo donde se ubica el edificio es arcilla o limo, y utilizando la Ecuación [26], se tiene que la difusividad tiene un valor de 0.0414 m²/día.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c_p} \quad [26]$$

$$\alpha = \frac{5.4 \frac{\text{kJ}}{\text{h} \cdot \text{m} \cdot \text{K}}}{1500 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot 2.085 \frac{\text{kJ}}{\text{kg} \cdot \text{K}}}$$

$$\alpha = 0.0414 \frac{\text{m}^2}{\text{día}}$$

Antes primero, se ha realizado un estudio a partir de los datos de temperatura proporcionados por el archivo climatológico, y se ha determinado las otras variables requeridas para el modelado de la distribución vertical de la temperatura del suelo. Es así que, se puede encontrar el perfil de temperatura del suelo con la Ecuación [27]. La temperatura del suelo sin perturbar variará dependiendo del día del año y de la profundidad que se requiera analizar. Por ejemplo, se determina que para el día número 90 del año y a una profundidad de 0.25 m, la temperatura del suelo estará en 11.18 °C.

$$T = T_{mean} - T_{amp} \cdot e^{\left[-depth \cdot \left(\frac{\pi}{365\alpha} \right)^{0.5} \right]} \cdot \cos \left\{ \frac{2\pi}{365} \cdot \left[t_{now} - t_{shift} - \frac{depth}{2} \cdot \left(\frac{365}{\pi\alpha} \right)^{0.5} \right] \right\} \quad [27]$$

$$T = 18.14 - 11.17 \cdot e^{\left[-0.25 \cdot \left(\frac{\pi}{365 \cdot 0.0414} \right)^{0.5} \right]} \cdot \cos \left\{ \frac{2\pi}{365} \cdot \left[90 - 37 - \frac{0.25}{2} \cdot \left(\frac{365}{0.0414\pi} \right)^{0.5} \right] \right\}$$

$$T = 11.18^\circ\text{C}$$

Teniendo en cuenta que, la temperatura del suelo es una función de estos dos últimos parámetros, se puede observar que respecto al tiempo y a medida que la profundidad (*depth*) del análisis aumenta, la curva del perfil de temperatura del suelo tiende cada vez más a reducir su amplitud (máxima temperatura del aire menos la temperatura superficial media), hasta llegar a estabilizarse a una profundidad que ya no variará significativamente su temperatura, entonces

³³ Test de respuesta rápida, llevado a cabo en un laboratorio móvil que se encarga de la medición de la conductividad térmica en el sitio mismo de estudio, de donde se analizan los datos y se entrega un informe.

una vez llegado a ese punto, se habrá encontrado la temperatura media de suelo a lo largo de todo el año, como se muestra en la Figura 106.

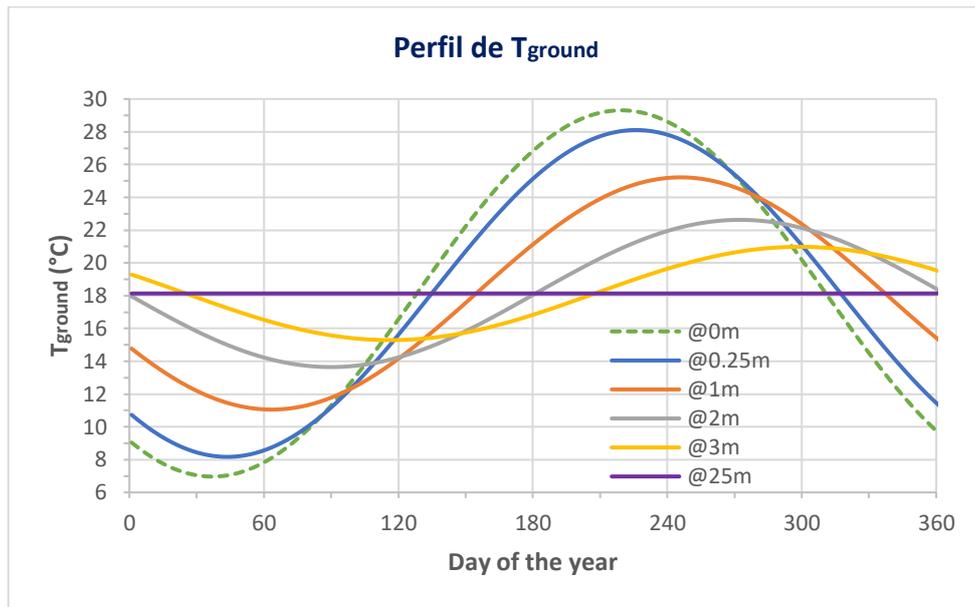


Figura 106. Perfil de temperatura del suelo en función del día del año

Otro análisis, es un perfil como una función respecto a la profundidad para las diferentes estaciones del año, como se puede observar en la Figura 107, que en el invierno la temperatura superficial es la más baja y para el verano alcanza un valor máximo. En cuanto a las estaciones intermedias como son primavera y otoño la temperatura superficial varía muy rápidamente, es decir se calentará y enfriará respectivamente. Esto permite determinar que aproximadamente la profundidad del suelo a la que el perfil de temperatura ya no tendrá un cambio importante será a los 10 m, pero seguirá estabilizándose a medida que incremente esta profundidad.

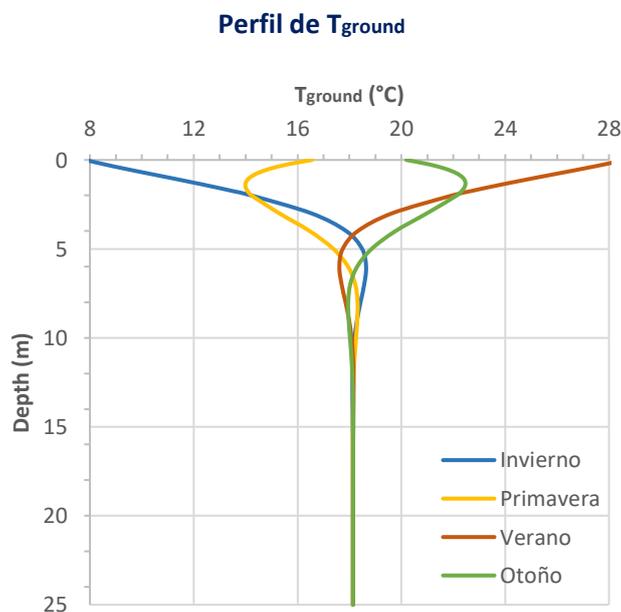


Figura 107. Perfil de temperatura del suelo en función de la profundidad

Ahora bien, en base al estudio realizado para el Type77, los valores que se ingresan en el programa se muestran en la Figura 108.

Parameter	Name	Value	Unit	More...	Macro
1	Number of temperature nodes	1	-	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
2	Mean surface temperature	18.14	C	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
3	Amplitude of surface temperature	11.17	deltaC	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
4	Time shift	37	day	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
5	Soil thermal conductivity	1.5	W/m.K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
6	Soil density	1500	kg/m³	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
7	Soil specific heat	2085	J/kg.K	More...	<input checked="" type="checkbox"/>
8	Depth at point	0.3	m	More...	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura 108. Parámetros requeridos para calcular la temperatura de suelo

1.2.4 Ecuaciones

Estas se almacenan en las *Equations*, y basan su escritura usando operaciones lógicas del lenguaje de Fortran. Se tiene ecuaciones que calculan parámetros o controlan variables de funcionamiento del modelo.

1.2.4.1 Operating hours

Esta controla las horas de funcionamiento de equipos e iluminación, en donde las entradas que posee corresponden a las siguientes:

- CO3: Horario diario de la cocina en invierno, funcionando 3 horas
- CO2: Horario diario de la cocina en verano, funcionando 2 horas
- FR8: Horario diario del frigorífico en invierno, funcionando 8 horas
- FR10: Horario diario del frigorífico en verano, funcionando 10 horas
- CV3: Horario del convector en el SalonCocina, funcionando 3 horas durante 11 días
- CV2: Horario del convector en la Cambra, funcionando 2 horas durante 11 días
- IL5: Horario diario de la iluminación en invierno, funcionando 5 horas
- IL4: Horario diario de la iluminación en verano, funcionando 4 horas

$H_Cocina = ((GE(4200,time) + (LE(6553,time)*GE(8760,time)))) * CO3 + (LE(4201,time)*GE(6552,time)) * CO2$ $H_Frigorifico = ((GE(2736,time) + (LE(6553,time)*GE(8760,time)))) * FR8 + (LE(2737,time)*GE(6552,time)) * FR10$ $H_Convector_Salon = CV3$ $H_Convector_Cambra = CV2$ $H_Iluminacion = (GE(2136,time) + (LE(7297,time)*GE(8760,time))) * IL5 + (LE(2137,time)*GE(7296,time)) * IL4$	Grupo de Ecuaciones [28]
---	--------------------------

1.2.4.2 Gain

Esta calcula las ganancias convectivas y radiantes totales considerando las de cada zona térmica, en donde las entradas que posee corresponden a las siguientes:

- QGConv: Ganancias convectivas en la zona especificada
- QGRad: Ganancias radiantes en la zona especificada

$\begin{aligned} \text{Total_QGainConvectio} &= (\text{QGConv_SalonCocina} + \text{QGConv_Aseo} + \\ &\quad + \text{QGConv_Entrada} + \text{QGConv_Cambra}) * 0.2777 \\ \text{Total_QGainRadiation} &= (\text{QGRad_SalonCocina} + \text{QGRad_Aseo} + \\ &\quad + \text{QGRad_Entrada} + \text{QGRad_Cambra}) * 0.2777 \\ \text{Total_QGain} &= \text{Total_QGainConvectio} + \text{Total_QGainRadiation} \end{aligned}$	Grupo de Ecuaciones [29]
--	-----------------------------

1.2.4.3 Heat Recovery Ventilator

El control de la ventilación natural y mecánica en función de la estación del año y la temperatura exterior (T_{ODA}) e interior (T_{ETA}) se define en esta Equation, que vincula las ecuaciones al componente *Building* para conjuntamente completar el control de la ventilación natural y mecánica con la herramienta TRNFlow, en la que se apertura puertas y ventanas para la primera, y se controla el caudal, suministro y extracción de aire para la segunda.

Las entradas ocupadas corresponden a:

- T_Aseo: Temperatura simulada en la zona Aseo
- T_SalonCocina: Temperatura simulada en la zona SalonCocina
- Rend: Tasa de recuperación de calor del sistema de ventilación mecánica
- T_eta: Temperatura de extracción del aire o temperatura interior del edificio
- T_oda: Temperatura del exterior o ambiente
- H_Transicion: Horario anual de la época de transición
- H_Verano: Horario anual de la época de verano
- H_Invierno: Horario anual de la época de invierno
- H_Extra1: Horario anual desde 7170 a 8090 horas (aprox. desde fines de octubre)
- H_Extra2: Horario anual desde 5100 a 5880 horas (aprox. agosto)

Donde, dependiendo del tipo de ajuste realizado en el Capítulo 5.3 y 5.4, se utilizan las siguientes ecuaciones para los casos:

Ventilación natural (únicamente)

$\begin{aligned} V_{\text{Natural}} &= 1 \\ V_{\text{Mecanica}} &= 0 \end{aligned}$	Grupo de Ecuaciones [30]
---	-----------------------------

Ventilación mecánica (únicamente)

$T_{\eta} = (T_{\text{Aseo}} \cdot 14.38 + T_{\text{SalonCocina}} \cdot 73.95) / 88.33$ $\text{Rend} = 0.8$ $T_{\text{sup}} = \text{Rend} \cdot (T_{\eta} - T_{\text{oda}}) + T_{\text{oda}}$ $V_{\text{Natural}} = 0$ $V_{\text{Mecanica}} = 1$	Grupo de Ecuaciones [31]
--	--------------------------

Proceso combinado (VN + VM) optimizado

$T_{\eta} = (T_{\text{Aseo}} \cdot 14.38 + T_{\text{SalonCocina}} \cdot 73.95) / 88.33$ $\text{Rend} = 0.8$ $T_{\text{sup}} = \text{Rend} \cdot (T_{\eta} - T_{\text{oda}}) + T_{\text{oda}}$ $V_{\text{Natural}} = \text{GE}(T_{\text{oda}}, 21) \cdot \text{GE}(28, T_{\text{oda}}) \cdot H_{\text{Transicion}} +$ $+ \text{GE}(T_{\text{oda}}, 21) \cdot \text{GE}(29, T_{\text{oda}}) \cdot H_{\text{Verano}}$ $V_{\text{Mecanica}} = H_{\text{Invierno}} +$ $+ (\text{LT}(T_{\text{oda}}, 21) + \text{GT}(T_{\text{oda}}, 28) \cdot \text{GT}(T_{\text{oda}}, T_{\eta})) \cdot H_{\text{Transicion}} +$ $+ (\text{LT}(T_{\text{oda}}, 21) + \text{GT}(T_{\text{oda}}, 29) \cdot \text{GT}(T_{\text{oda}}, T_{\eta})) \cdot H_{\text{Verano}}$	Grupo de Ecuaciones [32]
--	--------------------------

Proceso combinado (VN + VM) cambiando hábitos energéticos

$T_{\eta} = (T_{\text{Aseo}} \cdot 14.38 + T_{\text{SalonCocina}} \cdot 73.95) / 88.33$ $\text{Rend} = 0.8$ $T_{\text{sup}} = \text{Rend} \cdot (T_{\eta} - T_{\text{oda}}) + T_{\text{oda}}$ $V_{\text{Natural}} = V_{\text{Natural1}} \cdot (H_{\text{Transicion}} + H_{\text{Verano}} + H_{\text{Invierno}}) +$ $+ V_{\text{Natural2}} \cdot (H_{\text{Extra1}} + H_{\text{Extra2}})$ $V_{\text{Natural1}} = \text{GE}(T_{\text{oda}}, 21) \cdot \text{GE}(28, T_{\text{oda}}) \cdot H_{\text{Transicion}} +$ $+ \text{GE}(T_{\text{oda}}, 21) \cdot \text{GE}(29, T_{\text{oda}}) \cdot H_{\text{Verano}}$ $V_{\text{Natural2}} = 0.05$ $V_{\text{Mecanica}} = H_{\text{Invierno}} +$ $+ (\text{LT}(T_{\text{oda}}, 21) + \text{GT}(T_{\text{oda}}, 28) \cdot \text{GT}(T_{\text{oda}}, T_{\eta})) \cdot H_{\text{Transicion}} +$ $+ (\text{LT}(T_{\text{oda}}, 21) + \text{GT}(T_{\text{oda}}, 29) \cdot \text{GT}(T_{\text{oda}}, T_{\eta})) \cdot H_{\text{Verano}}$	Grupo de Ecuaciones [33]
---	--------------------------

1.2.4.4 Demand

Esta calcula las demandas de calefacción y refrigeración totales considerando las de cada zona térmica, en donde las entradas que posee corresponden a las siguientes:

- QHeat: Demanda de calefacción en la zona especificada
- QCool: Demanda de refrigeración en la zona especificada

$$\begin{aligned} \text{Total_QHeating} &= (\text{QHeat_SalonCocina} + \text{QHeat_Aseo} + \\ &\quad + \text{QHeat_Entrada} + \text{QHeat_Cambra}) / 3600 \\ \text{Total_QCooling} &= (\text{QCool_SalonCocina} + \text{QCool_Aseo} + \\ &\quad + \text{QCool_Entrada} + \text{QCool_Cambra}) / 3600 \\ \text{Total_QSensible} &= \text{Total_QHeating} + \text{Total_QCooling} \end{aligned}$$

Grupo de Ecuaciones
[34]

1.3 TRNBUILD

Es una herramienta en la que se puede importar superficies tridimensionales desde la herramienta *Trnsys3d para SketchUp*, en lugar de crearlas manualmente desde TRNBuild mismo, pero con la desventaja que no se podría divisar las dimensiones y formas de las superficies ya que se agrega características que no tienen que ver con la geometría del edificio, incorporando así, materiales, cerramientos, horarios, ganancias de calor interna, calefacción, refrigeración, controles [11]. Asimismo, esta herramienta alberga a TRNFlow desde donde se controlará la ventilación natural y mecánica.

Hay que tener en cuenta que, apenas se crea el proyecto aparece predeterminadamente conexiones entre los componentes internos. El componente *Building* que aparece por defecto no es el usado para el fin de este trabajo ya que más adelante se interactuará con el complemento TRNFlow, por lo cual debe ser un componente compatible con esta herramienta de simulación. Por lo tanto, se debe ser reemplazado haciendo clic derecho sobre él y seleccionando *Replace*, y siguiendo el enlace "*C:\Trnsys17\Studio\Proformas\Loads and Structures\Multi-Zone Building with Air Flow (TRNFlow)*" escoger el archivo *Type56-TRNFlow.tmf*. De esta manera, los parámetros internos de cálculo se asocian con TRNFlow siendo compatible para para la simulación, y con esto también cambia el ícono del complemento. (ver Figura 109). Además, desde la pestaña *External Files* del mismo Type56 no se debe omitir agregar el archivo *.b17 creado en un inicio automáticamente por el programa, ya que al ser reemplazado, el archivo también lo hace.

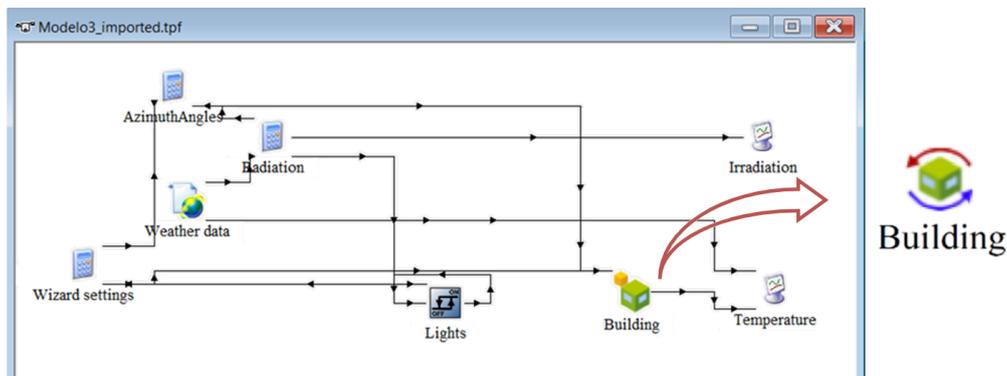


Figura 109. Sustitución del Type56 por uno compatible con TRNFlow

Ya una vez ingresando a TRNBuild, en éste se identifica a las superficies importadas desde Trnsys3D a través de unos números de superficie (indicados en la Tabla 47), que se generan automáticamente al importar el modelo, y teniendo en cuenta que, el cálculo de flujo de calor radiante empleado para convertir la radiación de onda corta en ganancias convectivas del sol, las superficies de mayor interés para este cálculo de la radiación son las superficies en contacto con el aire exterior por estar expuestas directamente al sol, como son los cerramientos opacos y semitransparentes o huecos de fachada (puertas y ventanas).

