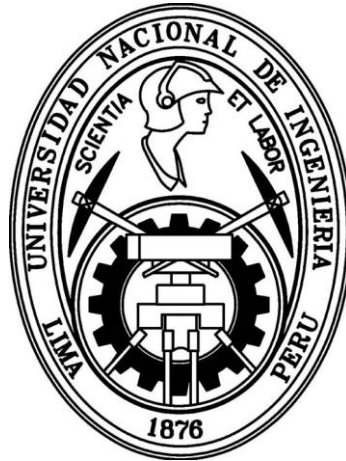


UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

FACULTAD DE CIENCIAS

Unidad de Posgrado y Segunda Especialización Profesional



TESIS

**“EVALUACIÓN SISTEMÁTICA DEL DESEMPEÑO TÉRMICO
DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL DE VIVIENDA ALTO
ANDINA PARA LOGRAR EL CONFORT TÉRMICO CON
ENERGÍA SOLAR”**

**PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN
CIENCIAS CON MENCIÓN EN ENERGÍAS RENOVABLES Y
EFICIENCIA ENERGÉTICA**

ELABORADO POR:

JUAN OMAR MOLINA FUERTES

ASESOR:

Dr. MANFRED HORN MUTSCHLER

LIMA – PERÚ

2017

Agradecimiento

A mi familia:

Por entender mi trabajo durante mis ausencias en casa, y a mi hija Maya que es el motor de mí día a día y me motiva a seguir adelante.

A mis profesores de la maestría:

Dra. Mónica Gómez, Dr. Abel Gutarra, Dr. Javier Verástegui, Mag. Alfredo Oliveros, Mag. Rafael Espinoza, Mag. Ronald Corrales, Dr. Emilio Muñoz, y Dr. Guilles Lefevbre. Asimismo al Dr. Jorge Rojas Menéndez del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México por apoyarme durante la realización de la estancia académica en dicha institución en el manejo de softwares de simulación térmica dinámica en edificaciones.

Al Círculo de Investigación en Ciencia y Tecnología (financiado por Cienciaactiva del CONCYTEC por medio del Convenio N° 024-2016-FONDECYT), que mediante el proyecto, “Desarrollo de materiales y dispositivos para la aplicación de estrategias renovables y medioambientales que permitan el suministro de energía y agua para una vivienda rural sostenible”, me ha permitido afianzarme en la temática del Confort Térmico.

Y de manera especial, agradezco el apoyo Dr. Manfred Horn Mutschler por haberme orientado en el desarrollo del presente trabajo. A todas y cada una de las personas que de una manera directa o indirecta han colaborado para lograr este objetivo.....! GRACIAS ;

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
I. INTRODUCCIÓN	3
1.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	5
1.4 HIPÓTESIS.....	7
1.5 JUSTIFICACIÓN.....	7
1.6 METODOLOGÍA	7
1.7 ANTECEDENTES DEL CONFORT TÉRMICO EN EL PERÚ Y EN EL MUNDO	7
1.7.1 Caso peruano	7
1.7.2 Caso mundial	18
II. MARCO TEÓRICO.....	24
2.1 METEOROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA	24
2.2 EL CLIMA DEL PERÚ.....	24
2.3 VIVIENDA Y SALUD.....	25
2.3.1 Vivienda alto andina en el Perú.....	25
2.4 CONFORT TÉRMICO	26
2.4.1 Regulación de la temperatura del cuerpo	26
2.4.2 Termorregulación del cuerpo humano.....	27
2.4.3 Condiciones que proveen confort térmico.....	27
2.4.4 Parámetros ambientales del confort térmico o comodidad térmica.....	28
2.4.5 Factores personales	29
2.5 MEDICIÓN DEL CONFORT TÉRMICO	30
2.5.1 Enfoque cuantitativo	30
2.5.2 Enfoque cualitativo o adaptativo	31
2.5.3 Zona de confort térmico	32
2.5.4 Estrategias de confort térmico	33
2.5.5 Diagrama psicrométrico de Givoni y Olgyay	34
2.6 PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DE LOS MATERIALES	35
2.6.1 Conductividad térmica (k).....	35
2.6.2 Densidad (ρ).....	36
2.6.3 Calor específico (c).....	36
2.6.4 Difusividad térmica (a),	36
2.6.5 Efusividad térmica (b).....	36
2.6.6 Inercia térmica	36
2.7 FUNDAMENTOS Y BALANCES ENERGÉTICOS EN VIVIENDAS Y/O EDIFICACIONES.....	36
2.7.1 Fundamentos de transferencia de calor.....	37
2.7.2 Balance térmico en viviendas y/o edificaciones.....	42
2.7.3 Pérdidas y ganancias de calor o energía.....	43
2.8 LA ENERGÍA SOLAR COMO FUENTE DE CALEFACCIÓN NATURAL	46
2.9 SIMULACIÓN TÉRMICA DINÁMICA UTILIZANDO SKETCHUP, OPENSTUDIO Y ENERGYPLUS	47
2.9.1 Instalación de OpenStudio	49
2.9.2 Herramientas de OpenStudio	50
2.9.3 Creación de espacios y asignación de zonas térmicas.....	50
2.9.4 Creación de subsuperficies (ventanas y puertas).....	51
2.9.5 Interseccionar superficies comunes a espacios diferentes (Surface Matching)	51
2.9.6 Creación de zonas térmicas	52
2.9.7 Guardar archivo en formato OSM	53
2.9.8 Herramienta Inspector.....	53
2.9.9 Interfaz OpenStudio	54
2.9.10 Cargar el archivo de clima “Site”	54
2.9.11 Creación de calendarios “Shedule”	55
2.9.12 Creación de elementos constructivos “Construction”	56

2.9.13	Cargas térmicas	57
2.9.14	Tipos de espacios	57
2.9.15	Espacios	58
2.9.16	Zonas térmicas y sistemas de climatización.....	58
2.9.17	Ejecución de la simulación	58
2.9.18	Resumen de resultados.....	59
2.9.19	Validación de la simulación.....	59
III.	ESTUDIO DE CASO: COMUNIDAD DE SAN FRANCISCO DE RAYMINA	60
3.1	CARACTERÍSTICAS DEL LUGAR	60
3.2	COSTUMBRES, GASTRONOMÍA Y TURISMO RURAL.....	61
3.3	LAS VIVIENDAS EN RAYMINA Y SU SISTEMA CONSTRUCTIVO.....	62
3.3.1	Situación.....	62
3.3.2	Tipología.....	62
3.4	TECNOLOGÍAS SOLARES E INFRAESTRUCTURA EN SAN FRANCISCO DE RAYMINA.....	64
3.5	MÓDULO EXPERIMENTAL DE VIVIENDA (MEV)	65
3.5.1	Técnicas bioclimáticas y sistemas de calefacción en el MEV.....	65
IV.	DESARROLLO EXPERIMENTAL	71
4.1	SITUACIÓN DEL MEV PREVIO AL PRESENTE TRABAJO.....	71
4.2	EXPERIMENTACIÓN CON EL MEV	71
4.2.1	Instalación de la instrumentación de toma de datos.....	71
4.2.2	Plan de experimentación desarrollado en el MEV.....	74
4.2.3	Simulación del MEV utilizando EnergyPlus	75
V.	RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DEL MEV	76
5.1	CONDICIONES CLIMÁTICAS EXTERIORES	76
5.2	TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS INTERIOR Y EXTERIOR.....	79
5.3	OSCILACIONES DE TEMPERATURAS MEDIAS HORARIAS SEGÚN CONFIGURACIONES DE MEDIDAS.....	83
5.4	TEMPERATURAS Y ENERGÍA EN EL SISTEMA MURO RADIANTE.....	90
5.5	TEMPERATURAS Y ENERGÍA EN EL TUBO RADIANTE.....	95
5.6	TEMPERATURAS PISO – INTERIOR – TECHO (CIELO RASO): ESTRATIFICACIÓN	99
5.7	TRANSMITANCIA TÉRMICA DEL MEV SEGÚN NORMA EM.110	102
5.7.1	Transmitancia térmica máxima del muro del MEV (U_{muro}) –zona alto andina.....	102
5.7.2	Transmitancia térmica máxima del techo del MEV (U_{techo}) –zona alto andina.....	104
5.7.3	Transmitancia térmica máxima del piso del MEV (U_{piso}) –zona alto andina.....	105
5.7.4	Transmitancias térmicas de otros elementos que componen la envolvente del MEV	106
5.8	ANÁLISIS TÉRMICO EN LA ENVOLVENTE Y CERRAMIENTOS DEL MEV	106
5.8.1	Pérdidas y ganancias de energía con el MEV sin control de contraventanas, sin sistemas de calefacción, y sin pernoctación ni actividad humana.	108
5.8.2	Pérdidas y ganancias de energía en el MEV con manejo de CV, cargas internas y sistemas de calefacción.....	124
5.9	SIMULACIONES DEL MEV UTILIZANDO OPENSTUDIO Y ENERGYPLUS	135
5.9.1	Caso 1: MEV sin contraventana, sin contrapuerta, sin sistemas de calefacción, y sin ocupación ni actividad humana las 24 horas del día.	140
5.9.2	Caso 2: MEV con contraventanas, con contrapuertas, sin sistemas de calefacción, sin pernoctación ni actividad humana las 24 horas del día	145
5.9.3	Caso 3: MEV con contraventanas, con contrapuertas, con sistemas de calefacción, cocina a gas, pernoctación y actividad humana	147
5.9.4	Otros resultados obtenidos de la simulación	150
VI.	CONCLUSIONES.....	157
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	160
ANEXO	164	

INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. (IZQ.) VISTA DEL SERPENTÍN DEL MURO RADIANTE. (DER.) VISTA DEL TUBO RADIANTE.	6
FIGURA 2. AISLAMIENTO CON MANTAS DE TOTORA. (A) AISLAMIENTO DE TECHO. (B) AISLAMIENTO DE PAREDES INTERIORES. (C) AISLAMIENTO DE LAS PAREDES EXTERIORES. (MEDINA, C.L., 2016).	8
FIGURA 3. (A) ELABORACIÓN DE COLCHÓN AISLADOR CON LANA DE OVEJA. (B) AISLAMIENTO DE TECHO. (C) AISLAMIENTO DE PISO.	9
FIGURA 4. (A) VISTA EXTERIOR DEL MEV. (B) TARRAJEO CON BARRO DEL SERPENTÍN ADOSADO AL MURO DIVISORIO ENTRE LOS AMBIENTES DEL MEV.	10
FIGURA 5. COMUNIDAD DE SAN FELIPE, (A) AISLAMIENTO DE PISOS, (B) VIVIENDA REHABILITADA, (C) VIVIENDA NUEVA. COMUNIDAD DE SANTA ROSA DE TAMBO, (D) MUROS REFORZADOS CON CAÑA BRAVA, (E) CLARABOYAS, (F) VIVIENDA NUEVA.	10
FIGURA 6. VISTA DE LAS TÉCNICAS IMPLEMENTADAS EN UNA VIVIENDA DE AYACUCHO, (A) CLARABOYAS EN EL TECHO CON COBERTURAS DE MADERA, (B) PISO AISLADO, (C) INVERNADERO ADOSADO.	12
FIGURA 7. (A) PREPARACIÓN DEL BARRO, (B) MANTO DE BARRO "TUMBAO", (C) TRASLADO DEL "TUMBAO", (D) COLOCACIÓN DEL "TUMBAO", (E) VISTA DEL "TUMBAO" DESDE EL INTERIOR, (F) VISTA DE LA VIVIENDA CONSTRUIDA EN PUNO.	12
FIGURA 8. (A) MURO DOBLE PARED, (B) TECHO AISLADO CON TOTORA, (C) VISTA DE LA VIVIENDA CONSTRUIDA. (CONDORI A.F., 2014).	14
FIGURA 9. (A) MURO TROMBE, (B) COCINA MEJORADA, (C) VISTA DE LA VIVIENDA CONSTRUIDA. (GRUPO PUCP, 2011).	14
FIGURA 10. (IZQ.) VISTA DE CASAS CARE PERÚ, (CEN.) DUCTO SOLAR EN EL TECHO, (DER.) COCINA MEJORADA. (HARMAN L, 2010).	15
FIGURA 11. EJEMPLO DE ZONA TÉRMICA EN SKETCHUP. (NATIVIDAD J. ET AL., 2012).	17
FIGURA 12. MODELO DE SIMULACIÓN REALIZADO EN SKETCHUP 7.0 ENLAZADO AL ENERGYPLUS. (GÓMEZ, A. ET AL., 2010).	18
FIGURA 13. DIAGRAMA O CARTA PSICROMÉTRICA DE GIVONI. (ADAPTADO DE AGUGLIARO, F.M, 2015).	19
FIGURA 14. (IZQ.) MAPA DE HELADAS DEL PERÚ. (DER.) MAPA DE RADIACIÓN SOLAR DEL PERÚ. (SENAMHI Y ATLAS SOLAR, 2003).	26
FIGURA 15. (A) MÉTODOS PARA DISIPAR EL CALOR RESIDUAL DE UN AUTOMÓVIL Y (B), DE UNA MÁQUINA BIOLÓGICA. (LECHNER, 2015).	27
FIGURA 16. PRINCIPALES FACTORES Y PARÁMETROS QUE AFECTAN EL CONFORT TÉRMICO.	28
FIGURA 17. EJEMPLO DE CÁLCULO DEL CLO. (TORRES, J.L., 2010).	30
FIGURA 18. DIFERENCIAS BÁSICAS ENTRE LOS ENFOQUES DE ESTUDIOS DEL CONFORT TÉRMICO HUMANO. (RINCÓN, J.C., 2015).	31
FIGURA 19. LA ZONA DE CONFORT Y VARIOS TIPOS DE DISCONFORT FUERA DE ESA ZONA QUE SE MUESTRAN EN EL GRÁFICO PSICROMÉTRICO. (ADAPTADO DE LECHNER, 2015).	32
FIGURA 20. UNA MIRADA MÁS DETALLADA A LA ZONA DE CONFORT MUESTRA QUE EN REALIDAD CONSISTE EN DOS ZONAS LIGERAMENTE SUPERPUESTAS. (ADAPTADO DE LECHNER, 2015).	33
FIGURA 21. CUADRO BIOCLIMÁTICO QUE RESUME LAS ESTRATEGIAS DE DISEÑO EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES (CLIMA). (ADAPTADO DE AGUGLIARO, F.M., 2015).	34
FIGURA 22. REPRESENTACIÓN DEL DIAGRAMA PSICROMÉTRICO DE OLGAY. (POZO, C., 2011).	35
FIGURA 23. PRINCIPALES PROCESOS QUE AFECTAN LA TRANSFERENCIA DE CALOR Y MASA A 37	37
FIGURA 24. RESUMEN DE LOS MECANISMOS DE TRANSFERENCIA DE CALOR EN UNA VIVIENDA.	38
FIGURA 25. TRANSFERENCIA UNIDIMENSIONAL DEL CALOR POR CONDUCCIÓN. (INCROPERA, F., 2011).	38
FIGURA 26. EL DESARROLLO DE LA CAPA LÍMITE EN LA TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONVECCIÓN. (ADAPTADO DE INCROPERA, F., 2011).	40
FIGURA 27. INTERCAMBIO DE RADIACIÓN EN UNA SUPERFICIE. (CENGEL, Y., 2011).	41
FIGURA 28. REPRESENTACIÓN DE LAS PÉRDIDAS DE CALOR EN EL MEV.	43
FIGURA 29. REPRESENTACIÓN DE LAS GANANCIAS DE CALOR EN EL MEV.	45
FIGURA 30. TRES TIPOS DE SISTEMAS DE ENERGÍA SOLAR PARA CALEFACCIÓN DE ESPACIOS PASIVOS, (IZQ.) GANANCIA DIRECTA, (CEN.) GANANCIA INDIRECTA, (DER.) GANANCIA CON APORTE DE MASA.	47
FIGURA 31. DIAGRAMA DE FLUJO DE TRABAJO PARA MODELAR Y SIMULAR EL PROBLEMA. (ADAPTADO DE ALGHOUL ET AL., 2017).	48
FIGURA 32. VENTANA DE LA PÁGINA WEB DE OPENSTUDIO PARA DESCARGAR EL PROGRAMA.	49
FIGURA 33. ACTIVACIÓN DE LA BARRA DE HERRAMIENTAS DE OPENSTUDIO PARA SKETCHUP.	49
FIGURA 34. BARRA DE HERRAMIENTAS DE OPENSTUDIO PARA SKETCHUP, ENCERRADO EN RECTÁNGULO NARANJA.	50