Por ejemplo, para la orientación "E_270_90", significa que el Este tiene como azimut tomado desde el sur y girando en sentido horario 270°, y que las superficies expuestas en esa dirección son de pendiente de 90° o superficies verticales, teniendo un total de nueve superficies del edificio expuestas en esa dirección

Tabla 47. Orientaciones de las superficies del edificio en contacto con el aire exterior

Orientación	Tipo de superficie	Número de superficie
H_0_0	Radiación horizontal	14
S_0_90	Sur con superficies verticales	5; 6; 41; 42; 43; 53; 24; 49; 35
S_0_30	Sur con superficie inclinada a 30°	32
W_90_90	Oeste con superficies verticales	3; 4; 46; 9; 54; 33; 58; 59; 60
W_90_25	Oeste con superficie inclinada a 25°	38
N_180_90	Norte con superficies verticales	11; 44; 12; 47; 26; 52; 34; 36
E_270_90	Este con superficies verticales	45; 25; 48; 50; 51; 31; 55; 56; 57
E_270_25	Este con superficie inclinada a 25°	37

A cada superficie le corresponde un número preestablecido por el programa, pero para el cálculo de radiación las más importantes son las que están en contacto con el aire exterior y todos aquellos huecos que se encuentran dentro del edificio. Se ha representado como ventana a la puerta principal, pero con diferente transmitancia térmica, ya que el software no reconoce dicho componente como tal. Y a los espacios sin puerta o pórticos que conectan las zonas térmicas en la planta baja también se los ha representado como ventanas, pero sin acristalamiento, es decir, con la transmitancia térmica del aire, debido a que, para el cálculo de volumen los nodos térmicos deben ser representados como volúmenes cerrados. En la Figura 110, se representa los números sobre la superficie correspondiente según cada orientación de la fachada, simbolizando a los pórticos con una línea entrecortada, al estar dentro del edificio. Se observa que los sombreadamientos no tiene un número, ya que para el cálculo son elementos externos.

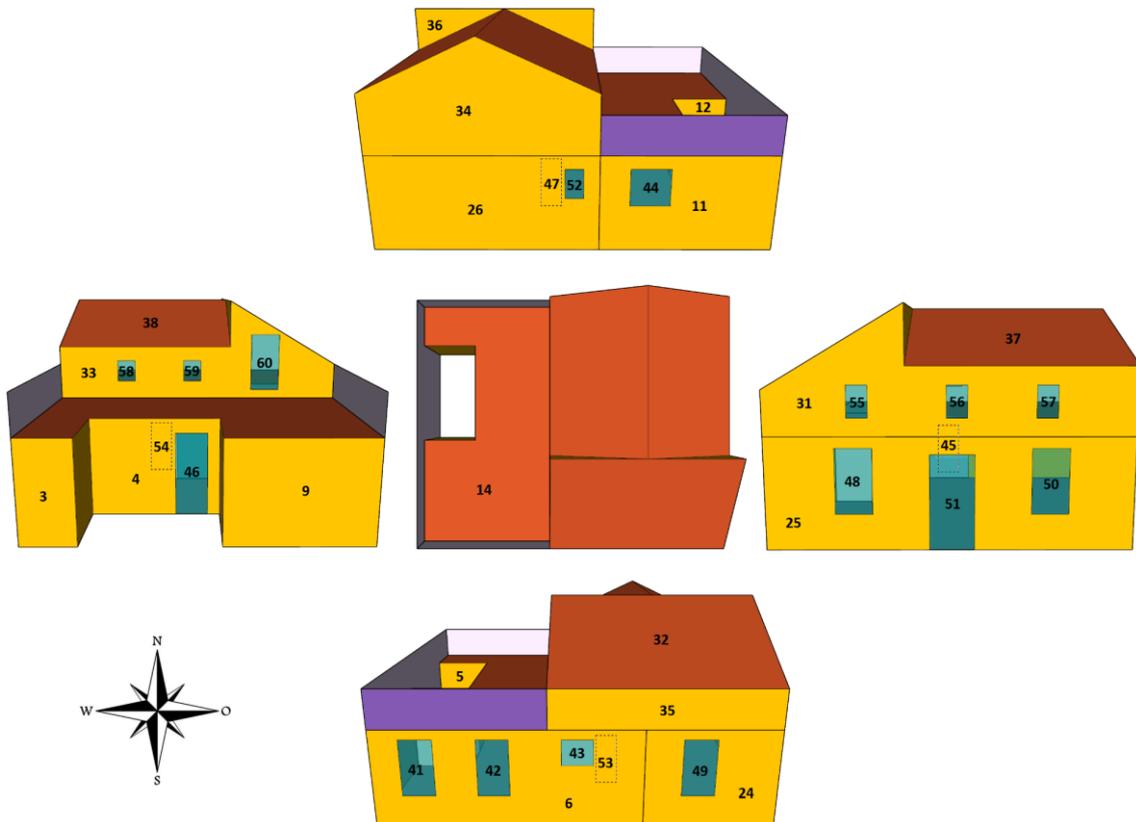


Figura 110. Números de superficie según la orientación de la fachada

Radiación Horizontal

Cabe indicar que, la orientación H_0_0 es de superficie totalmente horizontal y por lo tanto en base a esta se realiza el cálculo de la radiación horizontal, con datos externos utilizando la opción *External by another component* (ver Figura 111) para que la radiación se divida en las componentes que se necesitan:

- Total horizontal radiation (Radiación horizontal total)
- Horizontal beam radiation (Radiación directa horizontal)
- Angle of incidence for horizontal (Ángulo de incidencia para la horizontal)

No	Orientation	Calculation
1	H_0_0	-
2	S_0_90	internal
3	S_0_30	internal
4	W_90_90	internal
5	W_90_25	internal
6	N_180_90	internal
7	E_270_90	internal
8	E_270_25	internal

Calculation of radiation data

Internal

External by another component

Figura 111. Cálculo para la radiación horizontal usando datos externos

Esta orientación es importante ya que sin la presencia de esta orientación no se realizaría correctamente el sombreado geométrico por radiación difusa. Adicionalmente, es necesario regresar a Simulation Studio para enlazar los Outputs e Inputs correspondientes a la radiación horizontal, entre las salidas del *Weather Data* (Type99) y las entradas del *Building* (Type56), como se indica en la Figura 112.

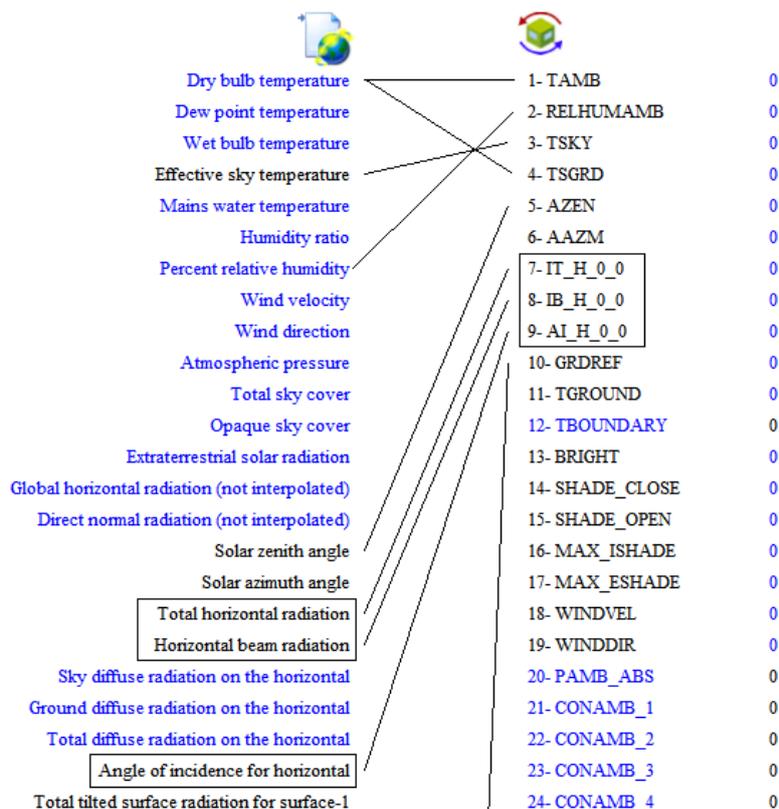


Figura 112. Conexión de la radiación horizontal al Building usando datos externos

Airnode: Zona Térmica

El nodo de aire en TRNBuild o más conocido como la zona térmica, es donde se puede verificar las características constructivas de los cerramientos opacos y transparentes, su adyacencia, orientación, entre otros, de la correspondiente zona a la que se ingrese en TRNBuild. De igual modo, desde aquí se implementa las ganancias de calor interna para las personas y equipos con horario constante a lo largo del año. El resto de condiciones como la ventilación y las infiltraciones no se ocupan desde la interfaz mostrada en la Figura 113, puesto que estas se implementarán desde TRNFlow. A excepción de la calefacción y refrigeración que se ocupan en el CAPÍTULO 6, para el cálculo del consumo que tendría la activación de una bomba de calor.

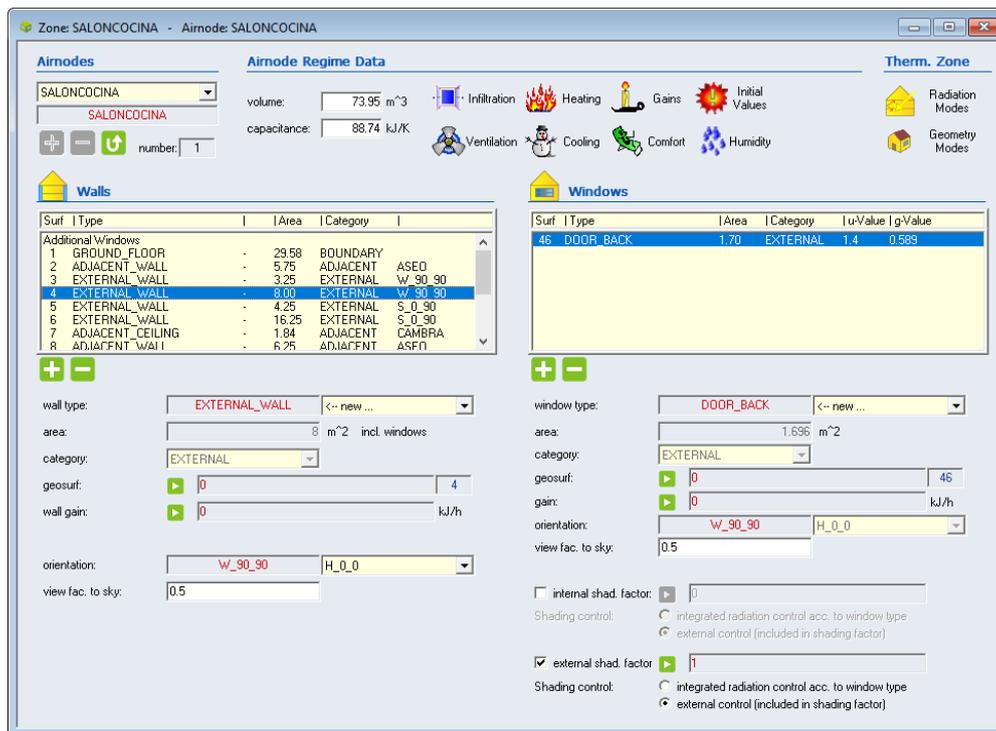


Figura 113. Interfaz del Airnode para una zona térmica en TRNBuild

1.3.1 Inputs & Outputs

Las entradas que se utilizan y se vinculan al *Building* desde Simulation Studio son de dos tipos, las entradas que vienen por defecto para conectar el Type56, que sirven para la conexión de las variables del archivo climatológico, indicadas en la Figura 114.

No	Name	Unit	Description
1	TAMB	C	AMBIENT TEMPERATURE
2	RELHUMAMB	%	RELATIVE AMBIENT HUMIDITY
3	TSKY	C	EFFECTIVE SKY TEMPERATURE FOR LONGWAVE RADIATION EXCHANGE (FSKY)
4	TSGRD	C	EFFECTIVE GROUND TEMPERATURE FOR LONGWAVE RADIATION EXCHANGE (1-FSKY)
5	AZEN	degrees	SOLAR ZENITH ANGLE
6	AAZM	degrees	SOLAR AZIMUTH ANGLE (0=facing equator, 90=facing west, -90=270=facing east)
7	IT_H_0_0	kJ/hr.m ²	INCIDENT RADIATION FOR ORIENTATION H_0_0
8	IB_H_0_0	kJ/hr.m ²	INCIDENT BEAM RADIATION FOR ORIENTATION H_0_0
9	AI_H_0_0	degrees	ANGLE OF INCIDENCE FOR ORIENTATION H_0_0
10	GRDREF	any	GROUND REFLECTION FOR SKY DIFFUSE RADIATION SHADING

Figura 114. Inputs por defecto del Type56

Y las entradas que se han creado para el funcionamiento de los equipos, iluminación, y variables y otras, donde la función es:

- **_COCINA:** Conecta el horario de la cocina a la ganancia de la zona SalonCocina
- **_FRIGORIFICO:** Conecta el horario del frigorífico a la ganancia de la zona SalonCocina
- **_CONVECTOR_SAL:** Conecta el horario del convector a la ganancia de zona SalonCocina
- **_CONVECTOR_CAM:** Conecta el horario del convector a la ganancia de la zona Cambra
- **_ILUMINACION:** Conecta el horario de la iluminación a la ganancia de todas las zonas
- **TGROUND:** Conecta el modelo de la temperatura vertical del suelo desde el Type77
- **BRIGHT:** Conecta un control de luz solar, creado desde el *Wizard settings*
- **SHADE_CLOSE:** Conecta un control de cerrar persianas, creado desde el *Wizard settings*
- **SHADE_OPEN:** Conecta un control de abrir persianas, creado desde el *Wizard settings*
- **MAX_ISHADE:** Conecta un control de máxima fracción opaca del dispositivo de sombreado interno, creado desde el *Wizard settings*
- **MAX_ESHADE:** Conecta un control de máxima fracción opaca del dispositivo de sombreado externo, creado desde el *Wizard settings*

En tanto que las salidas empleadas son: TAIR, QSENS, RELHUM, QHEAT, QCOOL, QGCONV y QGRAD, todas ellas explicadas en el apartado de Ecuaciones de Simulation Studio.

1.3.2 Wall Type Manager

Desde este administrador se agregan exclusivamente los cerramientos opacos del edificio, con los materiales especificados en el Capítulo 3.3.1. Los nombres de estos cerramientos vienen ya definidos desde el modelo de Trnsys3D, sin embargo, se puede crear uno nuevo. Para agregar los materiales que componen el cerramiento se realiza desde un cuadro a la derecha indicado en la Figura 115, teniendo en cuenta que el material hacia el interior del edificio se lo coloca en primer lugar. Los tipos de cerramientos son: Ground Floor, External Wall, Adjacent Wall, External Floor, Adjacent Ceiling y External Roof

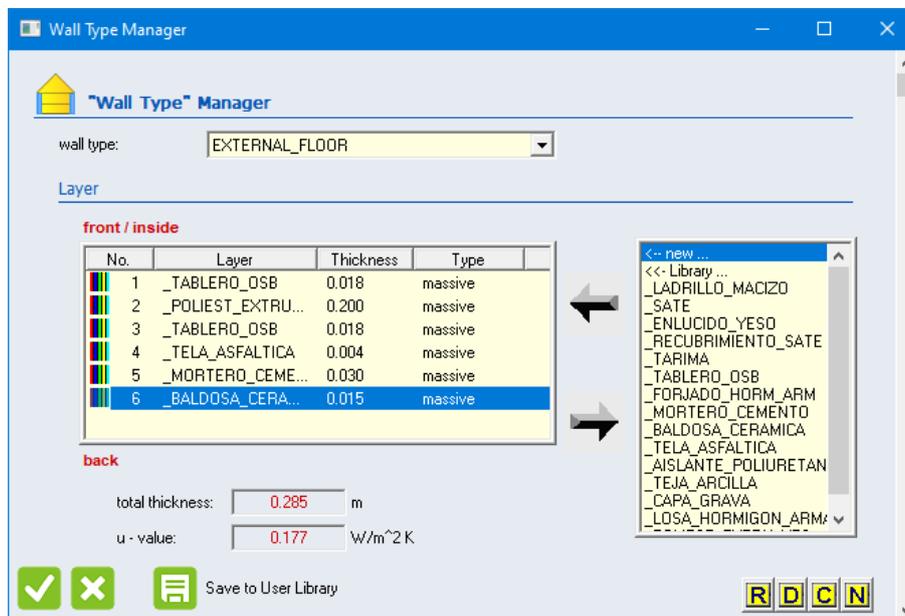


Figura 115. Cuadro para la creación de cerramientos opacos

1.3.3 Layer Type Manager

Existen materiales que vienen creados en la propia biblioteca del programa, sin embargo, los que se usan en el edificio se han tenido que agregar como *Massive Layer*, introduciendo las propiedades térmicas de cada uno, desde el administrador de capas, ver Figura 116

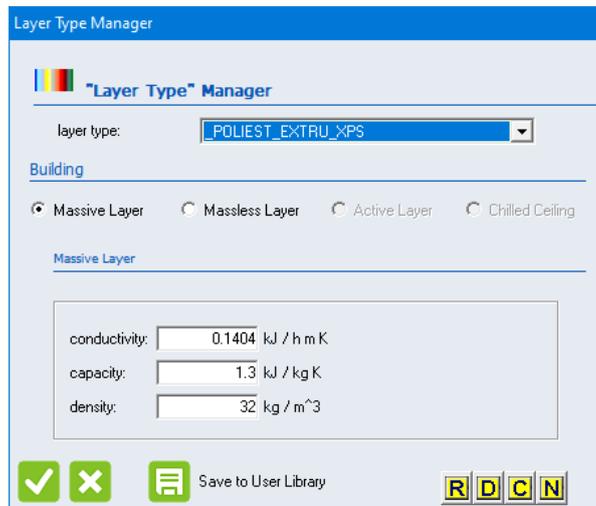


Figura 116. Cuadro para la creación de un nuevo material en TRNBuild

1.3.4 Window Type Manager

En este administrador se agregan las ventanas y puertas del edificio, donde estas últimas se las considera como una ventana más, pero con una transmitancia térmica correspondiente al material de la puerta misma. Se consideran de esta manera, debido a que la mayor parte de los programas de simulación energética no permiten ingresar las puertas como tal, y es por ello que en el programa 3D y en el programa de simulación se tienen que realizar un artificio y definirlos como una propia ventana, como el caso de la puerta principal (Door_PVC) con 1% de acristalamiento y 99% de marco, donde al marco se le da el U-value sin importar demasiado que vidrio se elija, como se indica en la Figura 117.

Los huecos utilizados son los ya definidos en Trnsys3D (External Window, Door PVC, Door Back, Doorway), pero en este administrador se elige los parámetros ya mencionadas.

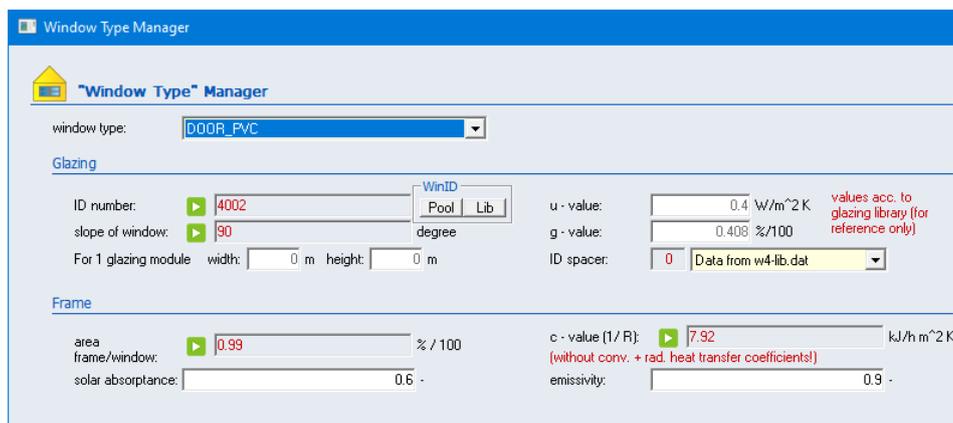


Figura 117. Cuadro para definir el acristalamiento y marco de un hueco

Para la ventana exterior se puede comprobar con la información del fabricante que el U-value, y *g* se aproximan bastante bien a los valores especificados en el catálogo del vidrio seleccionado de la biblioteca del programa, ya que en TRNBuild no es posible ingresar una ventana personalizada con valores propios, por ello se ha tomado una de similares características.

El marco que utilizan las ventanas es el mismo material de la puerta, siendo este PVC de dos cámaras, lo que resulta una transmitancia térmica de 2.2 W/m²·K según el Catálogo del CTE.

Marcos		
Producto	HE	
	ρ kg / m ³	U _{H,m} (W/m ² ·K) vertical
PVC		
PVC (dos cámaras)	-	2,2
PVC (tres cámaras)	-	1,8

Figura 118. U-value del PVC según Catálogo del CTE

Puesto que TRNBuild maneja otras unidades, se realiza la siguiente conversión:

$$U = 2.2 \frac{W}{m^2 \cdot K} \cdot \left| \frac{3600 s}{1 h} \right| \cdot \left| \frac{1 k}{1000} \right| = 7.92 \frac{kJ}{h \cdot m^2 \cdot K}$$

TIP: Si en alguna ventana o puerta se necesita un sombreado se puede activar la opción *external shading factor* desde el Airnode de la zona que contenga dicho hueco, como se indica un ejemplo en la Figura 113, en la parte inferior derecha del cuadro.

Los pórticos tampoco pueden ser representados en TRNBuild, ya que estos son espacios abiertos que comunican las zonas. Por ello el acristalamiento que se ha seleccionado de la biblioteca de TRNBuild es uno de tipo abierto llamado “*No glazing*” (Figura 119), ya que esto representará que la transmitancia térmica será la del aire.

No.	Used	WinID	Description	Design	U-Value	g-Value	T-sol	Rf-sol	T-vis
49	n	4201	Insulating, 0.7, Krypton	4/8/4/8/4	0.68	0.407	0.268	0.231	0.625
50	n	4202	Insulating, 0.4, Xenon	4/8/4/8/4	0.4	0.408	0.268	0.231	0.625
51	n	4301	Insulating, 0.7, Krypton	4/8/4/8/4	0.68	0.407	0.268	0.231	0.625
52	n	4302	Insulating, 0.4, Xenon	4/8/4/8/4	0.4	0.408	0.268	0.231	0.625
53	n	10001	No glazing = open	0.001	5.68	1	1	0	1

Figura 119. Biblioteca de acristalamientos de TRNBuild

1.3.4.1 Ventana/Puerta asociada al Airnode

Luego de configurar las características de las ventanas y puertas, se tiene que volver al Airnode de la zona térmica a la que corresponde la ubicación de los huecos y seleccionar el tipo de hueco configurado en el *Window Type Manager*, ver Figura 120.

Figura 120. Asociar el hueco a la superficie respectiva del Airnode

1.3.5 Gain Type Manager

En este administrador es donde se ingresan las potencias radiantes y convectivas de todos los equipos e iluminación que producen ganancias de calor al interior del edificio, independientemente si estos funcionan con un horario constante o variable a lo largo del año, como se muestra en la Figura 121.

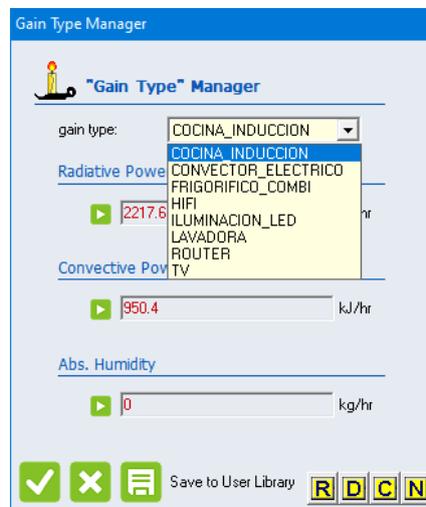


Figura 121. Ingreso de potencia radiante y convectiva de equipos

1.3.5.1 Ganancia asociada al Airnode

En el cuadro de la Figura 122, se ingresan las ganancias asociadas a una zona térmica específica, para ello primero, en base a la tasa de calor, la ocupación y número de las persona en cada zona, se tiene la ganancia que estas producen, mientras que, con las potencias de los equipos e iluminación ingresadas en el *Gain Type Manager* en conjunto con los horarios de cada uno de estos, se obtiene las ganancias internas que producen los mismos. Es decir, para los dos casos, la energía que generan para calentar el edificio, siendo esta favorable en invierno, y no tanto en verano. Al horario de personas, equipos e iluminación se puede multiplicar por un factor extra.

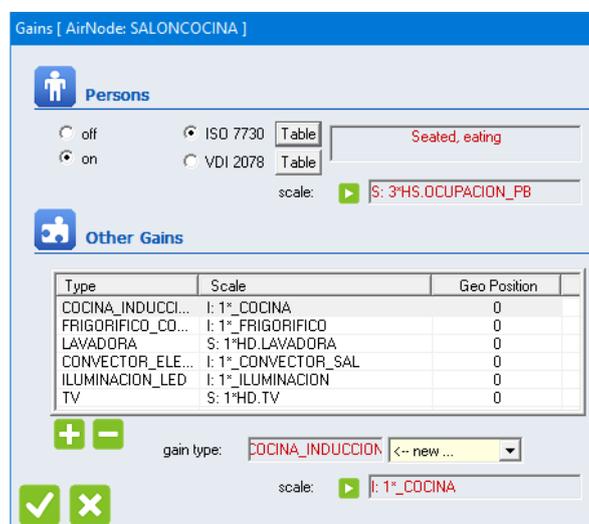


Figura 122. Asociar las ganancias al respectivo Airnode

1.3.6 Schedule Type Manager

Los horarios de ocupación de las personas y de funcionamiento de los equipos se los realiza desde el cuadro Administrador de horarios. De tal manera que, se puede establecer tanto horarios diarios como semanales, pero para este último hace falta primero establecer uno diario, como se muestra en Figura 123. Se debe tener en cuenta que, al crear un horario de esta manera, ya sea para personas, equipos o iluminación, se esta atribuyendo que estos funcionaran de la misma manera durante todos los días del año, sin importar que temporada sea. Y hacerlo de este modo, no es lo correcto puesto que un mismo equipo funciona más en verano que en invierno debido a su utilidad, como por ejemplo un convector eléctrico no se utilizará nunca en verano. Es por ello, que desde aquí solo se han creado los horarios que prácticamente no varían a lo largo del año, mientras que para los equipos que sí varían, se lo realizó desde una *Equation* teniendo en cuenta este criterio.

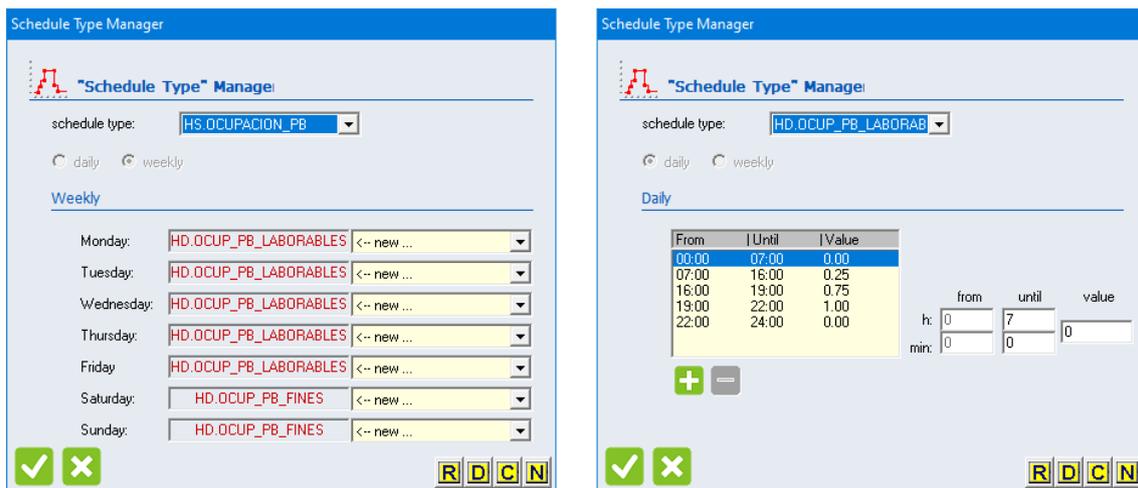


Figura 123. Creación de horarios semanales (izq.) y diarios (der.)

1.4 TRNFLOW

Es una herramienta complementaria a TRNSYS, que está integrada dentro del Type56 que es donde se intercambia datos internamente entre el modelo térmico y el modelo de flujo de aire en el edificio, a través de la interfaz de TRNBuild. TRNFlow puede interpretar los flujos de aire según sea como infiltración, ventilación, acoplamientos y se los envía al modelo térmico; así como el modelo térmico envía datos de las temperaturas y humedad al nodo del modelo flujo de aire, ver Figura 124.

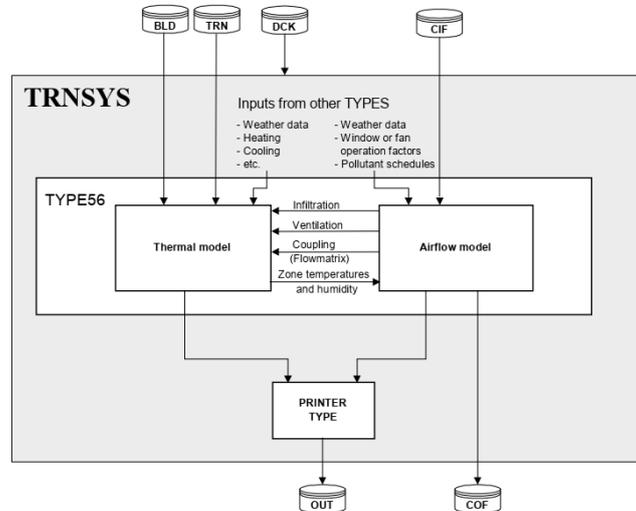


Figura 124. Concepto de acoplamiento de TRNFlow

Para llevar a cabo este estudio, se controla el flujo de aire al interior de las zonas térmicas al implementar un sistema de ventilación mecánica a través de un sistema de recuperación de calor, asimismo se controla la apertura de ciertas puertas y ventanas para una adecuada ventilación natural cuando las condiciones exteriores sean favorables. Teniendo estos dos tipos de ventilación, se realizan dos consideraciones.

Primeramente, se considera a las zonas térmicas como Nodos de Aire Térmico (Thermal Airnode Node), en donde adicionalmente se tiene que realizar una Red de Flujo de Aire (Airflow Network), para interconectar estos nodos con los Nodos Exteriores (External Nodes). Para ello se deberá tener en cuenta que, a parte de la conexión, se tiene que considerar los huecos (Large Opening) y los espacios que comunican entre zonas ya sean pórticos (Large Opening) o la escalera (Straight Duct), por donde circulará el aire naturalmente, cada una con sus infiltraciones reales correspondientes.

En segundo lugar, para la circulación de aire forzado, se considera la extracción y suministro del aire en las respectivas zonas, a través de ventiladores (Fans) que hacen la función del recuperador para hacer circular el aire, considerando que el sistema de recuperación de calor es un nodo auxiliar (Auxiliary Node), puesto que, se le proporciona datos de la temperatura de suministro de aire y la tasa de humedad que ingresa al edificio.

Finalmente, para realizar todo ello, se especificará cada parámetro de los Nodos de Flujo de Aire (Air Flow Nodes) y Enlaces de Aire (Air Link Type) mencionados, para finalmente en base a estos conectar la Red de Flujo de Aire (Airflow Network) que controlará tanto ventilación natural, como mecánica del edificio.

1.4.1 Air Flow Nodes

También llamados simplemente Nodos de Aire, que se los utiliza para conectar la Red de Flujo de Aire a través de los *Air Links* o elementos que conectan a los nodos entre sí.

1.4.1.1 External Node (EN)

Este nodo representa la presión del viento en el exterior del edificio (fachadas), que se relaciona con la presión dinámica de la velocidad del viento, a través del Coeficiente de Presión C_p por medio de la ecuación [35].

$$\Delta p_w = C_p \frac{\rho}{2} (v_0)^2 \quad [35]$$

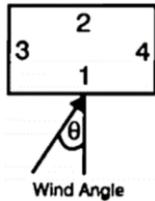
El coeficiente C_p se asigna a los External Nodes y puede tener tantas direcciones de viento como se desee. Se usará valores C_p medios de pared, con un ángulo de viento comprendido en todas las direcciones (0° hasta 315°), que se encuentran ya tabulados. Se tiene para este caso 4 nodos externos, uno en cada dirección cardinal principal.

Como el valor C_p tiene que ver con la velocidad del viento a cierta altura, C_p tiene una altura de referencia, normalmente en el edificio es la distancia desde suelo hasta los aleros, que es 4 m.

Los valores C_p promedio tabulados por [16], consideran edificios de pocas alturas hasta 3 plantas con geometrías simples y entornos uniformes. Se los usa para modelos de cálculo de flujo de aire como en este caso en TRNFlow. Existen datos para diferentes relaciones de longitud-anchura (1:1 o 2:1) y para condiciones de protección contra el viento (descubierto, semi protegido y protegido).

- Descubierto: campo abierto; sin obstrucciones
- Semi protegido: entornos rurales; algunas obstrucciones equivalentes a la mitad de la altura del edificio
- Protegido: entorno urbano; edificio rodeados por todos lados por obstrucciones de tamaño similar al del edificio

Los datos que se han tomado en cuenta para el edificio son de relación 2:1 ya que la geometría de la vivienda es rectangular, además la condición de protección se considera “descubierta”, puesto que el edificio está a campo abierto sin mayores obstrucciones de otras viviendas.



		Wind Angle							
		0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°
Face 1		0.5	0.25	-0.5	-0.8	-0.7	-0.8	-0.5	0.25
Face 2		-0.7	-0.8	-0.5	0.25	0.5	0.25	-0.5	-0.8
Face 3		-0.9	0.2	0.6	0.2	-0.9	-0.6	-0.35	-0.6
Face 4		-0.9	-0.6	-0.35	-0.6	-0.9	0.2	0.6	0.2
Roof (<10° pitch)	Front	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7
	Rear	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.7
Roof (11-30° pitch)	Front	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
	Rear	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6
Roof (>30° pitch)	Front	0.25	0	-0.6	-0.9	-0.8	-0.9	-0.6	0
	Rear	-0.8	-0.9	-0.6	0	0.25	0	-0.6	-0.9

Figura 125. Valores C_p para relación de geometría 2:1, en condición descubierta

Los valores Cp de External Nodes quedan definidos en TRNFlow a través del administrador de nodos externos, teniendo así 4 nodos correspondiente a cada dirección, ver Figura 126.

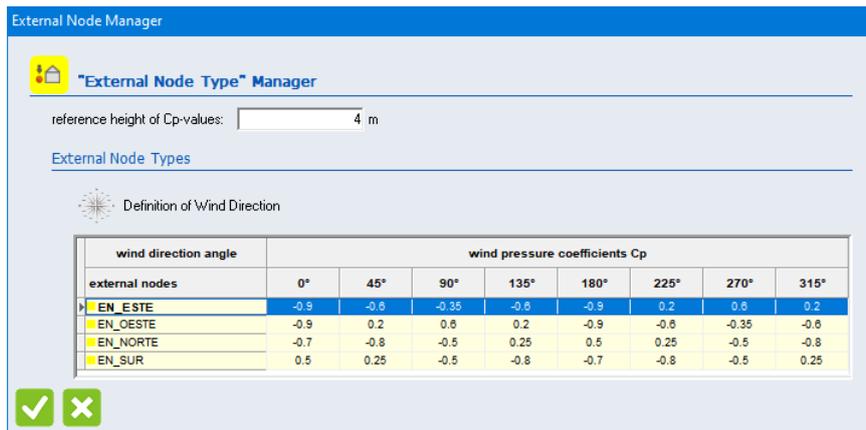


Figura 126. Cuadro del administrador de External Node en TRNFlow

1.4.1.2 Auxiliary Node (AN)

Es nodo auxiliar porque no tiene masa térmica ni un volumen considerable en TRNFlow, por lo que no tienen un equivalente en el modelo térmico. Se usa para definir los conductos de trabajo de un sistema de ventilación, en este caso del recuperador de calor, ya que este tipo de nodo se vincula como una pieza individual del sistema de conducto. La altura de referencia del nodo se mide desde el nivel de referencia del edificio el cual es el plano del suelo. Para este estudio se tienen dos nodos auxiliares del recuperador, que tienen las mismas condiciones de temperatura y humedad, pero diferente altura de referencia, 0 y 2.5 m para el ubicado en la planta baja y planta primera respectivamente, ver Figura 127.

Las condiciones del aire son definidas tanto para la temperatura como para la humedad, y se asocia a las entradas `_T_SUP` y `_HUMEDAD_ABS` respectivamente. Siendo la primera, la temperatura de suministro, calculada en la *Equation* del *Heat Recovery Ventilator* en Simulation Studio, en tanto que la segunda es calculada por psicrometría por el Type33e, a partir de la temperatura exterior y la humedad relativa, ambas proporcionadas por el archivo climatológico.