FIGURA 35. (A) CREACIÓN DE DIAGRAMAS, (B) CREACIÓN DE ESPACIOS.....	51
FIGURA 36. CREACIÓN DE SUBSUPERFICIES, PUERTAS Y VENTANAS.	51
FIGURA 37. (A) SUPERFICIES INTERIORES SIN INTERSECTAR, (B) SUPERFICIES INTERIORES INTERSECTADAS, COLOR CARACTERÍSTICO PARA ESTE DETALLE ES EL VERDE.	52
FIGURA 38. (A) PASOS A SEGUIR PARA CREAR ZONAS TÉRMICAS, (B) ZONAS TÉRMICAS CREADAS.	52
FIGURA 39. HERRAMIENTAS DE OPENSTUDIO AL INTERIOR DEL RECTÁNGULO EN ROJO PARA DETERMINAR ESPACIOS.	53
FIGURA 40. (A) COLOR POR TIPO DE SUPERFICIE, (B) COLOR POR TIPO DE FRONTERA, (C) COLOR POR NÚMERO DE ZONA TÉRMICA, (D) COLOR POR TIPO DE CONSTRUCCIÓN.	53
FIGURA 41. HERRAMIENTA "INSPECTOR" DE OPENSTUDIO PARA EDITAR NOMBRES DE SUPERFICIES.	54
FIGURA 42. PESTAÑA "SITE" DE OPENSTUDIO PARA EL INGRESO DEL ARCHIVO DE CLIMA.	55
FIGURA 43. CREACIÓN DE HORARIO MANTENIENDO LA TEMPERATURA CONSTANTE A 20°C.	55
FIGURA 44. PESTAÑA "CONSTRUCTION" PARA INGRESAR LOS MATERIALES.	56
FIGURA 45. VENTANA PARA CREAR LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS.	57
FIGURA 46. PESTAÑA "SPACE TYPE" PARA INGRESAR LAS CARGAS TÉRMICAS.	57
FIGURA 47. PESTAÑA "THERMAL ZONE" PARA INGRESAR LOS CALENDARIOS DEL TERMOSTATO.	58
FIGURA 48. PESTAÑA "RUN" PARA EJECUTAR LA SIMULACIÓN.	59
FIGURA 49. FORMATO CARACTERÍSTICO DE LOS ERRORES QUE SE PRESENTAN AL EJECUTAR EL PROGRAMA.	59
FIGURA 50. VISTAS DE LA COMUNIDAD DE SAN FRANCISCO DE RAYMINA.	60
FIGURA 51. VALORES REFERENCIALES DE RADIACIÓN SOLAR MEDIA ANUAL DIARIA EN RAYMINA SEGÚN LEYENDA. (DGER-MINEM, 2003).	60
FIGURA 52. MAPA DE FRECUENCIA DE HELADAS METEOROLÓGICAS DE LA REGIÓN AYACUCHO. (GOBIERNO REGIONAL DE AYACUCHO, 2012).	61
FIGURA 53. PRODUCTOS NATIVOS DE SAN FRANCISCO DE RAYMINA.	62
FIGURA 54. VISTAS DE LAS INFILTRACIONES DE AIRE EN PUERTAS, VANOS Y TECHOS DE UNA VIVIENDA.	62
FIGURA 55. VISTAS DE ALGUNAS VIVIENDAS TÍPICAS EN SAN FRANCISCO DE RAYMINA.	64
FIGURA 56. VISTA DE LA COMUNIDAD DONDE SE SEÑALA LAS TECNOLOGÍAS IMPLEMENTADAS.....	64
FIGURA 58. MEV CON LAS TÉCNICAS ARQUITECTÓNICAS DE AISLAMIENTO PASIVO Y SISTEMAS ACTIVOS DE CALEFACCIÓN SOLAR.	65
FIGURA 59. ESQUEMA EN CORTE TRANSVERSAL DE UNA PORCIÓN DEL PISO INSTALADO EN CADA UNA DE LAS DOS HABITACIONES DEL MEV.	66
FIGURA 60. VISTA DE LAS PAREDES DE ADOBES DEL MEV.	66
FIGURA 61. (IZQ.) IMAGEN DONDE SE SEÑALA LA UBICACIÓN DE LAS PLANCHAS DE POLIURETANO QUE CONFORMA EL CIELO RASO. (DER.) VISTA DESDE EL INTERIOR DE LAS PLANCHAS DE POLIURETANO.	67
FIGURA 62. DETALLE DEL DISEÑO DE LA VENTANA CON DOBLE VIDRIO SEPARADOS 1CM Y MONTADOS SOBRE MARCOS DE MADERA DE 5CM DE ESPESOR.	67
FIGURA 63. CORTE TRANSVERSAL VERTICAL DE LA ESCLUSA FORMADA POR LA PUERTA DE LA HABITACIÓN Y LA CONTRAPUERTA DEL PÓRTICO INTERIOR.	68
FIGURA 64. ESQUEMA DEL SISTEMA DE ALMACENAMIENTO TÉRMICO UTILIZADO.	68
FIGURA 65. DIAGRAMA DE FLUJO DEL FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA MURO RADIANTE.	69
FIGURA 66. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN MURO RADIANTE.	69
FIGURA 67. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL SISTEMA DE CALEFACCIÓN TUBO RADIANTE.	70
FIGURA 68. VISTAS DE LAS INSTALACIONES DEL MEV ENCONTRADAS AL INICIO DE SU REHABILITACIÓN.	71
FIGURA 69. VISTAS DE LAS REPARACIONES REALIZADAS EN VENTANAS Y PUERTAS DEL MEV.	71
FIGURA 70. VISTAS DE LOS DATA LOGGER Y SENSORES DE TEMPERATURA INSTALADOS EN EL MEV.	72
FIGURA 71. (IZQ.) EN CÍRCULO UBICACIÓN DE LOS SENSORES INSTALADOS SOBRE LA SUPERFICIE DEL SERPENTÍN, (DER.) IMAGEN DE DICHO ESQUEMA.	72
FIGURA 72. (IZQ.) ESQUEMA DE LA UBICACIÓN DE LOS SENSORES EN EL PISO, AL CENTRO DEL AMBIENTE, Y TECHO. (DER.) VISTA DE DICHS SENSORES.	73
FIGURA 73. REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DEL MEV Y LA UBICACIÓN DEL TOTAL DE SENSORES INSTALADOS.	73
FIGURA 74. VISTA EN CORTE DEL MEV Y MURO RADIANTE QUE UTILIZA AGUA COMO MEDIO DE ALMACENAMIENTO DE CALOR.....	73
FIGURA 75. (IZQ.) SELLADO DE BOLSAS CONTENEDORAS DE LANA DE ROCA; (CEN.) COLCHONETAS DE LANA DE ROCA CONFECCIONADAS; (DER.) COLOCACIÓN DE COLCHONETAS DEBAJO DEL COLECTOR SOLAR TIPO PISCINA.	75
FIGURA 76. (A) REPRESENTACIÓN DE LAS ZONAS TÉRMICAS. (B) DISEÑO TÍPICO EN SKETCHUP DEL MEV PARA SIMULACIÓN.....	75
FIGURA 77. (IZQ.) GRÁFICA DE ENERGÍA SOLAR ACUMULADA POR MES; (DER.) PROMEDIO DE ENERGÍA SOLAR POR	

MES.....	76
FIGURA 78. GRÁFICA DE TEMPERATURAS MÁXIMA PROMEDIO (TMÁXP), MÍNIMA PROMEDIO (TMÍNP), MEDIA (TMED), MÁXIMA EXTREMA (TMEXT), MÍNIMA EXTREMA (TMEXT); LÍMITES DE CONFORT SUPERIOR (ZCMÁX) E INFERIOR (ZCMÍN), Y TEMPERATURA NEUTRA (TN).....	78
FIGURA 79. GRÁFICA DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS INTERIORES Y EXTERIORES DEL MEV PARA LAS 12 CONFIGURACIONES DE MEDIDA.....	81
FIGURA 80. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA INTERIOR AMBIENTE SUR Y NORTE Y EXTERIOR CON LA ZONA DE CONFORT, LOS NÚMEROS INDICAN LAS CONFIGURACIONES DE MEDIDA.....	82
FIGURA 81. GRÁFICA DE LAS TEMPERATURAS DIARIAS INTERIORES MÁXIMAS Y MÍNIMAS PARA LAS 12 CONFIGURACIONES DE MEDIDAS.....	83
FIGURA 82. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 1. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 1.....	83
FIGURA 83. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 2. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 2.....	84
FIGURA 84. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 3. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 3.....	84
FIGURA 85. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 4. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 4.....	85
FIGURA 86. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS, MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 5. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 5.....	85
FIGURA 87. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 6. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 6.....	86
FIGURA 88. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 7. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 7.....	86
FIGURA 89. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL AMBIENTE EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 8. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 8.....	87
FIGURA 90. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 9. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 9.....	87
FIGURA 91. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 10. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 10.....	88
FIGURA 92. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 11. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 11.....	88
FIGURA 93. (IZQ.) CUADRO QUE REPRESENTA LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y PROMEDIO EN EL AMBIENTE SUR Y NORTE, Y EN EL EXTERIOR, CONFIGURACIÓN 12. (DER.) GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA HORARIA (TMH) DE LA CONFIGURACIÓN 12.....	89
FIGURA 94. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA MEDIA DIARIA A LA ENTRADA Y SALIDA DEL SERPENTÍN SEGÚN ETAPA DE MEDIDA.....	92
FIGURA 95. GRÁFICA DE TEMPERATURA DIARIA MÁXIMA Y MÍNIMA A LA ENTRADA Y SALIDA DEL SERPENTÍN.....	92
FIGURA 96. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL FLUIDO CALOPORTADOR PARA DOS DÍAS DE MEDIDA..	95
FIGURA 97. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL AGUA AL INTERIOR DEL TUBO Y EN SU SUPERFICIE.....	95
FIGURA 98. COMPORTAMIENTO DE LAS TEMPERATURAS DIARIAS MÁXIMA Y MÍNIMA EN EL AGUA Y SUPERFICIE EXTERIOR DEL TUBO RADIANTE.....	98
FIGURA 99. COMPORTAMIENTO DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS (TMD) EN EL AMBIENTE SUR, PISO, INTERIOR, Y TECHO.....	99
FIGURA 100. COMPORTAMIENTO DE LAS TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS (TMD) EN EL AMBIENTE NORTE, PISO, AMBIENTE INTERIOR Y TECHO.....	101
FIGURA 101. (IZQ.) ESQUEMA DE LA COMPOSICIÓN DEL MURO DEL MEV; (DER.) REPRESENTACIÓN DEL CIRCUITO TÉRMICO DEL MURO DEL MEV.....	103

FIGURA 102. ESQUEMA DEL TECHO CON SU REPRESENTACIÓN DE CIRCUITO TÉRMICO.....	105
FIGURA 103. (IZQ.) REPRESENTACIÓN DE LA CONFORMACIÓN DEL PISO; (DER.) CIRCUITO TÉRMICO DEL PISO.....	106
FIGURA 104. VALOR DE TRANSMITANCIA TÉRMICA PARA CADA UNO DE LOS SISTEMAS CONSTRUCTIVOS QUE COMPRENDE EL MEV.....	108
FIGURA 105. VISTAS GRÁFICAS DEL AMBIENTE SUR DEL MEV.	108
FIGURA 106. VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONFIGURACIÓN DE MEDIDA EN EL AMBIENTE SUR DEL MEV.....	109
FIGURA 107. GRÁFICA DE LA PÉRDIDA DE ENERGÍA POR CONFIGURACIONES DE MEDIDA EN MUROS, TECHO Y PISO DEL AMBIENTE SUR DEL MEV.	111
FIGURA 108. REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR ELEMENTO CONSTRUCTIVO DEL AMBIENTE SUR DEL MEV.	111
FIGURA 109. GRÁFICA DE PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR MUROS EN EL AMBIENTE SUR.	112
FIGURA 110. PÉRDIDA DE ENERGÍA POR EL MURO INTERIOR, DEL AMBIENTE SUR (S) HACIA EL AMBIENTE NORTE (N).....	113
FIGURA 111. GANANCIAS DE ENERGÍA POR MUROS, TECHO Y VENTANAS EN EL AMBIENTE SUR DEL MEV.	115
FIGURA 112. REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS GANANCIAS DE ENERGÍA POR MUROS, TECHO Y VENTANAS EN EL AMBIENTE SUR DEL MEV.	115
FIGURA 113. PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE ENERGÍA POR DÍA EN EL AMBIENTE SUR DEL MEV.	116
FIGURA 114. VELOCIDAD HORARIA DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONFIGURACIONES DE MEDIDA EN EL AMBIENTE NORTE DEL MEV.....	117
FIGURA 115. PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR CONFIGURACIONES DE MEDIDA EN MUROS, TECHO Y PISO DEL AMBIENTE NORTE DEL MEV.....	119
FIGURA 116. REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR ELEMENTO CONSTRUCTIVO DEL AMBIENTE NORTE DEL MEV.....	119
FIGURA 117. PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR EL MURO INTERIOR SUR (S) DEL AMBIENTE NORTE.	120
FIGURA 118. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DEL MURO INTERIOR RESPECTO A LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA DE SUR A NORTE Y VICEVERSA.	121
FIGURA 119. GANANCIAS DE ENERGÍA POR MUROS, TECHO Y VENTANAS EN EL AMBIENTE NORTE DEL MEV.....	122
FIGURA 120. REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS GANANCIAS DE ENERGÍA POR MUROS, TECHO Y VENTANAS DEL AMBIENTE NORTE DEL MEV.....	123
FIGURA 121. PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE ENERGÍA POR DÍA EN EL AMBIENTE NORTE DEL MEV.	124
FIGURA 122. PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR MUROS, TECHO Y RENOVACIONES DE AIRE EN EL AMBIENTE SUR DEL MEV.	125
FIGURA 123. REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA EN EL AMBIENTE SUR.	125
FIGURA 124. VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON Y SIN EL USO DE CONTRAVENTANAS EN EL AMBIENTE SUR DEL MEV.	126
FIGURA 125. GRÁFICA PORCENTUAL DE LA REDUCCIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR SEGÚN CONFIGURACIONES DE MEDIDA AL USAR CONTRAVENTANAS (CV) EN EL AMBIENTE SUR DEL MEV.	127
FIGURA 126. GANANCIA DE ENERGÍA POR ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL AMBIENTE SUR.	128
FIGURA 127. REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS GANANCIAS DE ENERGÍA EN EL AMBIENTE SUR.	128
FIGURA 128. GRÁFICA PORCENTUAL DE LAS GANANCIAS DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONFIGURACIONES DE MEDIDA EN EL AMBIENTE SUR UTILIZANDO CONTRAVENTANAS.	129
FIGURA 129. PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR MURO, TECHO Y RENOVACIONES DE AIRE.	130
FIGURA 130. REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA EN EL AMBIENTE NORTE.	131
FIGURA 131. VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON EL USO DE CONTRAVENTANAS EN EL AMBIENTE NORTE DEL MEV.....	132
FIGURA 132. GRÁFICA PORCENTUAL DE LA REDUCCIÓN DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR SEGÚN CONFIGURACIONES DE MEDIDA AL USAR LAS CONTRAVENTANAS (CV) EN EL AMBIENTE NORTE DEL MEV.	132
FIGURA 133. GANANCIA DE ENERGÍA POR ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS EN EL AMBIENTE NORTE.....	133
FIGURA 134. REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS GANANCIAS DE ENERGÍA EN EL AMBIENTE NORTE.....	134
FIGURA 135. REPRESENTACIÓN PORCENTUAL DE LAS GANANCIAS DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR ETAPA DE MEDIDA EN EL AMBIENTE NORTE UTILIZANDO CONTRAVENTANAS.	135
FIGURA 136. REQUERIMIENTO ENERGÉTICO EN CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO DEL MEV.	136
FIGURA 137. GRÁFICA DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO PARA MANTENER LA TEMPERATURA INTERIOR DEL MEV A 20°C.....	137

FIGURA 138. GRÁFICA DE LOS REQUERIMIENTOS DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO PARA MANTENER EL INTERIOR DEL MEV A 16.86°C.	138
FIGURA 139. VENTANA EP-LAUNCH DE INICIO DE SIMULACIÓN DEL ENERGYPLUS.	139
FIGURA 140. VENTANA IDF EDITOR DEL ENERGYPLUS.	139
FIGURA 141. CAMPO PARA DEFINIR LA VERSIÓN DEL ENERGYPLUS.	140
FIGURA 142. CAMPO PARA DEFINIR EL TIPO DE ARCHIVO PARA LA SIMULACIÓN.	140
FIGURA 143. CAMPO PARA INGRESAR LOS PARÁMETROS DEL EDIFICIO.	140
FIGURA 144. CAMPO PARA DEFINIR EL TIPO DE ALGORITMO PARA LA SIMULACIÓN.	140
FIGURA 145. CAMPO PARA INGRESAR DATOS DEL SITIO DONDE SE UBICA EL EDIFICIO.	140
FIGURA 146. CAMPO PARA DEFINIR LOS TIEMPOS DE SIMULACIÓN.	141
FIGURA 147. CAMPO PARA INGRESAR LOS DATOS DE TEMPERATURA MENSUAL DEL SUELO.	141
FIGURA 148. CAMPO PARA CREAR HORARIOS.	141
FIGURA 149. CAMPO PARA CREAR HORARIOS MÁS ESPECÍFICOS.	141
FIGURA 150. CAMPO PARA EL INGRESO DE MATERIALES.	142
FIGURA 151. CAMPO PARA EL INGRESO DE LAS CÁMARAS DE AIRE.	142
FIGURA 152. CAMPO PARA INGRESAR EL MATERIAL DE VENTANA.	142
FIGURA 153. CAMPO PARA DEFINIR EL TIPO DE GAS AL INTERIOR DE LAS CÁMARAS DE AIRE.	142
FIGURA 154. CAMPO PARA DEFINIR EL TIPO DE MATERIAL DE LA CONTRAVENTANA.	143
FIGURA 155. CAMPO PARA CREAR LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL MEV.	143
FIGURA 156. CAMPO DE DETALLES DE LAS PUERTAS Y VENTANAS.	143
FIGURA 157. CAMPO PARA INGRESAR EL CONTROL DE LAS CONTRAVENTANAS.	143
FIGURA 158. CAMPO PARA DEFINIR LAS VARIABLES DE SALIDA DE LA SIMULACIÓN.	144
FIGURA 159. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA DEL AMBIENTE SUR, MEDIDO (T _{I S}) Y SIMULADO (T _{I S} SIM.), FRENTE A LA TEMPERATURA EXTERIOR PARA LA CONFIGURACIÓN 4 DE MEDIDA.	144
FIGURA 160. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA INTERIOR DEL AMBIENTE NORTE, MEDIDO (T _{I N}) Y SIMULADO (T _{I N} SIM.), FRENTE A LA TEMPERATURA EXTERIOR PARA LA CONFIGURACIÓN 4 DE MEDIDA.	144
FIGURA 161. INGRESO DE LAS FECHAS DE LA ETAPA 3 DE MEDIDA.	145
FIGURA 162. CREACIÓN DEL ELEMENTO CONSTRUCTIVO DE LA CONTRAVENTANA.	146
FIGURA 163. HORARIOS PARA EL MANEJO DE LAS CONTRAVENTANAS.	146
FIGURA 164. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA INTERIOR DEL AMBIENTE SUR, MEDIDO (T _{I S}) Y SIMULADO (T _{I S} SIM.), RESPECTO DEL EXTERIOR PARA LA CONFIGURACIÓN DE MEDIDA 3.	146
FIGURA 165. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA INTERIOR DEL AMBIENTE NORTE, MEDIDO (T _{I N}) Y SIMULADO (T _{I N} SIM.), RESPECTO DE LA TEMPERATURA EXTERIOR PARA LA CONFIGURACIÓN DE MEDIDA 3.	147
FIGURA 166. PERIODO DE SIMULACIÓN PARA LA ETAPA 12 DE MEDIDA.	147
FIGURA 167. HORARIO LÍMITE PARA EL NIVEL DE ACTIVIDAD Y CANTIDAD DE PERSONAS.	148
FIGURA 168. HORARIO REDUCIDO PARA LA COCINA A GAS, SERPENTÍN Y TUBO RADIANTE, OCUPACIÓN HUMANA Y PERNOCTACIÓN.	148
FIGURA 169. INGRESO DEL NÚMERO DE PERSONAS Y SU ACTIVIDAD.	148
FIGURA 170. INGRESO DE LOS EQUIPOS A GAS.	148
FIGURA 171. INGRESO DE OTROS EQUIPOS.	149
FIGURA 172. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA INTERIOR EN EL AMBIENTE NORTE, MEDIDA (T _{I N}) Y SIMULADA (T _{I N} SIM.), RESPECTO DEL EXTERIOR PARA LA CONFIGURACIÓN DE MEDIDA 12.	149
FIGURA 173. GRÁFICA DE LA TEMPERATURA INTERIOR DEL AMBIENTE SUR, MEDIDA (T _{I S}) Y SIMULADA (T _{I S} SIM.), RESPECTO DEL EXTERIOR PARA LA CONFIGURACIÓN DE MEDIDA 12.	150
FIGURA 174. RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE SOBRE LA SUPERFICIE EXTERIOR DEL MEV (W/M ²).	150
FIGURA 175. TEMPERATURAS INTERIORES AMBIENTE SUR, MURO ACTUAL Y OPCIÓN 5 DE MURO (YESO, ADOBE, FIBRA DE VIDRIO, ADOBE, YESO).	151
FIGURA 176. TEMPERATURAS INTERIORES AMBIENTE NORTE, MURO ACTUAL Y OPCIÓN 5 DE MURO (YESO, ADOBE, FIBRA DE VIDRIO, ADOBE, YESO).	152
FIGURA 177. TRANSFERENCIA DE CALOR POR CONDUCCIÓN EN EL MURO INTERIOR, DE LA PARED NORTE DEL AMBIENTE SUR (AMB. S PARED N), Y DE LA PARED SUR DEL AMBIENTE NORTE (AMB. N PARED S).	152
FIGURA 178. TEMPERATURA EN LA SUPERFICIE DE LA PARED INTERIOR, SUPERFICIE INTERIOR PARED NORTE DEL AMBIENTE SUR (T _{SUP INT PARED N AMB S}) Y SUPERFICIE INTERIOR PARED SUR AMBIENTE NORTE (T _{SUP INT PARED S AMB N}).	153
FIGURA 179. TEMPERATURA EN LAS SUPERFICIES DEL MURO INTERIOR CON UNA CAPA DE AISLANTE TÉRMICO SOBRE EL MURO SUR DEL AMBIENTE NORTE.	154
FIGURA 180. GRÁFICA PORCENTUAL DE GANANCIAS Y PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR VENTANAS.	155