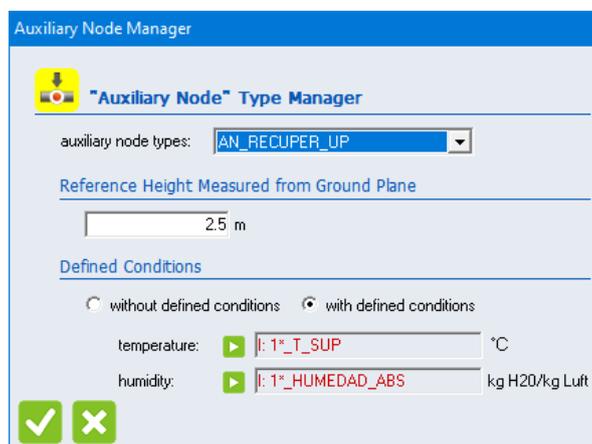


Figura 127. Cuadro del administrador de Auxiliary Node en TRNFlow

1.4.1.3 Thermal Airnode Node

Este nodo tiene un Airnode correspondiente en el modelo térmico a las zonas ENTRADA, ASEO, SALONCOCINA y CAMBRA. El Thermal Airnode puede ser representado por un nodo con valores individuales de temperatura, humedad y presión, que se calculan en el modelo térmico, para luego ser enviadas al modelo de flujo de aire de TRNFlow.

En estos Airnodes se ingresa información adicional que no se define en TRNBuild, como la altura de referencia medida desde el plano de suelo hasta el borde superior del suelo de la planta (ver Figura 128), donde para las zonas de planta baja es 0 m, mientras que para la CAMBRA es 2.5 m.

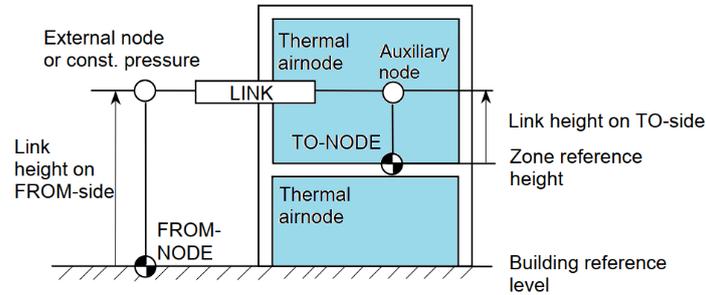


Figura 128. Definición de la altura del nodo

De igual modo, se ingresa la altura y la profundidad de la respectiva zona, midiendo esta última de pared a pared, siendo estos datos utilizados para calcular el coeficiente de descarga C_d para el *Link* de tipo "Large Opening". Adicionalmente, se muestra de manera informativa el ancho y el volumen del Airnode, como se indica un ejemplo para la zona ASEO en la Figura 129, y para el resto de zonas en la Tabla 48.

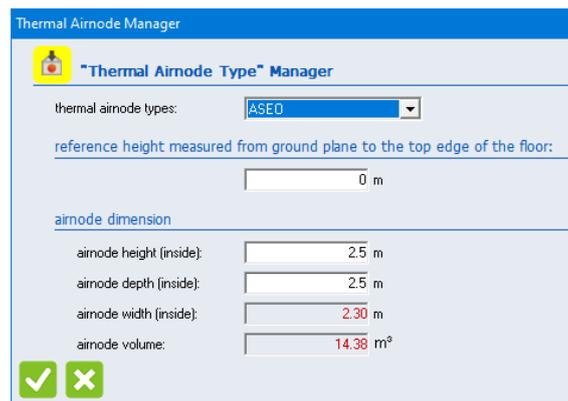


Figura 129. Cuadro administrador del Thermal Airnode en TRNFlow

Tabla 48. Datos de entrada para el cada Thermal Airnode

	SALON-COCINA	ASEO	ENTRADA	CAMBRA
<i>Altura de referencia medida desde el plano de tierra hasta el suelo de la planta</i>				
Altura ref. (m)	0	0	0	2.5
<i>Dimensiones del Airnode</i>				
Altura (m)	2.5	2.5	2.5	2.05
Profundidad (m)	4	2.5	4.8	7.9
Ancho (m)	7.4	2.3	7.47	5.51
Volumen (m ³)	73.95	14.38	89.65	89.29

1.4.2 Air Link Type

Los Enlaces de Aire son aquellos que conectan los nodos externos, auxiliares y térmicos entre sí utilizando diferentes tipos de conectores.

1.4.2.1 Large Opening (WI)

El *Link* de tipo Apertura Grande se lo usará para simular el flujo de aire a través de las ventanas o puertas, además de comunicar zonas al interior del edificio por medio de puertas interiores o pórticos (Doorway). Se debe seleccionar a que categoría pertenece, para el caso del edificio se tiene que las aperturas (ventanas y puertas) son abatibles hacia el eje vertical. Igualmente se proporciona datos de las dimensiones de cuando alcanza su máxima apertura.

Asimismo, se ingresa un Coeficiente de descarga C_d que se lo usa para tener en cuenta los efectos físicos de la contracción del flujo y pérdidas por fricción, el coeficiente depende de la forma de los bordes y geometría de la apertura, y de las condiciones circundantes. Ya que las ventanas o puertas se abren de la misma manera este valor será el mismo para todas, normalmente valores entre 0.6 – 0.7 son valores típicos de C_d .

Una condición particular se tiene entre los pórticos, estos deben calcularse de acuerdo a unas condiciones establecidas según [17], utilizando el Grupo de Ecuaciones [36], de tal forma que el coeficiente de descarga dependerá de la altura del pórtico en relación a la altura de la zona en que se encuentra.

$$H_{rel} = \frac{H_{door}}{H_{room}} = \frac{2.12 \text{ m}}{2.5 \text{ m}} = 0.848$$

$$\begin{cases} C_d = 0.609 \cdot H_{rel} - 0.066 & \text{si, } 0.2 \leq H_{rel} \leq 0.9 \\ C_d = 0.0558 & \text{si, } H_{rel} < 0.2 \\ C_d = 0.4821 & \text{si, } 0.9 < H_{rel} \end{cases}$$

$$\therefore C_d = 0.609 \cdot (0.848) - 0.066 = 0.4504$$

Grupo de Ecuaciones [36]

Del mismo modo, se establece que cuando las aperturas están cerradas se modele como una característica de flujo de grieta con el respectivo coeficiente de flujo másico del aire C_s , y el exponente de flujo de aire n , adicionalmente si se necesita una longitud extra de grieta se la puede agregar, pero para el caso del edificio se da un valor de 0 m para todos los casos de apertura.

Adicionalmente, para las **infiltraciones** a través de los huecos, se requiere calcular la sección equivalente de la apertura de estas. Para ello, partiendo de la Ecuación [37] para encontrar el coeficiente de presión C_p , a una velocidad promedio de 6 m/s, densidad del aire de 1.2 kg/m³ y una presión del viento de 50 Pa, se tiene un C_p de 0.657 adimensional.

$$C_p = \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot P_w}} \quad [37]$$

Conociendo además que, el volumen del edificio es 267.27 m³, y que las renovaciones hora del aire son 0.6 h⁻¹ tal como se estableció en Capítulo 5.3.1, y aplicando la Ecuación [38], se tiene que el caudal de flujo de aire es 0.0445 m³/s

$$Q = V \cdot \frac{ren}{h} \left(\frac{1 h}{3600 s} \right) \quad [38]$$

Y finalmente, utilizando la Ecuación [39], del área equivalente de apertura de las infiltraciones a través de las puertas y ventanas, se tiene un valor de 74.24 cm², pero conociendo que son 16 huecos los que están en contacto con el aire exterior, entonces utilizando la Ecuación [40], se puede decir que el área por apertura es 4.64 cm². Y para utilizar este valor en el programa se tiene que la infiltración por cada hueco equivale a una sección cuadrada de 2.2 cm de lado.

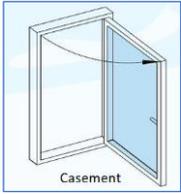
$$A = \frac{Q}{C_p} \sqrt{\frac{\rho}{2 \cdot P_w}} \quad [39]$$

$$L^2 = \frac{A}{N} \quad [40]$$

De tal manera que, los parámetros de ancho y altura de cada apertura se ingresan según las dimensiones de esta, como se muestra en la Figura 130, un ejemplo para el pórtico que comunica las zonas de la Entrada con el SalonCocina, además del coeficiente de descarga *Cd* respectivo. Para los demás huecos y la sección de infiltraciones calculadas se muestra un resumen en la Tabla 49.

Figura 130. Cuadro administrador de Large Opening en TRNFlow

Tabla 49. Datos de ingreso para cada *Large Opening* en TRNFlow

	WI_AIRPATH (Camino del aire)	WI_LEAKS (Infiltraciones huecos)	WI_DOOR_MAIN (Puerta principal)	WI_DOOR1 (Puerta trasera)	WI_DOOR2 (Puerta de la Cambra)	WI_DOORWAY (Pórtico entre zonas)	WI_DOORASEO (Puerta del Aseo)	WI_VENTANA1 (Ventanas grandes)	WI_VENTANA2 (Ventanas Cambra Este)	WI_VENTANA3 (Ventana al Norte)	WI_VENTANA4 (Ventanas Cambra Oeste)
Categoría de apertura											
Ventana/puerta abatible			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
Hacia el eje vertical			✓	✓	✓			✓	✓	✓	✓
max. ancho apertura (m)	0.01	0.022	0.97	0.8	0.8	1.25	0.75	0.8	0.45	0.44	0.5
max. altura apertura (m)	0.01	0.022	2.1	2.12	1.6	2.12	2.12	1.45	0.7	0.76	0.6
Coef. de descarga Cd1	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.45	0.45	0.6	0.6	0.6	0.6
Coef. de descarga Cd2	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	0.45	0.45	0.6	0.6	0.6	0.6
Para apertura cerrada											
Coef. C_s / long. (kg/s/m)	0.0001										
Exponente de flujo n (-)	0.7										
Long. extra de grieta (m)	0										

1.4.2.2 Straight Duct (DS)

Por medio de este *Link* se podrá realizar la admisión del flujo de aire por parte del recuperador de calor. Este *Link* enlazará un nodo auxiliar con un nodo térmico.

Por este conducto recto atraviesa el flujo de aire en el que existe pérdidas por fricción y pérdidas dinámicas debido a los accesorios del conducto, donde el coeficiente de pérdida dinámica ζ depende de la geometría del accesorio. Se debe ingresar datos de la forma del conducto y sus dimensiones. Además, se indica si el conducto posee accesorios, ya que con ello el coeficiente ζ aumentaría y el flujo másico de aire decrecería ya que las pérdidas dinámicas serían mayores.

Para este caso de estudio no se analizarán pérdidas dinámicas, por lo cual se desprecian estos valores, teniendo en cuenta únicamente la forma del conducto y sus dimensiones como se indica en la Figura 131, un ejemplo para el ducto que interpreta las escaleras.

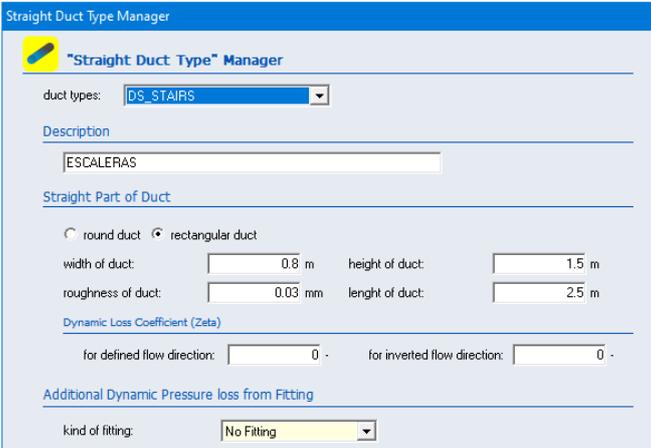


Figura 131. Cuadro administrador de *Straight Duct* en TRNFlow

Tabla 50. Datos de ingreso para cada *Straight Duct* en TRNFlow

	DS_ENTRADA_D	DS_STAIRS	DS_CAMBRA_D
<i>Parte recta del conducto</i>			
Forma	Rectangular	Rectangular	Rectangular
Ancho (m)	0.122	0.8	0.122
Alto (m)	0.035	1.5	0.035
Rugosidad (mm)	0.01	0.03	0.01
Longitud (m)	6	2.5	6
<i>Coefficiente de pérdida dinámica, ζ</i>			
Dirección definida	0	0	0
Dirección inversa	0	0	0
<i>Pérdida de presión dinámica adicional por el accesorio</i>			
Tipo de accesorio	Ninguno	Ninguno	Ninguno

1.4.2.3 Fan (FA)

El ventilador es un *Link* con el que se definirá cada estancia donde haya extracción o suministro de aire por parte del recuperador de calor, donde depende del caudal volumétrico, por tal razón hay que definir un *Fan* para cada ducto de aire.

Se proporciona la densidad del aire ρ , en las condiciones de prueba, ya que es la referencia para los valores del caudal volumétrico que se ingresan en una curva característica del ventilador. En esta curva se indica los valores como pares de datos correspondientes a la diferencia de presión Δp y caudal volumétrico del ventilador, que en este caso es el caudal que suministra o extrae el recuperador de calor en cada zona.

Los pares de datos quedan definidos en TRNFlow como se indica un ejemplo en la Figura 132, para el suministro de aire en zona Entrada. Y para el resto de estancias se indica en la Tabla 51.

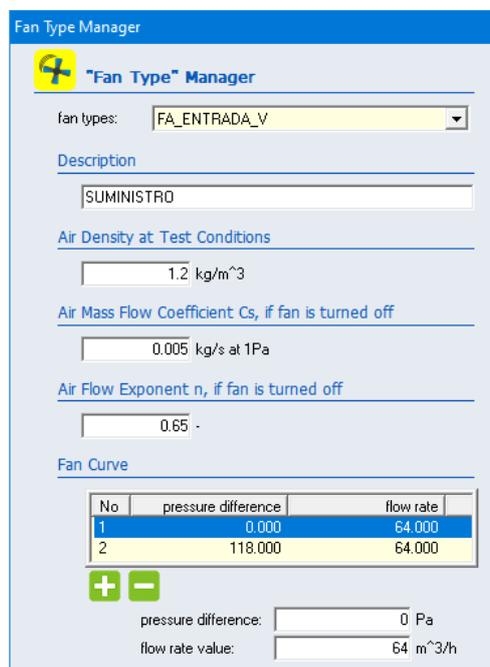


Figura 132. Cuadro administrador del *Fan* en TRNFlow

Tabla 51. Datos de ingreso para el *Fan* en cada punto de Extracción y Suministro de aire

	FA_COCINA_V	FA_ASEO_V	FA_ENTRADA_V	FA_CAMBRA_V				
Descripción	Extracción	Extracción	Suministro	Suministro				
ρ (kg/m ³)	1.2	1.2	1.2	1.2				
C_s (kg/s)	0.005	0.005	0.005	0.005				
n (-)	0.65	0.65	0.65	0.65				
<i>Curva del ventilador</i>								
No.	Δp [Pa]	\dot{V} [$\frac{m^3}{h}$]						
1	0	106.67	0	53.33	0	64	0	96
2	118	106.67	118	53.33	118	64	118	96

1.4.3 Airflow Network

Finalmente, para comprender el control de la ventilación natural y mecánica implementado en el edificio, se interpreta el modelo de flujo de aire como una red de nodos y enlaces de flujos de aire, de lo cual el nodo representa el volumen de la habitación al que se le puede asignar un conjunto de variables, mientras que los enlaces pueden ser representados por componentes de ventilación. Para realizar de manera correcta la Red de Flujo de Aire es muy importante que todos los nodos de aire sean conectados en una sola red, como en la Figura 133, puesto que, sino el modelo no funcionará adecuadamente, e incluso sin que siquiera logre simularse.

Para esto, es necesario conectar primeramente todos los Termal Airnode a través de un camino de una red principal en el que ingrese desde un nodo exterior hacia cualquier Airnode y siga conectando a los demás Airnodes hasta volver a salir a otro nodo exterior de la Red, como se muestra en la primera parte de la Tabla 52.

Posteriormente, se conectan las 14 infiltraciones restantes por donde exista una ventana o puerta cualesquiera. Seguidamente se conectan los espacios que comunican entre zonas. Luego, se conectan nuevamente todas las puertas y ventanas, pero esta vez teniendo en cuenta que ya no son de una sección muy pequeña como las infiltraciones, y se realiza el control de apertura de los huecos que se quiere que circule el flujo de aire natural. Y por último, se realiza la conexión de los puntos en cada zona donde se haga la extracción y suministro de aire para vincularlos a un control de ventilación mecánica que viene desde Simulation Studio.