FIGURA 181. GRÁFICA DEL APORTE DE ENERGÍA POR CARGAS INTERNAS EN LOS AMBIENTES INTERIORES DEL MEV.	155
FIGURA 182. COMPORTAMIENTO DE LA TEMPERATURA INTERNA SEGÚN OPERATIVIDAD DE CONTRAVENTANAS Y CARGAS INTERNAS.	156

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. TIPOS DE TECHOS Y SUS PROPIEDADES TÉRMICAS.	11
TABLA 2. VALORES LÍMITES MÁXIMOS DE TRANSMITANCIA TÉRMICA (U) EN $W/m^2\text{C}$. FUENTE: MVCS, 2014. ...	13
TABLA 3. RESUMEN DEL INCREMENTO DE TEMPERATURA EN BASE A ESTUDIOS DE CONFORT TÉRMICO.	15
TABLA 4. MODELOS DE TEMPERATURA ADAPTATIVA. FUENTE: GÓMEZ-AZPEITIA, ET AL., 2007.	31
TABLA 5. AMPLITUD DE LA ZONA DE CONFORT VS OSCILACIÓN MEDIA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE.	32
TABLA 6. EMISIVIDADES DE ALGUNOS MATERIALES A 300K. FUENTE: Y. CENGEL, 2011.	41
TABLA 7. RESISTENCIAS TÉRMICAS SUPERFICIALES, $1/h_i+1/h_e$ ($m^2\text{C}/W$). FUENTE: NORMA EM.110.	44
TABLA 8. RECORRIDO Y FORMA DE LLEGAR A SAN FRANCISCO DE RAYMINA.	61
TABLA 9. TIPOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE VIVIENDAS EN SAN FRANCISCO DE RAYMINA.....	63
TABLA 10. PLAN DE ETAPA DE MEDIDAS EN EL MEV.	74
TABLA 11. PROMEDIOS DIARIOS Y HORARIOS DE PARÁMETROS METEOROLÓGICOS EXTERIORES DE SAN FRANCISCO DE RAYMINA.....	76
TABLA 12. TEMPERATURAS MEDIAS MENSUALES DEL AIRE EXTERIOR DE SAN FRANCISCO DE RAYMINA. DESDE ENERO A DICIEMBRE DEL 2016, Y DE ENERO A FEBRERO DEL 2017.	77
TABLA 13. TEMPERATURAS EXTREMAS MÁXIMAS Y MÍNIMAS, MEDIAS, LÍMITES MÁXIMOS Y MÍNIMOS DE TEMPERATURA, Y TEMPERATURA NEUTRA PARA RAYMINA.	78
TABLA 14. TEMPERATURA MEDIA DIARIA EN LOS AMBIENTES INTERIORES Y EXTERIORES DEL MEV SEGÚN ETAPAS DE MEDIDA.....	79
TABLA 15. RESUMEN DE LOS INCREMENTOS DE TEMPERATURA SEGÚN ETAPAS DE MEDIDA.	89
TABLA 16. TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS DE ENTRADA Y SALIDA DEL FLUIDO CALOPORTADOR EN EL SERPENTÍN, MÍNIMO (MÍN.), PROMEDIO (PROM.), Y MÁXIMO (MÁX.).....	90
TABLA 17. PROMEDIO DIARIO DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURAS A LA ENTRADA Y SALIDA DEL SERPENTÍN DESDE LAS 8:00AM HASTA LAS 5:00PM.	91
TABLA 18. DATOS PARA EL CÁLCULO DEL APORTE ENERGÉTICO DEL FLUIDO CALOPORTADOR EN EL SERPENTÍN..	93
TABLA 19. ENERGÍA APORTADA POR EL SISTEMA DE CALEFACCIÓN MURO RADIANTE.	94
TABLA 20. TEMPERATURA MEDIA DIARIA DE LA DIFERENCIA DE TEMPERATURA DEL AGUA EN EL TUBO Y EN LA SUPERFICIE EXTERIOR DEL TUBO. MÍNIMA, MÁXIMA Y PROMEDIO.	96
TABLA 21. EJEMPLO DE CÁLCULO DE LA ENERGÍA QUE APORTA EL AGUA EN EL TUBO RADIANTE.	97
TABLA 22. APORTE ENERGÉTICO DEL TUBO RADIANTE SEGÚN ETAPAS DE MEDIDA.	98
TABLA 23. TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS EN EL AMBIENTE SUR, PISO, INTERIOR Y TECHO.	100
TABLA 24. TEMPERATURAS MEDIAS DIARIAS EN EL AMBIENTE NORTE, PISO, AMBIENTE INTERIOR Y CIELO RASO.	101
TABLA 25. VALORES LÍMITES MÁXIMOS DE TRANSMITANCIA TÉRMICA (U) EN $W/m^2\text{C}$. FUENTE: NORMA EM.110.	102
TABLA 26. TRANSMITANCIA TÉRMICA DEL MURO DEL MEV.	103
TABLA 27. TRANSMITANCIA TÉRMICA DEL MURO VIABLE PARA LA ZONA MESOANDINA.	104
TABLA 28. TRANSMITANCIA TÉRMICA DEL MURO VIABLE PARA ZONA MESOANDINA Y ALTOANDINA.	104
TABLA 29. TRANSMITANCIA TÉRMICA DEL TECHO DEL MEV.	104
TABLA 30. TRANSMITANCIA TÉRMICA DEL PISO DEL MEV.....	106
TABLA 31. RESUMEN DE VALORES U.A ($W/^{\circ}C$) DE LOS ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS DEL MEV.	107
TABLA 32. PROMEDIO DIARIOS DE PÉRDIDA DE VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR ETAPAS DE MEDIDA (W).....	109
TABLA 33. PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR ETAPAS DE MEDIDA EN EL AMBIENTE SUR DEL MEV.	110
TABLA 34. PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR MUROS DEL AMBIENTE SUR DEL MEV.	112
TABLA 35. GANANCIA DE ENERGÍA ACUMULADA POR ETAPA DE MEDIDA EN EL AMBIENTE SUR DEL MEV.....	114
TABLA 36. ENERGÍA SOLAR ACUMULADA POR ETAPA DE MEDIDA.	114
TABLA 37. PÉRDIDAS Y GANANCIAS DIARIAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR ETAPAS DE MEDIDA.	116
TABLA 38. PROMEDIOS DIARIOS DE PÉRDIDA DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR POR ETAPA DE MEDIDA (W).....	117
TABLA 39. PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR ETAPAS DE MEDIDA EN EL AMBIENTE NORTE DEL MEV.	118
TABLA 40. PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR LOS MUROS DEL AMBIENTE NORTE DEL MEV.	120
TABLA 41. PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA EN EL MURO INTERIOR, DE SUR A NORTE Y VICEVERSA.	121
TABLA 42. GANANCIAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR ETAPA DE MEDIDA EN EL AMBIENTE NORTE DEL MEV. .	122
TABLA 43. PÉRDIDAS Y GANANCIAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR ETAPA DE MEDIDA EN EL AMBIENTE NORTE.....	123
TABLA 44. PÉRDIDA DE ENERGÍA ACUMULADA POR COMPONENTES CONSTRUCTIVOS EN EL AMBIENTE SUR.....	124

TABLA 45. PROMEDIO DIARIO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LAS PÉRDIDAS POR ETAPA DE MEDIDA.	126
TABLA 46. ENERGÍA ACUMULADA GANADA EN EL AMBIENTE SUR.	127
TABLA 47. VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON Y SIN USO DE CONTRAVENTANA.	129
TABLA 48. PÉRDIDAS DE ENERGÍA ACUMULADA POR COMPONENTES CONSTRUCTIVOS EN EL AMBIENTE NORTE.	130
TABLA 49. PROMEDIO DIARIO DE LA VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR PARA LAS PÉRDIDAS Y GANANCIAS POR ETAPAS DE MEDIDA.	131
TABLA 50. ENERGÍA ACUMULADA GANADA EN EL AMBIENTE NORTE.	133
TABLA 51. VELOCIDAD DE TRANSFERENCIA DE CALOR CON Y SIN USO DE CONTRAVENTANAS.	134
TABLA 52. REQUERIMIENTO MENSUAL DE CARGAS DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO PARA MANTENER LOS AMBIENTES INTERIORES DEL MEV A 20°C.	136
TABLA 53. REQUERIMIENTO MENSUAL DE CARGAS DE CALENTAMIENTO Y ENFRIAMIENTO PARA MANTENER LA TEMPERATURA INTERIOR DE LOS AMBIENTES DEL MEV A 16.86°C.	137
TABLA 54. AUMENTO DE LA TEMPERATURA INTERIOR SEGÚN OPCIONES DE MEJORA DE SISTEMA CONSTRUCTIVO DEL MURO.	151
TABLA 55. GANANCIAS Y PÉRDIDAS DE ENERGÍA POR VENTANAS.	154

RESUMEN

El objetivo general del presente trabajo es comparar el desempeño térmico de un Módulo Experimental de Vivienda (MEV) mediante una evaluación sistemática que comprende una serie de doce configuraciones de medida del MEV, sin operatividad, hasta su operatividad que incluye pernoctación, actividad humana, uso de cocinas a gas, uso de dos sistemas de calefacción solar activos, y la operatividad de contraventanas. Este objetivo se fundamentó en las mediciones de temperatura y humedad considerando la primera como el parámetro principal de análisis térmico para verificar el desempeño térmico del MEV mediante el incremento de temperatura interior respecto al exterior y las ganancias de este mismo parámetro según la operatividad del MEV dado a que la variación entre la temperatura diaria promedio interior y exterior, muestran la eficacia de las estrategias de calentamiento o enfriamiento pasivo. En base a ello, los incrementos de temperatura al interior del MEV considerando una operatividad concienzuda de sus técnicas bioclimáticas implementadas y ganancias internas para alcanzar su comodidad térmica, son del orden de los 9.45°C en promedio y, de hasta 16.62°C en horas críticas de la madrugada respecto a la temperatura exterior de -7.09°C a las 6:00am.

El estudio se complementa con simulaciones térmicas dinámicas utilizando el software EnergyPlus apoyado del entorno gráfico en 3D SketchUp e interfaz OpenStudio para determinar las cargas térmicas de calefacción y refrigeración del MEV considerando la temperatura de neutralidad (16.86°C) constante para el caso en estudio donde se ubica el MEV. Se comprueba el ahorro de las cargas térmicas en un 50% en comparación a mantener el MEV a una temperatura estandarizada constante de 20°C evitando con ello sobreestimar la demanda energética en calefacción o refrigeración. Posteriormente el modelo es validado utilizando el EnergyPlus comparando las mediciones reales realizadas en este módulo de vivienda. Los resultados muestran un buen acuerdo entre la simulación y los datos experimentales, con una diferencia de temperatura promedio entre lo medido y simulado de 0.28°C .

El trabajo realizado es netamente experimental de campo donde se describen el efecto experimental de doce configuraciones de medida incluyendo el efecto de la actividad humana en el desempeño térmico del MEV, a partir de datos obtenidos de las mediciones realizadas desde el 05 de julio del 2016 al 28 de febrero del 2017. El MEV se encuentra ubicado en la comunidad de San Francisco de Raymina, distrito Huambalpa, provincia Vilcashuamán, al Sur de la región Ayacucho. Altura 3700 msnm, Latitud $13^{\circ}45'40''$ Sur y longitud $73^{\circ}51'26''$ Oeste. La situación climática presenta una temperatura media anual de 9.34°C , con una oscilación térmica cercana a los 15°C . La energía solar es típica de las zonas alto andinas con un promedio anual de alrededor $6\text{kWh}/(\text{m}^2\text{día})$. La construcción y evaluación térmica inicial del MEV fue el trabajo de una tesis de maestría (Espinoza, R., 2014). Posteriormente el MEV fue modificado por el autor del presente trabajo, incluyendo varias mejoras y variantes de su operación, y los datos experimentales reportados aquí, como la simulación respectiva, corresponden al MEV actual. Su implementación tuvo en consideración un estudio de clima, estudio de orientación integrado al clima y definición de estrategias bioclimáticas integradas a su envolvente.

La parte I presenta los objetivos, planteamiento del problema, hipótesis, justificación, metodología, y antecedentes nacionales e internacionales en cuanto al estudio del confort térmico. La parte II proporciona una revisión de la literatura y define la meteorología y

climatología, el clima del Perú, vivienda y salud, confort térmico, medición del confort térmico, propiedades termofísicas de los materiales, fundamentos y balances de energía en edificaciones, la energía solar como fuente de calefacción natural y la simulación térmica dinámica utilizando el EnergyPlus con el apoyo de OpenStudio y SketchUp.

La parte III muestra el estudio de caso donde se lleva a cabo el estudio de experimentación del MEV, la parte IV el desarrollo experimental donde se muestra el diagnóstico situacional del MEV previa a su experimentación, a la vez, que se muestra un plan de experimentación de las doce configuraciones de medida llevadas a cabo durante el tiempo que se realizó la investigación.

La parte V final de la tesis analiza los resultados de cada una de las doce configuraciones de medida propuestas para mostrar que las variaciones diarias en la temperatura interior y exterior como resultado en el uso de los materiales y operatividad del MEV brindan la comodidad térmica en sus ambientes interiores. Así mismo, en este mismo apartado, se analiza los resultados de las simulaciones térmicas dinámicas realizadas con EnergyPlus y se validan los resultados simulados y reales comprobándose una buena concordancia que demuestran que la herramienta utilizada es idónea para el análisis térmico involucrando entre sus cálculos, balances energéticos de transferencia de calor dependientes del tiempo (estado transitorio).

I. INTRODUCCIÓN

Hasta hoy en día año tras año entre los meses de junio a agosto principalmente, son noticias de cada día las consecuencias que causa el fenómeno climatológico de la “helada” y frío extremo en las diferentes zonas alto andinas del país. Temperaturas cuyos descensos por las noches en zonas por encima de los 3200msnm y época de helada están por debajo o igual a los 0°C, mientras que, en localidades por encima de los 4200msnm las temperaturas se intensifican llegando a alcanzar valores cercanos a los -18°C (SENAMHI, 2016). Estas condiciones climáticas al sobrepasar los umbrales de adaptación de la población pueden ocasionar daños a la vida, salud, educación, actividad agrícola y ganadera e infraestructura, principalmente las poblaciones que se encuentran en situación de alta vulnerabilidad, sea por su condición social (pobreza y pobreza extrema), por su edad (niños, niñas, adultos mayores, etc.) y ubicación territorial (Presidencia del Consejo de Ministros, 2016). Hasta fines de junio de 2016, el INDECI¹ informó que las bajas temperaturas habían afectado la salud de 257.251 personas (51% de ellas en Puno y 21% en Cusco). El reporte del INDECI también registró que al menos 48 niños menores de 5 años murieron por causas relacionadas con el frío entre mediados de abril y el 20 de junio (El Comercio, 2016).

Ante esta situación y para paliar estas consecuencias, una alternativa es que las poblaciones cuenten con viviendas dignas donde los materiales locales predominen en su construcción y donde las fuentes naturales de energía como la solar, sean consideradas de manera obligatoria en la etapa de diseño debido a que en las zonas alto andinas y principalmente al Sur del país, la radiación solar bordea anualmente los 6kWh/m²día (Horn, M., 2006).

El Perú es un país de topografía muy variada, de gran diversidad climática y condiciones excepcionales que le confieren un elevado potencial de energías renovables. Sin embargo, para hacer posible el diseño de políticas y medidas para incentivar el mayor uso de estas energías limpias que promuevan el desarrollo especialmente en zonas rurales, es necesario e indispensable cuantificar esta disponibilidad así como conocer su distribución temporal en el territorio (SENAMHI, 2003a).

Asimismo, las instituciones de diversas índoles sean privadas, estatales y ONGs, tienen que realizar la transferencia de tecnología en base a estudios y experiencias realizados sobre el clima, materiales locales, y el **confort térmico**². Materiales locales cuyos conocimientos ancestrales de buenas prácticas constructivas se han perdido al pasar los años y tienen que recuperarse añadiendo estudios y técnicas modernas en su fabricación.

La demanda de calor y frío en las ciudades constituye la principal demanda energética en edificios, pero una difusión acelerada de tecnologías de bajas emisiones de carbono ayudaría a satisfacer, e incluso mejorar, la demanda de confort térmico, reduciendo al mismo tiempo los impactos medioambientales negativos (IEA, 2016).

Independientemente de donde vivimos, el medio ambiente que habitamos es hasta cierto punto inhóspito. Como un ejemplo, muchos climas no proporcionan el calor a los seres humanos para sentirse cómodos o simplemente son demasiado fríos como para que el cuerpo humano pueda sobrevivir sin protección. Por otra parte, muchos entornos son demasiado

¹ INDECI: Instituto Nacional de Defensa Civil. Es el responsable técnico de coordinar, facilitar y supervisar la formulación e implementación de la Política Nacional y el Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres, en los procesos de preparación, respuesta y rehabilitación. Fuente: <http://www.indeci.gob.pe/index.php>

² Confort Térmico, según ISO 7730, es una condición mental que expresa satisfacción con el ambiente térmico.

calientes, y las personas buscan la protección de los estragos del sol. En ambos extremos, y en todos los ambientes, las viviendas y edificios están contruidos para modificar el clima externo. La gente construye para el "control del medio ambiente" encerrando y creando un clima interior alternativo o modificándolo para que pueda ser manipulado y controlado para el confort humano (Holt, J., 2001).

En este contexto, el presente documento refiere al estudio del confort térmico mediante evaluaciones sistemáticas de un módulo experimental de vivienda (MEV) construido y evaluado en forma preliminar por el Msc. Rafael Leonardo Espinoza Paredes (Espinoza, R., 2014). El MEV se encuentra en San Francisco de Raymina, una comunidad al sur de Ayacucho a 3700msnm (latitud 13°45'40''S y longitud 73°51'26''O). El presente estudio comprendió doce configuraciones de medida del comportamiento del MEV, como etapa previa la rehabilitación del MEV y después como etapa inicial la evaluación de su desempeño térmico usando solamente técnicas bioclimáticas arquitectónicas pasivas de aislamiento térmico: piso aislado, dobles puertas de madera, ventanas con doble vidrio y coberturas de madera, y techo con cielo raso. Una segunda configuración de medida incluyó adicionar a la evaluación anterior, a dos sistemas de calefacción solar: los denominados muro radiante y tubo radiante, que utilizan como fuente de energía el Sol y el agua como medio de acumulación de calor en forma de calor sensible. Y la última configuración consistió en la evaluación con técnicas de aislamiento, sistemas de calefacción, la inclusión de cargas internas, pernoctación, y ocupación humana.

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar sistemáticamente un módulo experimental de vivienda (MEV) netamente experimental de campo para, verificar su desempeño térmico en sus ambientes interiores utilizando dos sistemas activos de calefacción solar y técnicas arquitectónicas de aislamiento pasivo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el MEV según una serie de configuraciones que comprende:
 - 1) MEV sólo con técnicas arquitectónicas de aislamiento pasivo (TAAP) y manejo de contraventanas (CV).
 - 2) MEV con TAAP, manejo de CV y, adición de sistemas de calefacción solar activo (SC).
 - 3) MEV con ambientes cerrados las 24 horas: con TAAP, sin sistemas de calefacción, con contraventanas (CV), y con contrapuertas (CP);
 - 4) MEV con TAAP, sin CV, sin CP, y sin SC las 24h: Ambiente Sur (S) y Norte (N).
 - 5) MEV con TAAP, manejo de CV y con SC ambiente S y N; Ambiente S con cocina a gas (CG).
 - 6) MEV con TAAP, manejo de CV y con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas.
 - 7) MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N.
 - 8) MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N; Pernoctación (P) ambiente S.
 - 9) MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S.
 - 10) MEV con TAAP, sin CV las 24h, sin CG, con ACS y sin P ambiente S y N. Sólo con SC ambiente S.
 - 11) MEV con TAAP, manejo de CV, con SC, con ACS y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S.
 - 12) MEV con TAAP, manejo de CV, con SC, con ACS y CG ambiente S y N; P y OH por 5h Ambiente N.
- Modelar el MEV con el software de simulación térmica dinámica EnergyPlus apoyado de los softwares OpenStudio y SketchUp.