Para interpretar las iniciales que usa TRNFlow para montar la Red de Flujo de Aire, se tiene:

Link Type		Parameter factor
WI_	Apertura	de apertura
DS_	Ducto Recto	de pérdida dinámico
FA_	Ventilador	de velocidad ventilador

Node	
EN_	Nodo Externo
AN_	Nodo Auxiliar
Thermal Airnode	SALONCOCINA
	ASEO
	ENTRADA
	CAMBRA

Tabla 52. Air links de flujos de aire en TRNFlow

Id.	Type Name	From-Node (m)	To-Node (m)	Factor
Red principal de flujo de aire				
1	WI_LEAKS	EN_ESTE 1.2	ENTRADA 1.2	1
2	WI_AIRPATH	ENTRADA 1.2	ASEO 1.2	1
3	WI_AIRPATH	ASEO 1.2	SALONCOCINA 1.2	1
4	WI_AIRPATH	SALONCOCINA 1.2	CAMBRA 1.2	1
5	WI_LEAKS	CAMBRA 1.2	EN_OESTE 3.7	1
Infiltraciones				
6	WI_LEAKS	EN_ESTE 1.2	ENTRADA 1.2	1
7	WI_LEAKS	EN_ESTE 1.2	ENTRADA 1.2	1
8	WI_LEAKS	EN_OESTE 1.2	SALONCOCINA 1.2	1
9	WI_LEAKS	EN_NORTE 1.2	SALONCOCINA 1.2	1
10	WI_LEAKS	EN_NORTE 1.2	ENTRADA 1.2	1
11	WI_LEAKS	EN_SUR 1.2	SALONCOCINA 1.2	1
12	WI_LEAKS	EN_SUR 1.2	SALONCOCINA 1.2	1
13	WI_LEAKS	EN_SUR 1.2	SALONCOCINA 1.2	1
14	WI_LEAKS	EN_SUR 1.2	ENTRADA 1.2	1
15	WI_LEAKS	EN_ESTE 3	CAMBRA 0.5	1
16	WI_LEAKS	EN_ESTE 3	CAMBRA 0.5	1
17	WI_LEAKS	EN_ESTE 3	CAMBRA 0.5	1
18	WI_LEAKS	EN_OESTE 3	CAMBRA 0.5	1
19	WI_LEAKS	EN_OESTE 3	CAMBRA 0.5	1
Conexión entre zonas				
20	WI_DOORWAY	ENTRADA 0.01	SALONCOCINA 0.01	1
21	WI_DOORASEO	ENTRADA 0.01	ASEO 0.01	1
22	DS_STAIRS	SALONCOCINA 1.25	CAMBRA 1.25	1
Ventilación Natural				
23	WI_VENTANA1	EN_SUR 0.8	SALONCOCINA 0.8	1*V_NATURAL
24	WI_DOOR1	EN_OESTE 0.01	SALONCOCINA 0.01	1*V_NATURAL
25	WI_VENTANA3	EN_NORTE 1.4	ENTRADA 1.4	0
26	WI_VENTANA1	EN_ESTE 0.8	ENTRADA 0.8	1*V_NATURAL
27	WI_VENTANA1	EN_ESTE 0.8	ENTRADA 0.8	1*V_NATURAL
28	WI_DOOR_MAIN	EN_ESTE 0.01	ENTRADA 0.01	0
29	WI_VENTANA2	EN_ESTE 2.9	CAMBRA 0.4	1*V_NATURAL
30	WI_VENTANA2	EN_ESTE 2.9	CAMBRA 0.4	1*V_NATURAL
31	WI_VENTANA2	EN_ESTE 2.9	CAMBRA 0.4	1*V_NATURAL
32	WI_VENTANA4	EN_OESTE 3	CAMBRA 0.5	1*V_NATURAL
33	WI_VENTANA4	EN_OESTE 3	CAMBRA 0.5	1*V_NATURAL
34	WI_DOOR2	EN_OESTE 2.75	CAMBRA 0.25	0
Ventilación Mecánica				
35	FA_ENTRADA_V	EN_SUR 2.1	AN_RECUPER_DOWN 2.1	1*V_MECANICA
36	DS_ENTRADA_D	AN_RECUPER_DOWN 2.1	ENTRADA 2.1	1
37	FA_CAMBRA_V	EN_SUR 2.6	AN_RECUPER_UP 0.1	1*V_MECANICA
38	DS_CAMBRA_D	AN_RECUPER_UP 0.1	CAMBRA 0.1	1
39	FA_ASEO_V	ASEO 2.1	AN_RECUPERADOR 2.1	1*V_MECANICA
40	WI_REJILLA	AN_RECUPERADOR 2.1	EN_NORTE 2.1	1
41	FA_COCINA_V	SALONCOCINA 2.1	AN_RECUPERADOR 2.1	1*V_MECANICA
42	WI_REJILLA	AN_RECUPERADOR 2.1	EN_NORTE 2.1	1

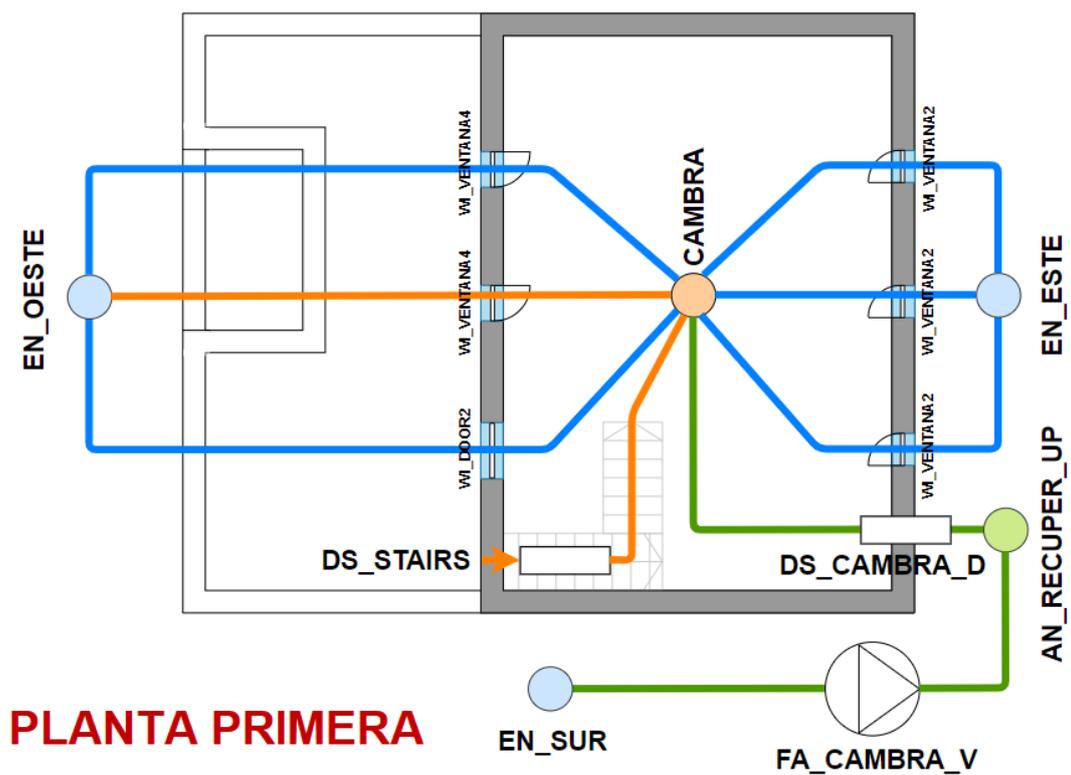
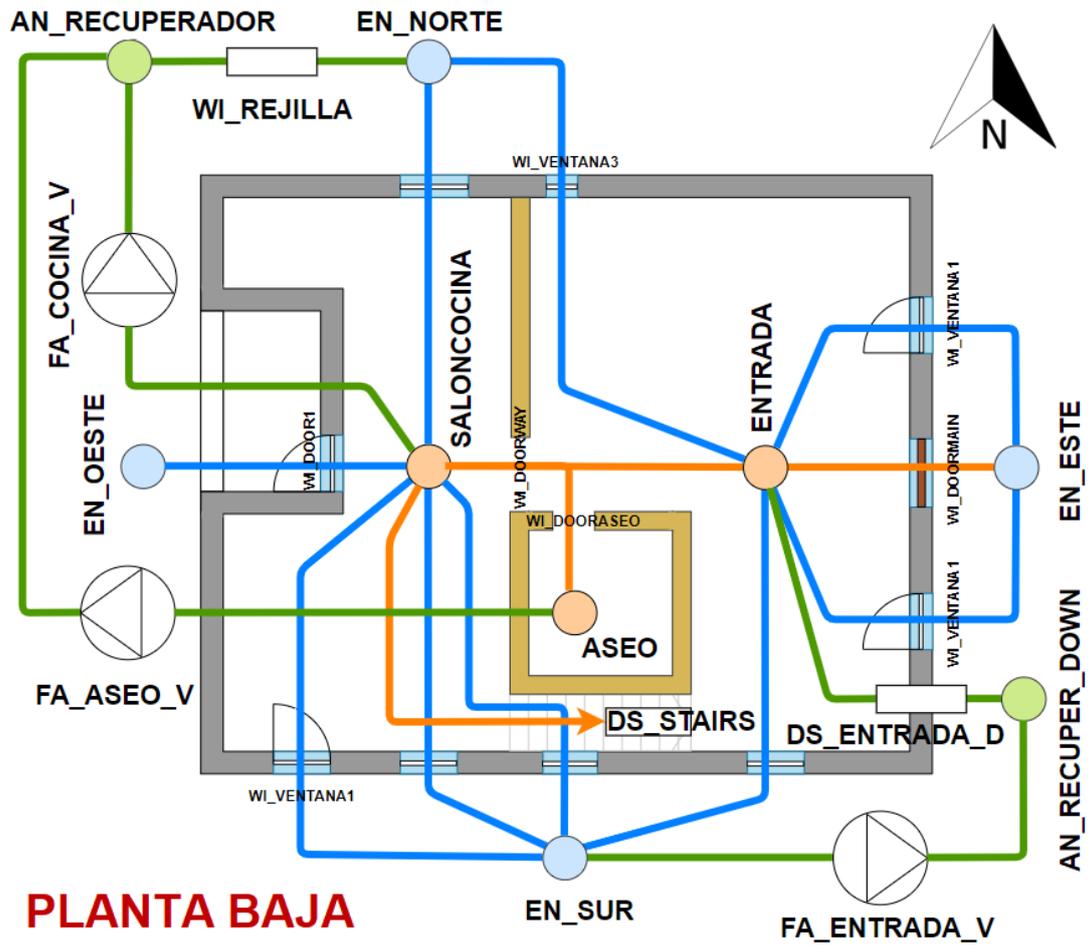


Figura 133. Interpretación de la Red de Flujo de Aire en TRNFlow

1.4.4 Inputs & Outputs

Las entradas del modelo de flujo de aire que se crean con TRNFlow son datos que dependen del tiempo, como velocidad del viento o también factores de apertura de ventanas que se los puede definir como entradas u horarios. En cuanto a las salidas, se puede establecer flujos de aire o presiones de zona por medio de *NTypes* y pueden impresos en un archivo de salida de Excel, utilizando el Type65c.

Las entradas y salidas que se han implementado en este estudio son:

Inputs

- WINDVEL: Conecta la velocidad del viento proporcionada por el archivo climático, con el programa para el cálculo interno del modelo de flujo de aire
- WINDDIR: Conecta la dirección del viento proporcionada por el archivo climático, con el programa para el cálculo interno del modelo de flujo de aire
- _V_NATURAL: Conecta el control de la ventilación natural al hueco (puerta o ventana) del nodo correspondiente
- _V_MECANICA: Conecta el control de la ventilación mecánica al ventilador (extracción o suministro) del nodo correspondiente
- _T_SUP: Conecta la temperatura de suministro calculada en la Equation *Heat Recovery Ventilator* al nodo auxiliar del Recuperador en la Red de flujo de aire
- _HUMEDAD_ABS: Conecta la humedad absoluta calculada en el Type33e al nodo auxiliar del Recuperador en la Red de flujo de aire

Outputs

- NType4: (QINF) Calcula la ganancia de energía de infiltración sensible en el Airnode
- NType5: (QVENT) Calcula la ganancia de energía de ventilación sensible en el Airnode
- NType229: (SFLIN) Suma de los flujos de infiltración de aire exterior, en nodos específico
- NType230: (SFLEX) Suma de los flujos de exfiltración, desde nodos especificados
- NType231: (SFLVS) Suma de los flujos ventilación de suministro, en nodos especificados
- NType232: (SFLVE) Suma de los flujos ventilación de extracción, en nodos especificados
- NType207: (FLTOZ) Calcula el flujo de aire exterior total dentro del Airnode

1.5 TEMPERATURAS EN 3D

Las temperaturas de cada zona del edificio resultado de la simulación pueden ser visualizadas tridimensionalmente. Para esto se tiene que utilizar el Type125 en *Simulation Studio*, que es un plugin para SketchUp que permite imprimir los resultados que genera la simulación del *Building* en un archivo de extensión *.eso, el cuál debe ser abierto con Trnsys3D de SketchUp (ver, Figura 134), con el comando *Rendering Settings* pero teniendo a la vez abierto el modelo geométrico del edificio creado con el mismo Trnsys3D.

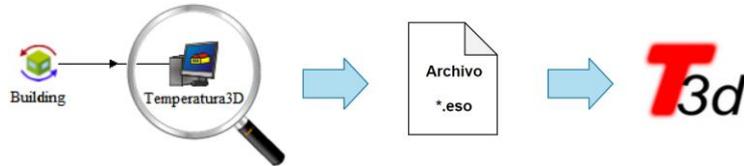


Figura 134. Generación del archivo *.eso para visualizar las temperaturas en 3D

Una vez ejecutado el archivo *.eso se podrá configurar cualquier fecha y hora del año con el panel *Sombas*, y visualizar dinámicamente como van variando las temperaturas de cada zona del edificio de acuerdo a una escala de colores que muestra la máxima y mínima temperatura alcanzables. Por ejemplo, se indica en la Figura 135, que el 20 de agosto fue el día durante el año el cual la temperatura interior alcanzó sus máximos valores. Asimismo, en la Figura 136, se observa que el 7 de febrero fue el día el cual la temperatura interior de la vivienda alcanzo sus valores más bajos, a la vez que se registró como el día más frío del año.

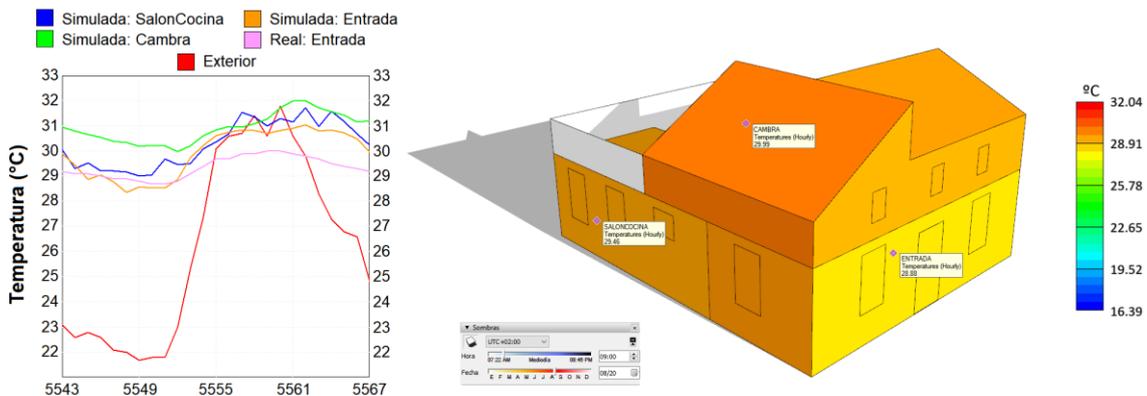


Figura 135. Temperatura interior en 3D más alta de la vivienda

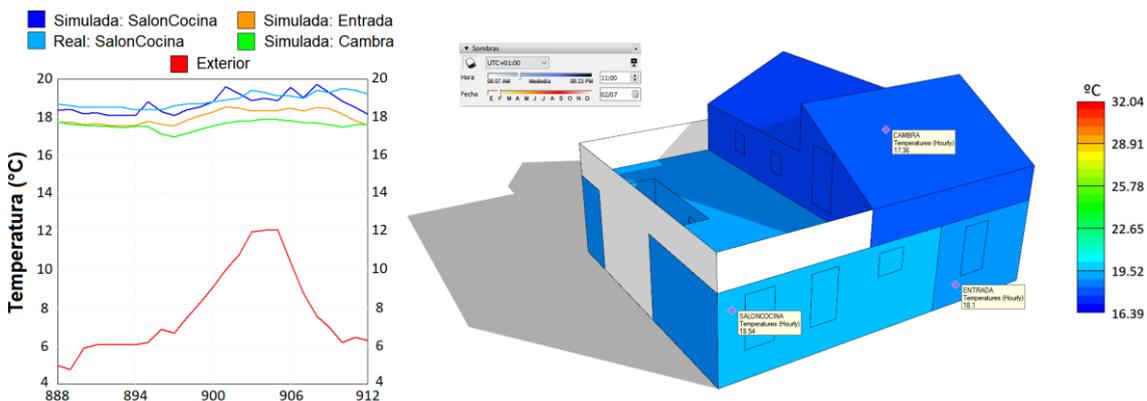


Figura 136. Temperatura interior en 3D más baja de la vivienda

Para visualizar detalladamente y de una forma más dinámica se han realizado vídeos de estas dos condiciones extremas que muestran la variación de la temperatura interior de la vivienda en el transcurso del día, teniendo una diferenciación de temperaturas para cada zona. Para ello se muestra este contenido en la Tabla 53, donde se lo puede visualizar a través de YouTube, o a su vez si se quiere visualizar y descargar hacer un clic sobre el código QR. Además, se han realizado vídeos adicionales de como la proyección del sol va cambiando según la estación del año, esto sirve para tener una idea más clara de cómo la radiación solar incide en una determinada fachada del edificio produciendo ganancias solares que favorecen o perjudican de acuerdo a la época del año.

Tabla 53. Contenido multimedia de la alquería para visualizar o descargar

Id.	Contenido	YouTube	Código QR
Temperatura 3D de la alquería			
1	Temperatura interior más alta 20-ago-2018 [0-23 horas] UTC+2		
2	Temperatura interior más baja 07-feb-2018 [0-23 horas] UTC+1		
Proyección solar de la alquería			
3	Solsticio de invierno 21-diciembre [8-18 horas] UTC+1		
4	Equinoccio de primavera 21-marzo [7-20 horas] UTC+1		
5	Solsticio de verano 21-junio [6-22 horas] UTC+2		
6	Equinoccio de otoño 21-septiembre [7-20 horas] UTC+2		

ANEXO 2. GRÁFICAS DE DATOS

2.1 SENSORES DE LA VIVIENDA

Para conseguir la calibración y ajuste del modelo se compara las medidas de la simulación con las medidas experimentales tomadas en el interior de la vivienda. Para ello se monitoriza la temperatura y humedad relativa a través de cinco sensores. El registro de estos datos se viene llevando de forma continua desde octubre de 2017, pero para realizar un contraste adecuado con el periodo de la simulación en TRNSYS se ha utilizado para este trabajo los datos de los 365 días del año 2018.

La monitorización de datos se ha efectuado con un registrador (datalogger) de humedad/temperatura de la marca *Extech Instruments* modelo RHT10 (ver Figura 137). Se debe tener en consideración que la humedad relativa tiene una precisión en los siguientes rangos de, $\pm 5\%$ (0 a 20 y 80 a 100%), $\pm 3.5\%$ (20 a 40 y 60 a 80%) y $\pm 3\%$ (40 a 60%), mientras que la temperatura tiene una precisión de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (-10 a +40 $^{\circ}\text{C}$).



Figura 137. Registrador de humedad-temperatura Extech RHT10

La distribución de los sensores en la vivienda y el intervalo que estos registran los datos son mostrados en la Tabla 54. Por cada parámetro de cada sensor, ya sea de temperatura o humedad relativa se alcanza en un año un total de 105120 y 52560 datos, según el intervalo calibrado.

Tabla 54. Distribución de los sensores en la vivienda

Planta	Sensor	Intervalo (min)	Extensión del archivo
Baja	Cocina	5	*.dbf
	Entrada	5	*.dbf
	Entrada Derecha	10	*.rec
Primera	Cambrá-Cama	5	*.dbf
	Cambrá-Columna	5	*.dbf

Cabe señalar que los datos son descargados de cada datalogger cada semana a un archivo de extensión especificado en la Tabla 54, y la tarea que representa unificar varios datos de cada sensor es laboriosa, por lo cual se ha desarrollado una macro en Excel que permita llevar a cabo de manera eficiente esta tarea repetitiva.

Una vez reunidos los datos para cada sensor se prepara un solo archivo de Excel en el que consten la temperatura y humedad relativa de cada sensor, con 52560 datos para cada uno (ver Figura 138), dado que para contrastar los datos y calcular los parámetros estadísticos valor a valor con el archivo climatológico de la UPV se debe tener igual cantidad de registros, ya que este último registra con un intervalo de 10 minutos.