1.3 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Alcanzar el confort térmico en viviendas y/o edificaciones conlleva hasta hoy en día a nivel mundial el uso desmedido de las tecnologías convencionales lo que ocasiona su contribución al aumento de los gases de efecto invernadero que generan el aumento de la temperatura de la tierra. Lograr el confort térmico en localidades aisladas donde el frío o calor extremo son causales no solo de incomodidad térmica sino que en ocasiones hasta cobra vidas (INDECI, 2016), resulta poco menos que imposible por el hecho que las viviendas construidas no cuentan con algún criterio de diseño bioclimático que permitan en su construcción, contrarrestar las inclemencias del clima mediante el uso de estrategias y técnicas bioclimáticas bien complementadas con tecnologías limpias y pasivas. Las estrategias bioclimáticas nos recomienda el que hacer para lograr el confort térmico pero no nos detallan el cómo hacerlo.

Entre las técnicas de aplicación para alcanzar el confort térmico andino aprovechando el recurso energético solar y el agua como medio de acumulación por calor sensible, se propone el uso del muro radiante y tubo radiante (ver figura 1). Estas técnicas llevadas a la práctica permitirán mejorar la calidad del aire al interior del MEV en lo que respecta a su temperatura y humedad relativa, complementada con el manejo de las contraventanas y contrapuertas, adicionando cargas internas, pernoctando, y adicionando algunas opciones de mejora en el aislamiento de los sistemas de calefacción.



Figura 1. (Izq.) Vista del serpentín del muro radiante. (Der.) Vista del tubo radiante.

El muro radiante cada vez más está siendo aplicado en las nuevas construcciones en ciudades de otras latitudes principalmente en Occidente y Europa por causa del frío extremo y además por el consumismo energético que se ha venido dando en los últimos años en el tema de la climatización de viviendas y/o edificios donde alcanzar el confort térmico significa hasta hoy en día el consumo incesante de combustibles convencionales que afectan a los recursos naturales y ocasionan las alzas de los costos de dichas fuentes energéticas (Kegel, 2006). Ante ello, la identificación del muro radiante como una técnica y práctica aplicativa en ambientes interiores permitirá reducir la energía en calefacción y refrigeración en ciudades urbanas, y asimismo, adecuar la calidad del aire interior de viviendas asentadas en zonas rurales alto andinas.

La técnica aplicativa del muro radiante como sistema de calefacción se presenta para nuestro medio local como una alternativa que complemente y contribuya energéticamente alcanzar el confort térmico en el MEV utilizando energía solar, para ello, utiliza un fluido caloportador (agua + anticongelante) como medio de acumulación de dicha energía utilizando un colector solar de piscina, y un serpentín adosado al muro interior que se encarga de distribuir el calor sobre la capa de barro que lo cubre, y posteriormente este calor es transmitido por radiación y convención desde la pared hacia el interior del ambiente. En un estudio realizado por F. Mendoza y L. Cardón y F. Mendoza (Mendoza y Cardón, 2011), una pared de muro radiante con colectores solares como medios de captación del calor aportó una potencia media diaria de 150W.

Por otro lado, el MEV también cuenta con un sistema de calefacción denominado tubo radiante instalado en el ambiente contiguo donde se ubica el muro radiante y cuyo fluido caloportador (agua) es calentado por un colector solar tipo batea y a diferencia del sistema muro radiante, este opera manualmente. Ambos sistemas son de flujo forzado y cumplen con el propósito de aportar calor a los ambientes del MEV que junto con las técnicas de aislamiento y operatividad de las contrapuertas y contraventanas, garantizan una temperatura confortable en sus ambientes donde la helada y el frío extremo sean contrarrestadas.

1.4 HIPÓTESIS

La experimentación en la operatividad del MEV así como de las técnicas bioclimáticas de aislamiento pasivo y los sistemas de calefacción con energía solar, conllevará a alcanzar condiciones de temperatura y humedad relativa en su interior que proveerán bienestar térmico a sus ocupantes.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El uso de la tecnología solar para alcanzar el confort térmico en las viviendas y/o edificaciones contribuye a fomentar el uso de las tecnologías limpias de la mano con las técnicas tradicionales en el uso de materiales locales y fuentes potenciales de recursos energéticos naturales como el Sol para además, catalogar a la vivienda como sustentable, siendo está construida “buscando aprovechar los recursos naturales de tal modo que se minimice el impacto ambiental de la construcción sobre el ambiente natural y los habitantes” (Hurtado, G., 2011) . Alcanzar el confort térmico subsanará las consecuencias en materia de salud ocasionadas por las inclemencias del frío extremo en zonas alto andinas.

1.6 METODOLOGÍA

Se realizó a base de medidas y ensayos de pruebas y error hasta determinar el grado de aplicabilidad y confiabilidad de las buenas prácticas en el uso de la tecnología solar para alcanzar el confort térmico en el MEV. La aplicabilidad de las técnicas bioclimáticas o sistemas de calefacción solar contempla su experimentación y realización de análisis térmico de transferencia de calor.

El trabajo de investigación se desarrolló específicamente en la realización de una evaluación sistemática del MEV netamente de campo. El inicio de la evaluación y monitorización empezó el 05 de julio de 2016 hasta el 28 de febrero del 2017.

Los instrumentos de medición para las medidas de las variables meteorológicas y climatológicas como la temperatura, humedad relativa, velocidad y dirección del viento, y radiación solar, fueron medidos las 24 horas en el lugar mismo donde se ubica el MEV, así como, al interior de sus ambientes.

1.7 ANTECEDENTES DEL CONFORT TÉRMICO EN EL PERÚ Y EN EL MUNDO

1.7.1 Caso peruano

En los últimos años en el Perú se ha ido acrecentando los trabajos en I+D+i en lo referente a la problemática climática causada por las heladas o las bajas temperaturas en las zonas rurales alto andinas del país donde la vivienda con sus condiciones de habitabilidad, confort, seguridad, y operatividad, son la referencia puntual para afrontar dicha problemática. Implementar soluciones constructivas con criterios bioclimáticos donde aprovechar los recursos energéticos naturales con vocación en el cuidado del medio ambiente y ahorro energético garantizará mejorar el confort térmico en los ambientes interiores de una vivienda.

En tal sentido, entidades del gobierno, instituciones académicas estatales y privadas, y organismos no gubernamentales, han venido implementando la construcción y rehabilitación de viviendas priorizando el uso de materiales locales como la tierra, ichu, totora, lana de oveja

y madera, de la mano con las técnicas constructivas ancestrales como la elaboración de adobe, tapial, kesana³ y tumbao⁴, para demostrar que es posible aumentar la temperatura interior entre 3°C a 11°C, la cual es el resultado hasta el momento de los diversos estudios realizados que a continuación se presenta.

Experiencias desarrolladas

Proyecto: Abrigando Hogares “Experiencias con medidas de confort térmico en viviendas rurales altoandinas”. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (MVCS).

En marzo del 2016 se publicó el libro *Abrigando Hogares “Experiencias con medidas de confort térmico en viviendas rurales altoandinas”* donde se recopila las experiencias desarrolladas por diversas instituciones en el mejoramiento térmico del interior de viviendas prevaleciendo el uso de materiales locales en la implementación de diversos sistemas de aislamiento térmico en conjunto tales como: ventanas con doble vidrio y contraventanas, piso de madera, colchones de totora en muros y cubiertas (o lana de oveja) así como sistemas de captación de calor mediante claraboyas en techos y fitotoldos adosados que han permitido elevar la temperatura de 3°C a 8°C en relación a una vivienda sin intervención, esto último como ejemplo de los resultados de la evaluación de una vivienda construida en la región de Puno utilizando la totora como aislante térmico (MVCS, 2016).

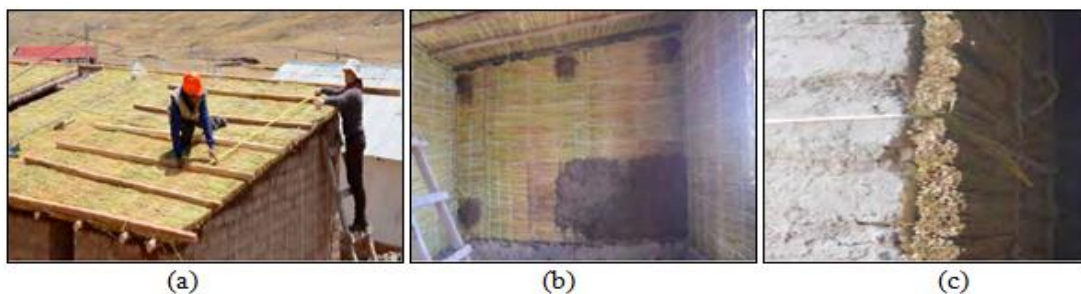


Figura 2. Aislamiento con mantas de totora. (a) Aislamiento de techo. (b) Aislamiento de paredes interiores. (c) Aislamiento de las paredes exteriores. (Medina, C.L., 2016).

Proyecto: “Transferencia tecnológica para enfrentar eventos climáticos extremos transformando una comunidad rural alto andina en un sistema productivo sustentable con energías renovables”. Centro de Energías Renovables de la Universidad Nacional de Ingeniería (CER-UNI).