No.	Fecha	Hora	COCINA		ENTRADA		ENTRADA DERECHA		CAMBRA-CAMA		CAMBRA-COLUMNA		ESTACIÓN METEO UPV	
			TI [°C]	HRI [%]	TI [°C]	HRI [%]	TI [°C]	HRI [%]	TI [°C]	HRI [%]	TI [°C]	HRI [%]	TA [°C]	HRA [%]
1	2018-01-01	0:00	20.8	71.6	20.7	71.3	20.3	80.8	19.9	78.0	19.9	76.6	15.7	48.0
2	2018-01-01	0:10	20.8	71.6	20.7	71.3	20.3	80.9	19.9	78.0	19.9	76.6	15.4	47.0
3	2018-01-01	0:20	20.8	71.7	20.7	71.2	20.3	80.8	19.9	78.0	19.9	76.6	15.2	47.0
4	2018-01-01	0:30	20.8	71.7	20.7	71.2	20.3	80.9	19.9	78.0	19.9	76.6	15.2	47.0
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
52557	2018-12-31	23:20	22.1	60.8	20.5	62	20.3	70.4	18.7	67.3	19.3	69.9	7.5	87
52558	2018-12-31	23:30	22	61	20.6	62	20.4	70.2	18.7	67.3	19.3	69.9	7.1	87
52559	2018-12-31	23:40	22.2	60.4	20.5	61.6	20.3	69.8	18.7	67.3	19.3	69.8	7.5	86
52560	2018-12-31	23:50	22.2	60.7	20.4	61.5	20.4	69.8	18.7	67.3	19.3	69.7	7.6	84

Figura 138. Archivo con datos unificados de sensores de la vivienda

Este archivo unificado de Excel al igual que en el capítulo 2.5 también sirvió para preparar uno de extensión *.f90 utilizado por el Type99, componente necesario para leer los datos en TRNSYS; posteriormente plotearlos en el Type65c para contrastar los parámetros de los sensores con los diferentes archivos climatológicos, como se muestra en la Figura 139.

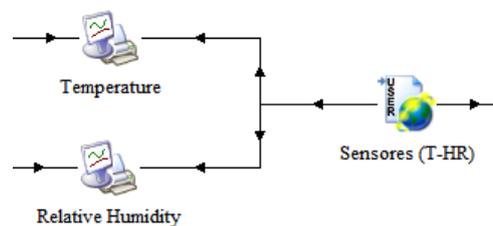


Figura 139. Conexión del Type99 de los sensores al modelo

2.1.1 Temperatura Interior

2.1.1.1 Cocina

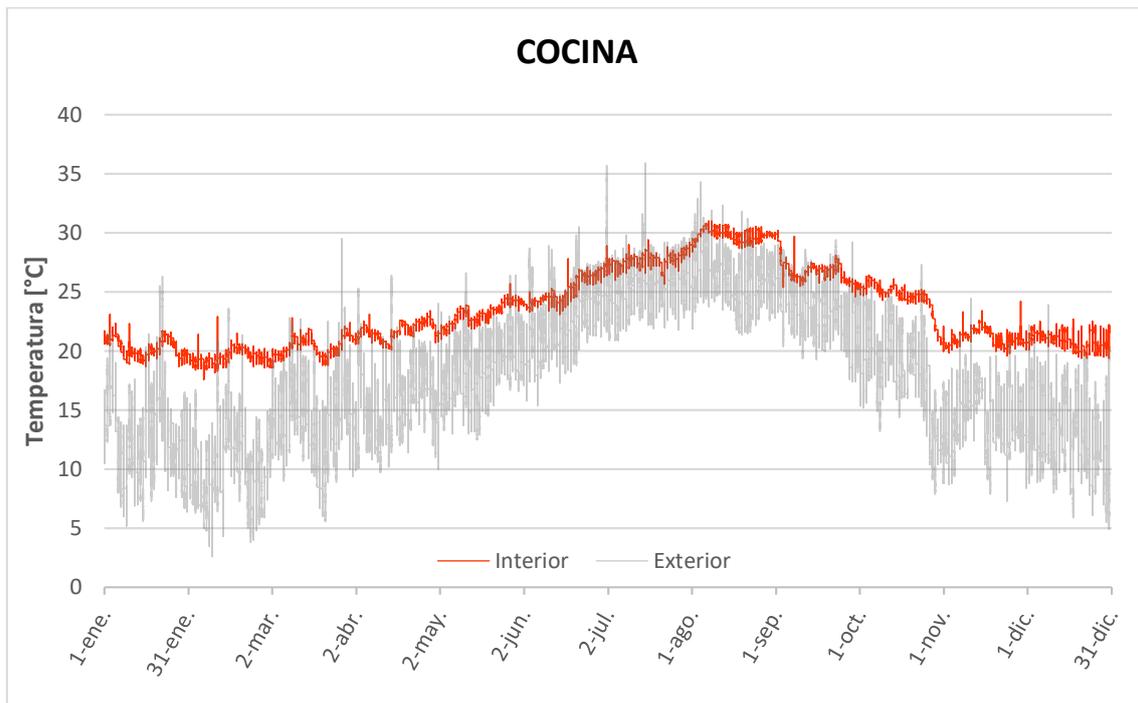


Figura 140. Temperatura interior del sensor ubicado en la cocina

2.1.1.2 Entrada

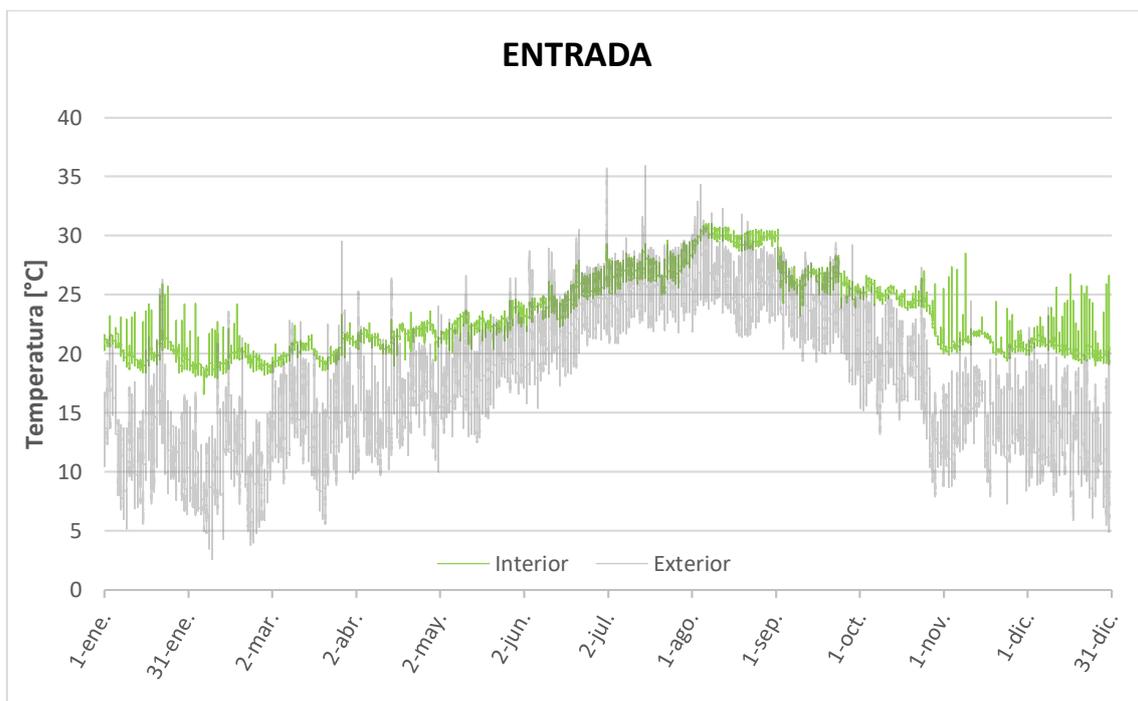


Figura 141. Temperatura interior del sensor ubicado en la entrada

2.1.1.3 Entrada Derecha

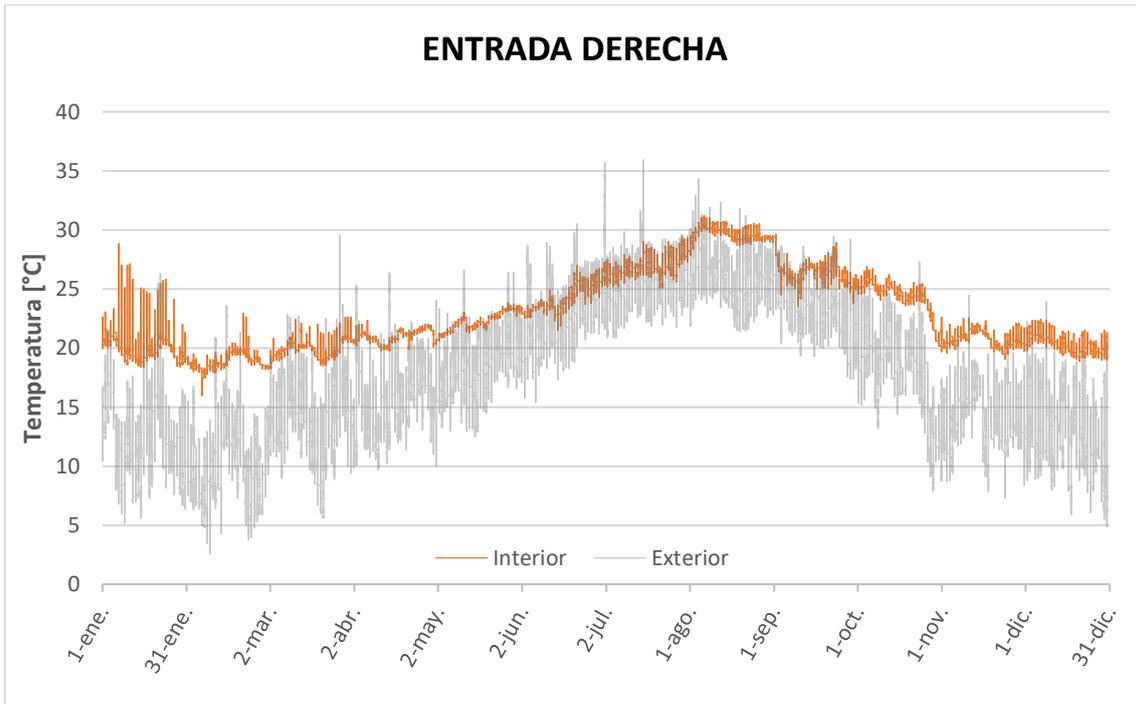


Figura 142. Temperatura interior del sensor ubicado en la entrada derecha

2.1.1.4 Cambra-Cama

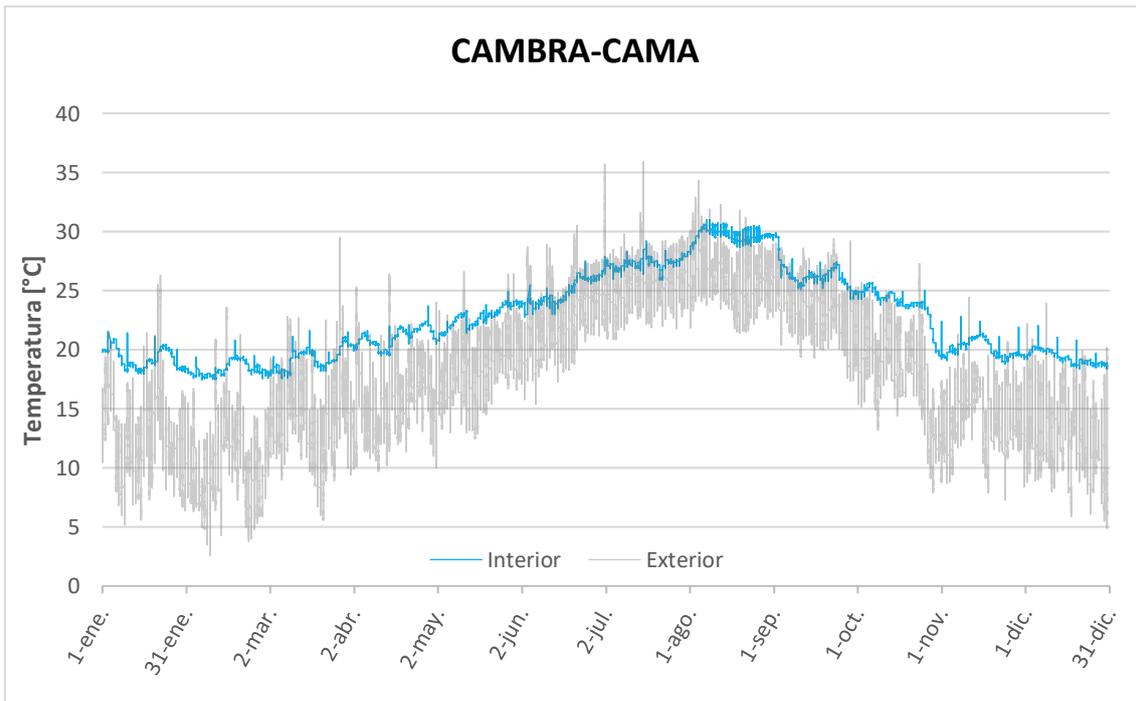


Figura 143. Temperatura interior del sensor ubicado en la cambra-cama

2.1.1.5 Cambra-Columna

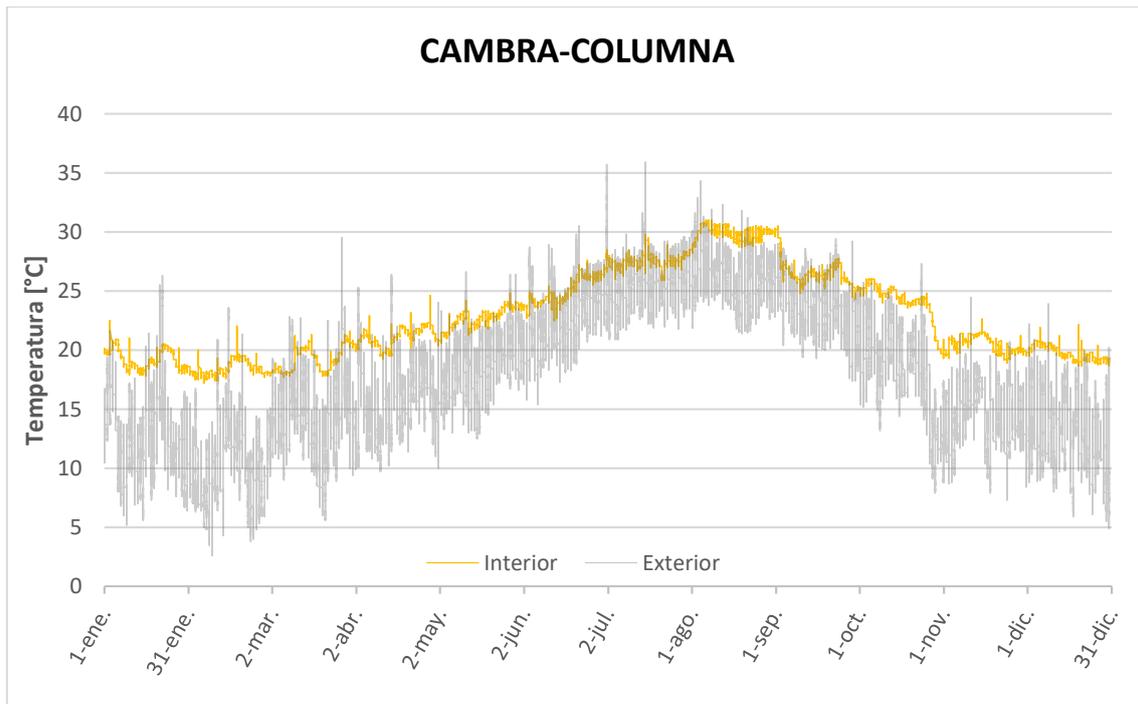


Figura 144. Temperatura interior del sensor ubicado en la cambra-columnna

2.1.2 Humedad Relativa Interior

2.1.2.1 Cocina

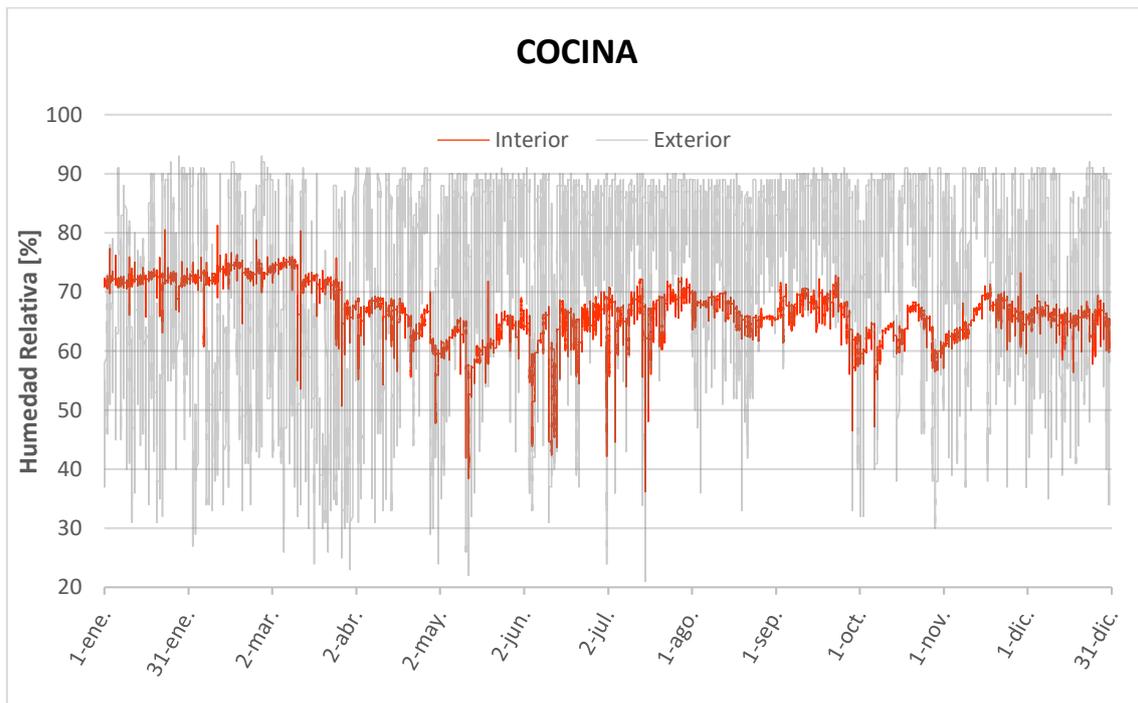


Figura 145. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la cocina

2.1.2.2 Entrada

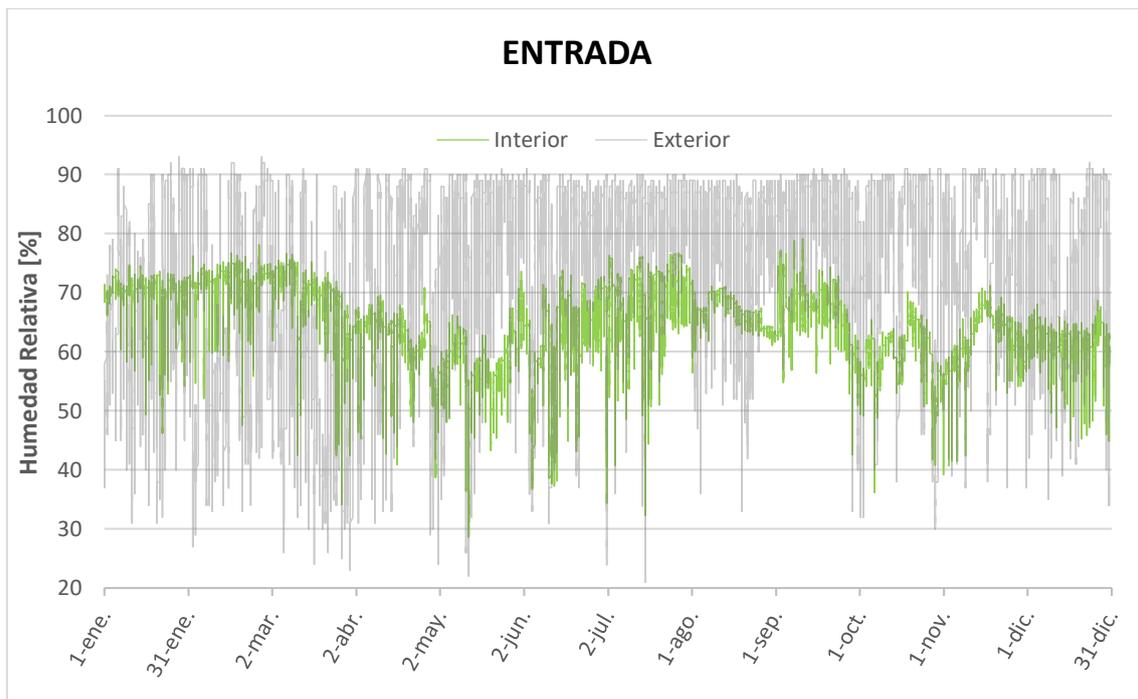


Figura 146. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la entrada

2.1.2.3 Entrada Derecha

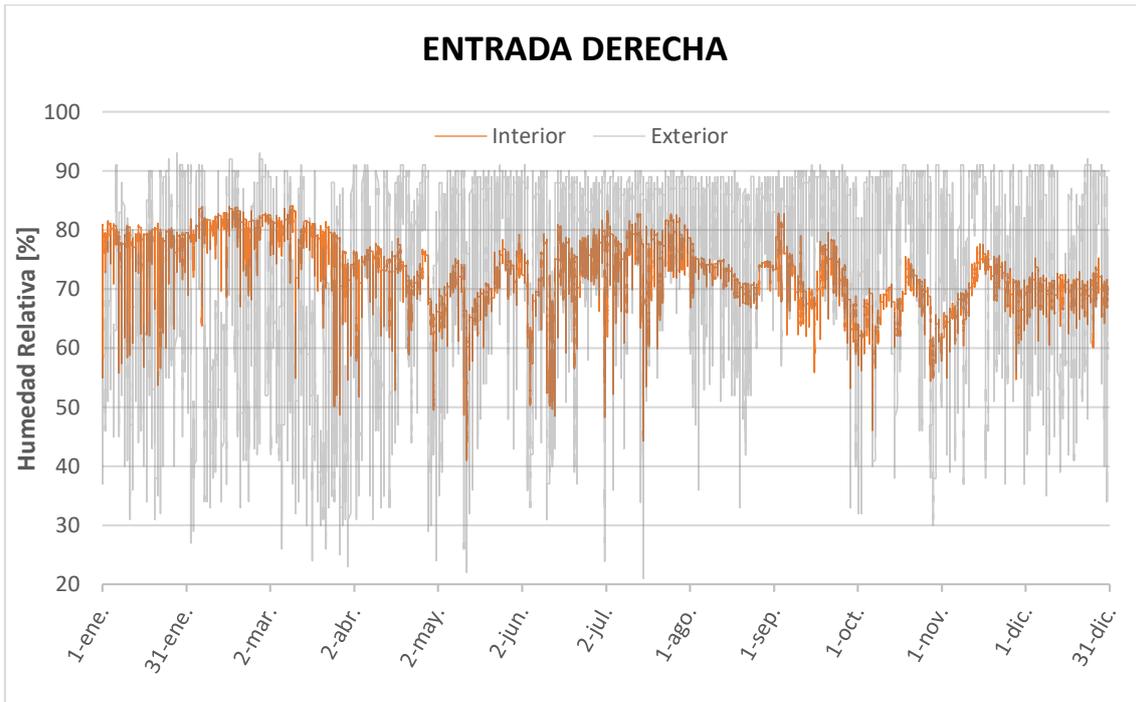


Figura 147. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la entrada derecha

2.1.2.4 Cambra-Cama

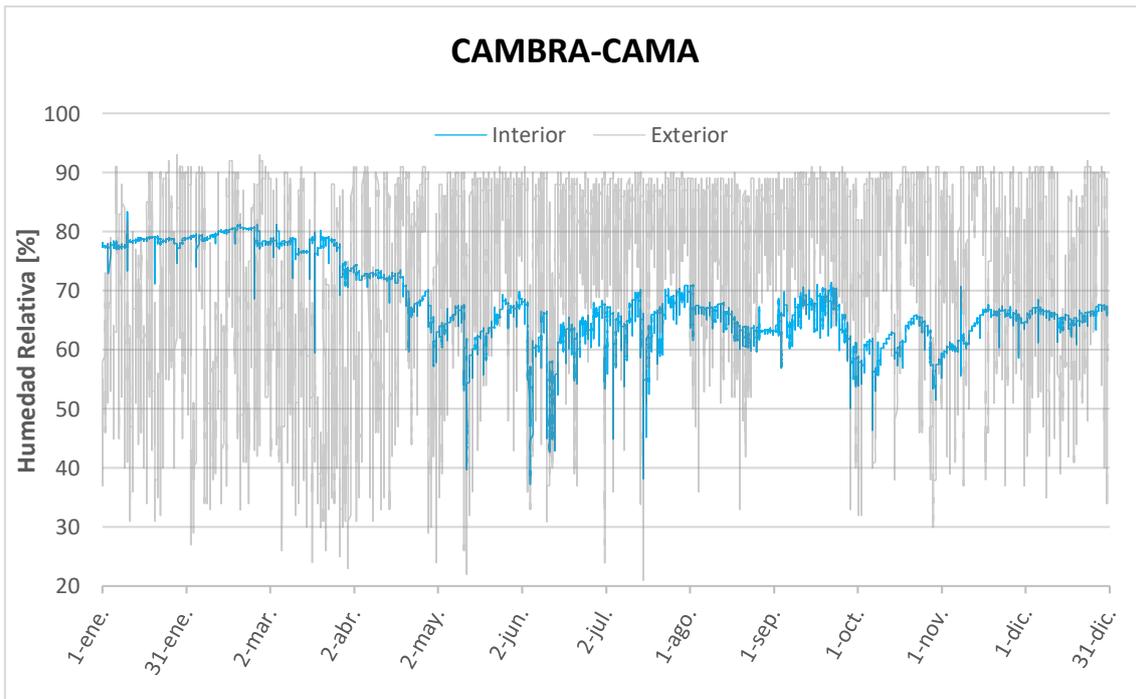


Figura 148. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la cambra-cama

2.1.2.5 Cambra-Columna

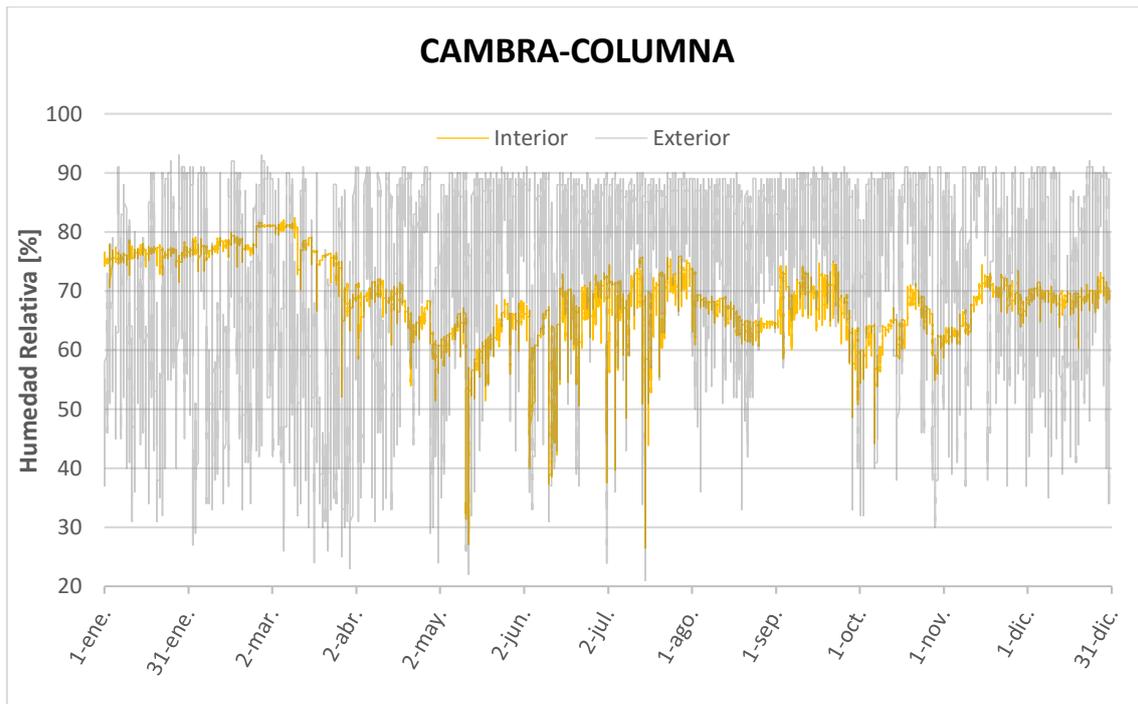


Figura 149. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la cambra-columna

2.2 CURVA DE CARGA ANUAL

Con datos proporcionados por la compañía de energía eléctrica³⁴ se elabora gráficas que puedan mostrar los periodos de consumo energético durante las 8760 horas del año, como se muestra de la Figura 150 a la Figura 153.

2.2.1 Horaria

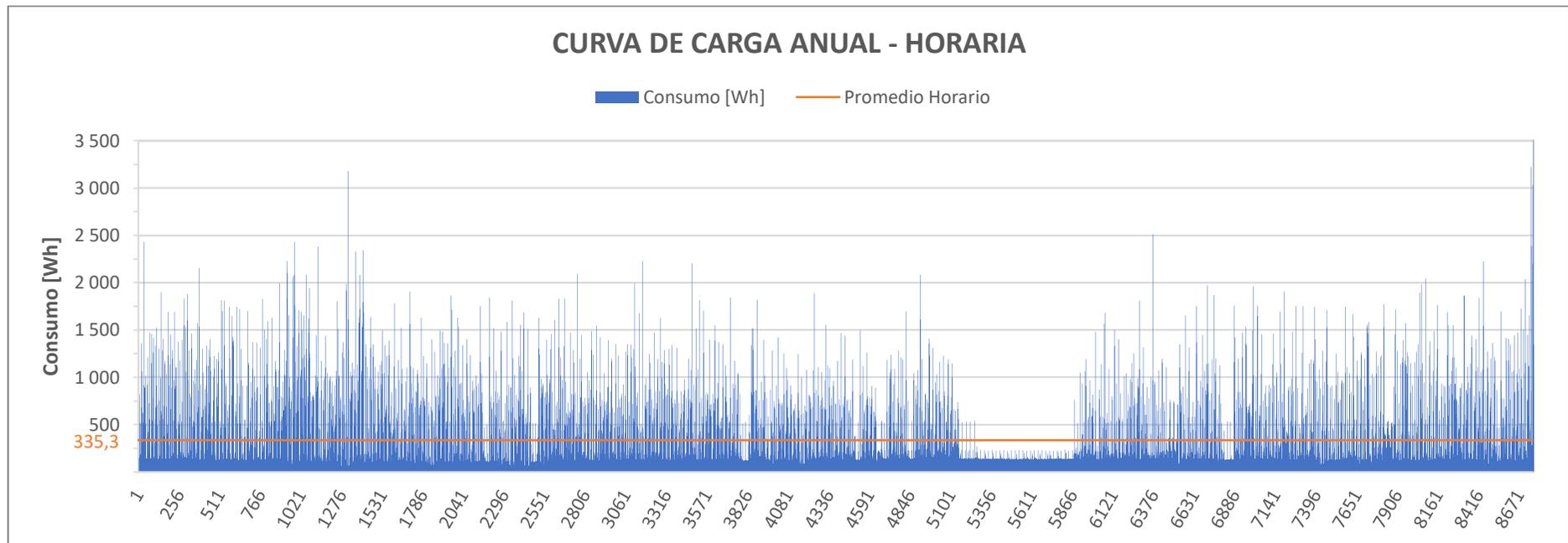


Figura 150. Curva de carga anual - horaria

³⁴ Los datos de energía incremental suministrados son por parte de la compañía Iberdrola durante el 2018, para la ubicación *Partida de Vera, 12 46120 Alboraya-Valencia*.

2.2.2 Diaria

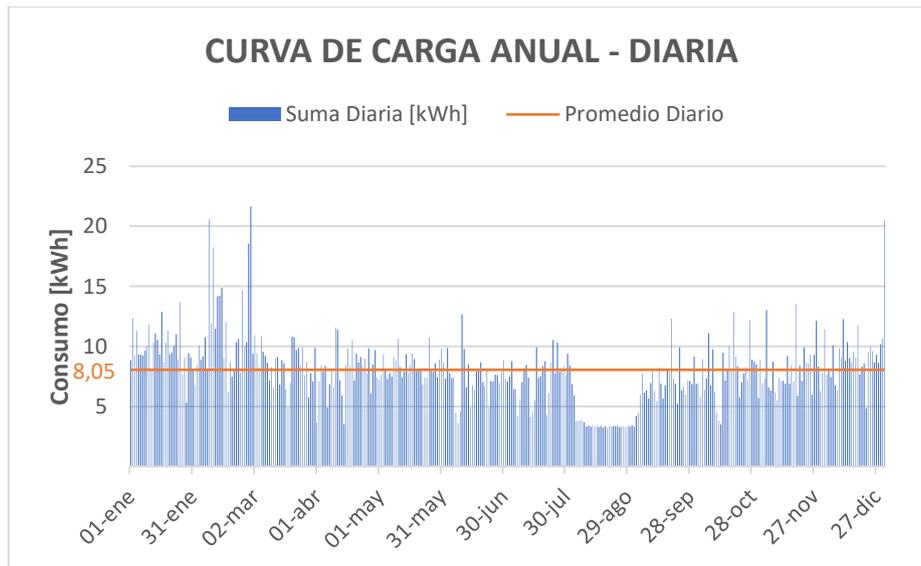


Figura 151. Curva de carga anual - diaria

2.2.3 Mensual

Se puede notar que el mes de menor consumo eléctrico es agosto, a causa de que la familia se encuentra la mayor parte de días en vacaciones por lo que están fuera de casa. Mientras el mes de mayor consumo es febrero, debido a que se tiene los días más fríos del año y la familia permanece mayor tiempo en la vivienda, por lo que es cuando más se utiliza la electricidad.

Es en base a estos consumos mensuales que se usan para aproximar el consumo por equipo, como en el capítulo 4.4.2, para posteriormente estimar las ganancias de calor con la ayuda del software.

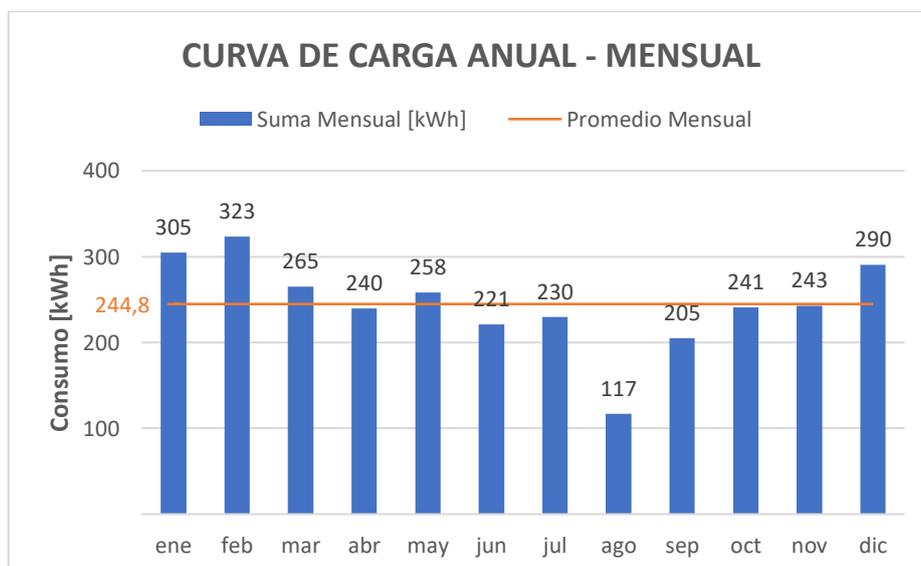


Figura 152. Curva de carga anual - mensual

2.2.4 Total

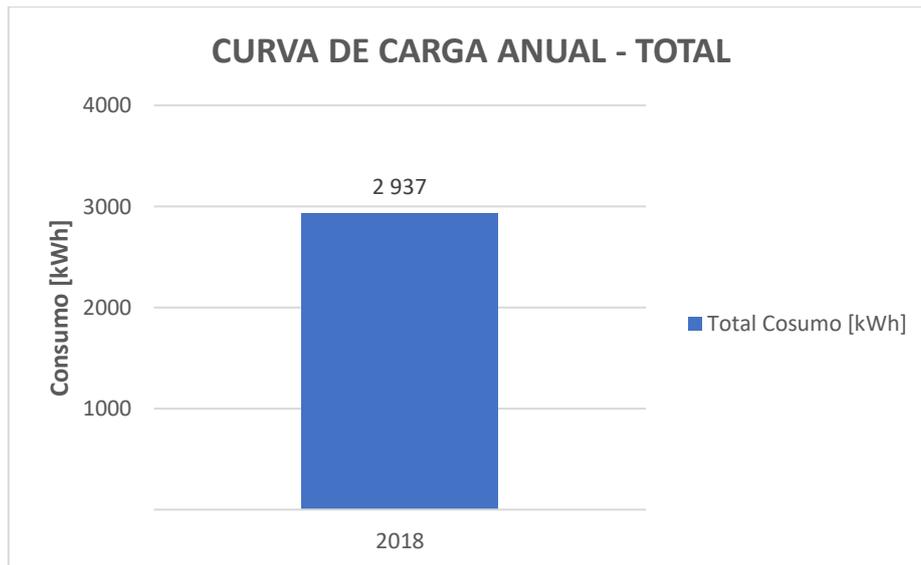


Figura 153. Curva de carga anual - total

Se ha establecido que el consumo límite de EPNR³⁵ según la vigente normativa del CTE-2019 DB-HE-0 para uso residencial privado es 55 kWh/m²·año en zona climática de invierno tipo B. Conociendo que, este consumo de EPNR para un edificio basa el límite en el consumo de calefacción, refrigeración y ACS, y puesto que el consumo de 2937 kWh_{eléctricos} de la vivienda no está basado en cargas de calefacción y refrigeración, sino simplemente el consumo de los equipos, se ha planteado el uso de una bomba de calor con un control de temperatura entre 19-27 °C, como se lo indica en el Capítulo 6.2.2, y realizando el cálculo en base a estos parámetros se tiene que la vivienda estaría consumiendo 31.98 kWh_{EPNR}/m², así de esta manera cumpliendo con la actual normativa.

³⁵ Acrónimo de Energía Primaria No Renovable.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] A. Martínez Ibernón, «Estudio energético de vivienda típica valenciana: ajuste del modelo y optimización energética,» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2015.
- [2] Ministerio para la Transición Ecológica, Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030, Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2019.
- [3] J. Crespo Ruiz de Gauna, J. Soto Alfonso, R. Royo Pastor y N. Díaz Antón, Guía del estándar Passivhaus - Edificios de consumo energético casi nulo, Madrid, Comunidad de Madrid: Dirección General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid, 2011.
- [4] ENERGIEHAUS ARQUITECTOS S.L.P., «Energiehaus Edificios Pasivos,» [En línea]. Available: <http://www.energiehaus.es/passivhaus/funcionamiento-una-passivhaus/#diseno>. [Último acceso: diciembre 2019].
- [5] Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE - Ahorro de Energía, Madrid, Comunidad de Madrid: Documentos CTE, 2019.
- [6] National Renewable Energy Laboratory (NREL), «EnergyPlus,» U.S. Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO), 2001. [En línea]. Available: <https://energyplus.net/weather/sources#IWEC>. [Último acceso: 31 Marzo 2019].
- [7] TRNSYS17, Weather Data, vol. 8, University of Wisconsin-Madison, Ed., Madison, Wisconsin: Solar Energy Laboratory, 2012, p. 7.
- [8] Instituto Eduardo Torroja de ciencias de la construcción, Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, Madrid, Comunidad de Madrid: Boletín Oficial del Estado, 2010.
- [9] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), Guía técnica de ahorro y recuperación de energía en instalaciones de climatización, vol. 9, Madrid, Comunidad de Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2012.
- [10] American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, ASHRAE Fundamentals, Atlanta, Georgia: ASHRAE Handbook, 2017, p. 18.1.
- [11] TRNSYS17, Multizone Building modeling with Type56 and TRNBuild, vol. 5, University of Wisconsin-Madison, Ed., Madison, Wisconsin: Solar Energy Laboratory, 2012, p. 15.
- [12] Asociación Técnica Española de Climatización y Refrigeración (ATECYR), Guía técnica de procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios, vol. 13,

Madrid, Comunidad de Madrid: Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, 2008.

- [13] Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HS - Salubridad, Madrid, Comunidad de Madrid: Documentos CTE, 2017, pp. 61-62.
- [14] Zehnder, «Catálogo técnico Zehnder ComfoAir 180,» Zehnder Group Ibérica Indoor Climate, S.A., [En línea]. Available: <https://www.zehnder.es/downloads/csy>. [Último acceso: 02 noviembre 2019].
- [15] J. Holton Wilson y B. Keating, Pronóstico en los negocios, México D.F.: Mc Graw Hill, 2007.
- [16] N. Heijmans, P. Wouters y C. Delmotte, «Impact of the uncertainties on wind pressures on the prediction of thermal comfort performances,» Bruselas.
- [17] TRNFLOW, A module of an air flow network for coupled simulation with TYPE 56 (multi-zone building of TRNSYS), Madison, Wisconsin: Solar Energy Laboratory, 2009, p. 9.

FUENTE DE FIGURAS

- Figura 143. Temperatura interior del sensor ubicado en la cambra-cama. *Elaboración propia*
- Figura 144. Temperatura interior del sensor ubicado en la cambra-columna. *Elaboración propia*
- Figura 1. Optimización de superficie de ventanas en la fachada sur. Ana Martínez 1, en condición descubierta. *Manual TRNFlow*
- Figura 2. Optimización avanzada de superficie de ventanas. *Ana Martínez*
- Figura 3. Demanda total anual para cada estrategia de optimización. *Elaboración propia*
- Figura 4. Emisiones de CO₂ equivalente por sector. Histórico y proyección a 2030. *Ministerio para la Transición Ecológica, 2019*
- Figura 5. Consumo de energía final en el sector residencial. *Elaborada a partir del PNIEC*
- Figura 6. Previsión indicativa anual de viviendas rehabilitadas energéticamente del 2021-2030. *Ministerio para la Transición Ecológica, 2019*
- Figura 7. Jerarquía de cumplimiento de las leyes. *Elaboración propia*
- Figura 8. Normativa española vigente respecto a eficiencia energética. *Elaboración propia*
- Figura 9. Renovación de aire para enfriar mediante de tubos enterrados. *Internet*
- Figura 10. Comportamiento de un edificio con diferente inercia térmica. *Internet*
- Figura 11. Categorías Passivhaus según el factor de EPR consumida y producida. *Passive House Institute*
- Figura 12. Límite del consumo de Energía Primaria total para uso residencial privado. *CTE DB-HE-0 2019*
- Figura 13. Distancia de las estaciones meteorológicas. *Google Maps*
- Figura 14. Radiación solar (E). *Propia*
- Figura 15. Dirección y velocidad del viento (E). *Propia*
- Figura 16. H. Relativa y temperatura ambiente (E). *Propia*
- Figura 17. Presión atm. y profundidad nieve (E). *Propia*
- Figura 18. Radiación solar (M). *Propia*
- Figura 19. Dirección y velocidad del viento (M). *Propia*
- Figura 20. H. Relativa y temperatura ambiente (M). *Propia*
- Figura 21. Radiación solar promedio mensual (izq.) y acumulada (der.), (U). *Propia*
- Figura 22. Dirección y velocidad del viento (U). *Propia*
- Figura 23. H. Relativa y temperatura ambiente (U). *Propia*
- Figura 24. Comparación de la Rad. Global Horizontal. *Propia*
- Figura 25. Comparación de la Temperatura Ambiente. *Propia*
- Figura 26. Comparación de la Humedad Relativa. *Propia*
- Figura 27. Comparación mediante perfil de curva de la Temperatura Ambiente. *Propia*
- Figura 28. Comparación de la HR = $f(T^{\circ})$. *Propia*
- Figura 29. Comparación de la Dir.Viento = $f(T^{\circ})$. *Propia*
- Figura 30. Formato que contiene el archivo de la UPV para su reconocimiento en TRNSYS. *Elaboración propia*
- Figura 31. Orientación del edificio y la influencia solar en determinada estación. *Elaboración propia*
- Figura 32. Fachadas del edificio incluido dimensiones principales de fachadas y huecos. *Elaboración propia*
- Figura 33. Distribución de los espacios del edificio, PB (arriba) y P1 (abajo). *Elaboración propia*
- Figura 34. Zonas térmicas del edificio, PB (izq.) y P1 (der.). *Elaboración propia*
- Figura 35. Factores que intervienen en la radiación de onda corta. *Internet*

- Figura 36. Esquema del intercambio de calor que realiza un Recuperador. *Elaboración propia*
- Figura 37. Origen de la diferencia entre ganancia de calor instantánea y carga térmica. *ASHRAE Fundamentals, Cap. 18*
- Figura 38. Balance térmico de convección en una zona térmica. *Manual de TRNSYS, Vol. 5*
- Figura 39. Balance térmico de radiación hacia paredes y ventanas. *Manual de TRNSYS, Vol. 5*
- Figura 40. Ganancias de calor actantes en la simulación energética. *Elaboración propia*
- Figura 41. Tipos de ganancia por la forma que entra al edificio. *Elaboración propia*
- Figura 42. Programación horaria de ocupación de la vivienda. *Elaboración propia*
- Figura 43. Programación horaria de ocupación, estilo gráfico circular. *Elaboración propia*
- Figura 44. Pérdida de energía en forma de calor de bombillas. *Revista Muy Interesante #455, pg. 82*
- Figura 45. Transferencia de calor convectiva (izq.) y radiante (der.) de un equipo. *Internet*
- Figura 46. Gráfico de barras del consumo por período de factura. *Elaboración propia*
- Figura 47. Vinculación al modelo de horarios variables para equipos e iluminación. *Propia*
- Figura 48. Horario diario variable de la cocina de inducción. *Elaboración propia*
- Figura 49. Horario diario variable del frigorífico combi. *Elaboración propia*
- Figura 50. Horario anual variable del convector eléctrico. *Elaboración propia*
- Figura 51. Horario diario variable de la iluminación. *Elaboración propia*
- Figura 52. Horario diario durante todo el año para equipos. *Elaboración propia*
- Figura 53. Pasos a seguir para el ajuste del modelo. *Elaboración propia*
- Figura 54. Modelo para ajuste de elementos constructivos con TRNSYS. *Elaboración propia*
- Figura 55. Ajuste de elementos constructivos sin aislamiento en muros exteriores. *Propia*
- Figura 57. HR en ajuste de elementos constructivos sin aislamiento de muro exterior. *Propia*
- Figura 58. Ajuste de elementos constructivos con aislamiento en muros exteriores. *Propia*
- Figura 59. Comparación de temperaturas de las dos plantas de la vivienda. *Propia*
- Figura 60. HR en ajuste de elementos constructivos con aislamiento de muro exterior. *Propia*
- Figura 61. Modelo para ajuste de ganancias internas con TRNSYS. *Elaboración propia*
- Figura 56. Detalle del ajuste de elementos constructivos del 6 al 8 de febrero. *Propia*
- Figura 62. Ajuste de ganancias internas. *Elaboración propia*
- Figura 64. Comparación de temperaturas entre plantas, incluido ganancias internas. *Propia*
- Figura 65. HR en ajuste de ganancias internas. *Elaboración propia*
- Figura 66. Cuantificación de las ganancias internas producidas en cada zona. *Propia*
- Figura 67. Cuantificación de las ganancias por convección y radiación totales. *Propia*
- Figura 68. Flujos de aire para la ventilación mecánica. *Elaboración propia*
- Figura 69. Intercambio de calor a través de los flujos de aire en el recuperador. *Propia*
- Figura 70. Ventilación natural cruzada. *Elaboración Propia*
- Figura 71. Control de la ventilación en función de cada época del año. *Elaboración Propia*
- Figura 72. Modelo para ajuste de implementar la ventilación con TRNSYS. *Elaboración Propia*
- Figura 73. Ajuste de probar implementando solo la ventilación natural. *Elaboración Propia*
- Figura 76. Ajuste de probar implementando solo la ventilación mecánica. *Elaboración Propia*
- Figura 79. Ajuste de implementar la ventilación natural y mecánica. *Elaboración Propia*
- Figura 80. Detalle del ajuste de ventilación natural y mecánica del 14 al 22 de junio. *Propia*
- Figura 81. Modelo para refinar el ajuste modificando hábitos energéticos con TRNSYS. *Propia*
- Figura 82. Refinar el ajuste modificando hábitos energéticos. *Elaboración Propia*

- Figura 83. Detalle de refinar el ajuste modificando hábitos energéticos del 11-18 agosto. *Propia*
- Figura 84. Detalle de refinar el ajuste modificando hábitos energéticos, 26-oct al 2-nov. *Propia*
- Figura 85. Humedad Relativa modificando hábitos energéticos. *Elaboración Propia*
- Figura 86. Modelo para contrastar con archivos EnergyPlus y Meteronorm. *Propia*
- Figura 87. Contraste sin refinar el modelo. EnergyPlus, Meteoronorm, UPV. *Elaboración Propia*
- Figura 88. Contraste refinado el modelo. EnergyPlus, Meteoronorm, UPV. *Elaboración Propia*
- Figura 90. Control de temperaturas implementando un sistema activo. *Elaboración Propia*
- Figura 91. Demanda de calefacción, refrigeración y energía demandada de la vivienda. *Elaboración Propia*
- Figura 92. Inercia térmica real vivienda durante una semana de febrero. *Elaboración Propia*
- Figura 77. Detalle del ajuste de ventilación mecánica del 16 de febrero al 4 de marzo. *Propia*
- Figura 93. Creación de una zona térmica (izq.) y zona térmica finalizada (der.). *Propia*
- Figura 94. Creación de los huecos en la superficie de la zona térmica. *Elaboración propia*
- Figura 78. Detalle del ajuste de ventilación mecánica del 16 al 27 de agosto. *Propia*
- Figura 96. Tipos de Construcciones preddefinidas en Trnsys3D. *Ventana de Trnsys3D*
- Figura 97. Definición manual de adyacencia en una superficie. *Elaboración propia*
- Figura 95. Diseño final 3D del edificio visto en perspectiva transparente. *Elaboración propia*
- Figura 98. Identificación de las adyacencia para la zona SalonCocina. *Elaboración propia*
- Figura 75. Detalle del ajuste de ventilación natural del 10 al 14 de julio. *Elaboración propia*
- Figura 99. Identificación de las adyacencia para la zona Aseo. *Elaboración propia*
- Figura 100. Identificación de las adyacencia para la zona Entrada. *Elaboración propia*
- Figura 63. Detalle del ajuste de ganancias internas de 16 al 21 de febrero. *Elaboración propia*
- Figura 101. Identificación de las adyacencia para la zona Cambra. *Elaboración propia*
- Figura 102. Comprobación de la adyacencia en una superficie. *Elaboración propia*
- Figura 103. Creación de un proyecto con Simulation Studio. *Elaboración propia*
- Figura 104. Archivos generados al crear un proyecto en TRNSYS. *Elaboración propia*
- Figura 105. Vinculación del archivo climatológico al Type respectivo. *Elaboración propia*
- Figura 106. Perfil de temperatura del suelo en función del día del año. *Elaboración propia*
- Figura 107. Perfil de temperatura del suelo en función de la profundidad. *Elaboración propia*
- Figura 108. Parámetros requeridos para calcular la temperatura de suelo. *Elaboración propia*
- Figura 109. Sustitución del Type56 por uno compatible con TRNFlow. *Elaboración propia*
- Figura 110. Números de superficie según la orientación de la fachada. *Elaboración propia*
- Figura 111. Cálculo para la radiación horizontal usando datos externos. *Elaboración propia*
- Figura 112. Conexión de la radiación horizontal al Building usando datos externos. *Propia*
- Figura 113. Interfaz del Airnode para una zona térmica en TRNBild. *Captura de TRNBild*
- Figura 114. Inputs por defecto del Type56. *Captura de TRNBild*
- Figura 115. Cuadro para la creación de cerramientos opacos. *Captura de TRNBild*
- Figura 116. Cuadro para la creación de un nuevo material en TRNBuid. *Captura de TRNBuid*
- Figura 117. Cuadro para definir el acristalamiento y marco de un hueco. *Captura de TRNBuid*
- Figura 118. U-value del PVC según Catálogo del CTE. *Captura de Catálogo del CTE*
- Figura 119. Biblioteca de acristalamientos de TRNBuid. *Captura de TRNBuid*
- Figura 120. Asociar el hueco a la superficie respectiva del Airnode. *Captura de TRNBuid*

- Figura 121. Ingreso de potencia radiante y convectiva de equipos. *Captura de TRNBuild*
- Figura 74. Detalle del ajuste de ventilación natural de 21 al 26 de febrero. *Elaboración propia*
- Figura 122. Asociar las ganancias al respectivo Airnode. *Captura de TRNBuild*
- Figura 123. Creación de horarios semanales (izq.) y diarios (der.). *Captura de TRNBuild*
- Figura 124. Concepto de acoplamiento de TRNFlow. *Manual de TRNFlow*
- Figura 126. Cuadro del administrador de External Node en TRNFlow. *Captura de TRNFlow*
- Figura 125. Valores Cp para relación de geometría 2
- Figura 127. Cuadro del administrador de Auxiliary Node en TRNFlow. *Captura de TRNFlow*
- Figura 128. Definición de la altura del nodo. *Manual de TRNFlow*
- Figura 129. Cuadro administrador del Thermal Airnode en TRNFlow. *Captura de TRNFlow*
- Figura 130. Cuadro administrador de Large Opening en TRNFlow. *Captura de TRNFlow*
- Figura 131. Cuadro administrador de Straight Duct en TRNFlow. *Captura de TRNFlow*
- Figura 132. Cuadro administrador del Fan en TRNFlow. *Captura de TRNFlow*
- Figura 133. Interpretación de la Red de Flujo de Aire en TRNFlow. *Elaboración propia*
- Figura 134. Generación del archivo *.eso para visualizar las temperaturas en 3D. *Elaboración propia*
- Figura 137. Registrador de humedad-temperatura Extech RHT10. *Manual del fabricante*
- Figura 135. Temperatura interior en 3D más alta de la vivienda. *Elaboración propia*
- Figura 138. Archivo con datos unificados de sensores de la vivienda. *Elaboración propia*
- Figura 136. Temperatura interior en 3D más baja de la vivienda. *Elaboración propia*
- Figura 139. Conexión del Type99 de los sensores al modelo. *Elaboración propia*
- Figura 140. Temperatura interior del sensor ubicado en la cocina. *Elaboración propia*
- Figura 141. Temperatura interior del sensor ubicado en la entrada. *Elaboración propia*
- Figura 142. Temperatura interior del sensor ubicado en la entrada derecha. *Elaboración propia*
- Figura 145. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la cocina. *Elaboración propia*
- Figura 146. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la entrada. *Elaboración propia*
- Figura 147. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la entrada derecha. *Elaboración propia*
- Figura 148. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la cambra-cama. *Elaboración propia*
- Figura 149. Humedad relativa interior del sensor ubicado en la cambra-columna. *Elaboración propia*
- Figura 150. Curva de carga anual - horaria. *Elaboración propia*
- Figura 151. Curva de carga anual - diaria. *Elaboración propia*
- Figura 152. Curva de carga anual - mensual. *Elaboración propia*
- Figura 153. Curva de carga anual - total. *Elaboración propia*
- Figura 89. Comparación de variación del caudal, 160 m³/h (izq.) y 178 m³/h (der.) del 3 al 7 de febrero. *Elaboración Propia*