El CER-UNI desde el 2008 desarrolla estudios y proyectos referentes al comportamiento térmico de viviendas rurales alto andinas como una de sus líneas de investigación del cual como resultado han surgido recomendaciones o propuestas de técnicas bioclimáticas para ser implementadas en viviendas con la consigna de hacerlas confortables y saludables. Técnicas de aislamiento y uso de sistemas pasivos de climatización como:

- **Aislamiento higratérmico de pisos**, principalmente en los dormitorios de las viviendas que consiste en un piso de tierra nivelado y compactado, sobre el un empedrado de 10 a 15cm de altura, sobre las piedras un entramado de madera con

³ Kesana, tejido de totora elaborado por pobladores ribereños al lago Titicaca para usarlo en la construcción de sus viviendas en paredes y techos.

⁴ Tumbao, técnica ancestral practicada por la población de Vilcallamas Arriba en Chucuito-Puno para elaborar mantos a base de arcilla e ichu y ser colocados al interior del techo de las viviendas.

listones de 2” (con aire de por medio como aislamiento), y sobre los listones tablas de madera, esta técnica evita que la humedad del suelo ascienda por capilaridad sobre las paredes interiores de la vivienda.

- **Aislamiento térmico de techos**, consiste en una configuración de techo tipo sándwich que viéndolo de adentro hacia afuera está constituido de calamina-ichu-planchas de fibrocemento.
- **Carpintería de madera en puertas, ventanas y contraventanas**, empleo de doble vidrio en las ventanas para aislar el interior del exterior.
- **Instalación de claraboyas con coberturas de madera**, las claraboyas sirven para que en el día la radiación solar penetre al interior de la vivienda, se acumule en su masa térmica y un tiempo después, la devuelva al interior de la vivienda; y la cobertura de madera se usa para evitar que el calor se pierda del interior al exterior en un tiempo después de la puesta del Sol.
- **Invernaderos adosados a los dormitorios**, se capta y atrapa el calor al interior del invernadero y por convección natural se genera un lazo convectivo entre el aire caliente del invernadero y frío de los dormitorios a través de ductos perforados en la pared común.

La implementación de estas propuestas acompañadas de las labores básicas de sellado de grietas en los encuentros muro-techo, vanos de puertas y ventanas con su marco y, en cualquier otro punto que evite las infiltraciones de aire, garantizaran el aumento de la temperatura en los ambientes interiores de la vivienda. Seguidamente se resume los proyectos realizados por el CER-UNI.

Desde el 2014 vienen desarrollando el proyecto “Transferencia Tecnológica para Enfrentar Eventos Climáticos Extremos Transformando una Comunidad Rural Multiandina en un Sistema Productivo Sustentable con Energías Renovables”. El objetivo es lograr una comunidad rural organizada y representativa para enfrentar climas extremos y agregar valor a sus productos con un modelo replicable de organización poblacional y desarrollo rural con energías renovables y negocios sustentables. Y que entre una de sus implementaciones a desarrollar contempla el aislamiento térmico de techos con lana de oveja y el aislamiento higrotérmicos de pisos.

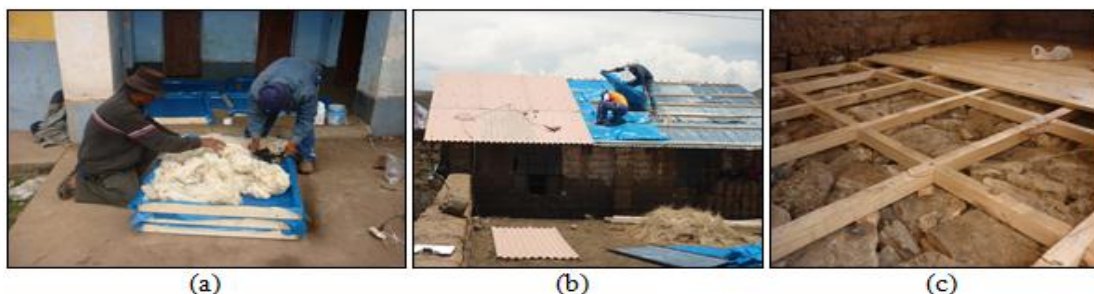


Figura 3. (a) Elaboración de colchón aislador con lana de oveja. (b) Aislamiento de techo. (c) Aislamiento de piso.

El 2013 se construye un módulo experimental de vivienda (MEV) en la comunidad de San Francisco de Raymina en Ayacucho para la investigación de las diferentes temáticas que

involucran el estudio de la arquitectura bioclimática como, la aplicación de las estrategias de diseño con diferentes técnicas constructivas, la implementación y evaluación de nuevas técnicas o componentes bioclimáticos, inercias térmica, puentes térmicos, entre otros.



Figura 4. (a) Vista exterior del MEV. (b) Tarrajeo con barro del serpiente adosado al muro divisorio entre los ambientes del MEV.

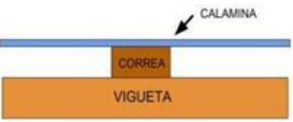
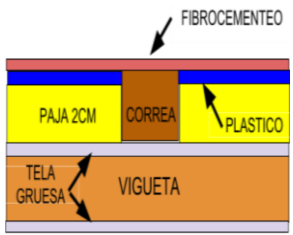
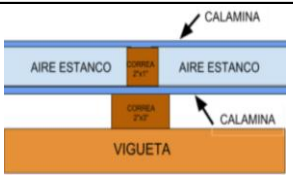
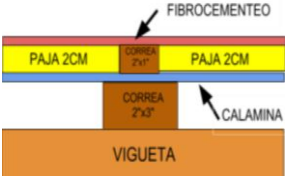
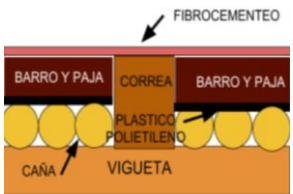
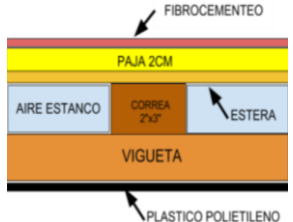
El 2012 desarrolló el proyecto piloto para la Dirección Nacional de Construcción del MVCS, “Acondicionamiento Térmico para Edificaciones Rurales Alto Andinas”, en Huancavelica en dos poblaciones a 3200msnm y 4480msnm (DNC, 2012). El proyecto consistía en seleccionar tres viviendas de cada comunidad con las mismas características constructivas y uso de materiales, se monitorearon tres meses y se realizaron simulaciones del comportamiento higrotérmico, de acuerdo a los resultados, dos de las que resultaron las menos críticas se rehabilitaron en cada comunidad, y a la par, se construyó una nueva vivienda en cada lugar. Se aplicaron las técnicas bioclimáticas de aislamiento y uso de sistemas pasivos de climatización y resultó un incremento de la temperatura interior de hasta 8°C (a las 6:00 am) y de 11°C (a las 2:00 pm) respecto a la temperatura exterior (Ramos, E. et al., 2013).



Figura 5. Comunidad de San Felipe, (a) aislamiento de pisos, (b) vivienda rehabilitada, (c) vivienda nueva. Comunidad de Santa Rosa de Tambo, (d) muros reforzados con caña brava, (e) claraboyas, (f) vivienda nueva.

Asimismo, el proyecto contemplaba la evaluación de diferentes configuraciones de techos con materiales asequibles para ser seleccionado e implementado aquel que presente mayor resistencia térmica o menor transmitancia térmica (más aislante). Esta evaluación respondía a que el techo es la componente que mayor radiación solar recibe durante el día y que la elección de materiales con afinidades bajas de aislamiento como la calamina metálica, no son las adecuadas como cubierta de techos a pesar de su bajo costo y simplicidad en su colocación. De la evaluación resultó que todas las configuraciones eran mejores aislantes que la calamina metálica y la que se eligió para su implementación fue la configuración, calamina-ichu-fibroceemento.

Tabla 1. Tipos de techos y sus propiedades térmicas. (Ramos, E., 2013).

Nombre	Materiales	Propiedad de los Materiales		Transmitancia Térmica U (W/m ² K)	Costo (S/.) por m ²	Imagen
		Espesor (m)	Conductividad (W/mK)			
Techo común	Calamina Metálica	0.001	115	7.14	26.255	
Techo 1	Plancha de Fibroceemento	0.004	0.18	1.66	163.11	
	Plástico Polietileno	0.002	0.33			
	Paja	0.02	0.09			
	Tela Gruesa	0.001	0.06			
	Aire estanco	Rt=0.18 m ² K/W				
	Tela Gruesa	0.001	0.06			
Techo 2	Calamina Metálica	0.001	115	3.12	108.15	
	Aire estanco	Rt=0.18 m ² K/W				
	Calamina Metálica	0.001	115			
Techo 3	Plancha de Fibroceemento	0.004	0.18	2.6	169.37	
	Paja	0.02	0.09			
	Calamina Metálica	0.001	115			
Techo 4	Plancha de Fibroceemento	0.004	0.18	4.84	114.08	
	Barro con paja	0.02	0.52			
	Plástico Polietileno	0.002	0.33			
	Caña bambú	Soporte Estructural				
Techo 5	Plancha de Fibroceemento	0.004	0.18	1.75	93.3	
	Paja	0.02	0.09			
	Estera	Soporte Estructural				
	Aire estanco	Rt=0.18 m ² K/W				
	Plástico Polietileno	0.002	0.33			

Del 2008 al 2009 desarrolló el proyecto piloto con fondos del Fincyt, “Propuesta técnica de confort térmico para viviendas ubicadas en comunidades entre los 3000 y 5000msnm en las regiones de Ayacucho y Puno” (CER-UNI, 2010). Este proyecto permitió la realización de la investigación “Evaluación Experimental de Cambios Constructivos para Lograr Confort Térmico en una Vivienda Alto Andina del Perú” donde, con estas alternativas de solución constructiva se pueden lograr aumentar temperaturas interiores críticas en la vivienda desde condiciones infrahumanas (mínimos de 3°C), hasta condiciones adecuadas para el medio (mínimos de 11°C), utilizando para ello soluciones constructivas adecuadas, y aprovechando el recurso solar como potencial energético de la zona y fuente principal de calentamiento (Espinoza, R. y Huaylla, F., 2009).

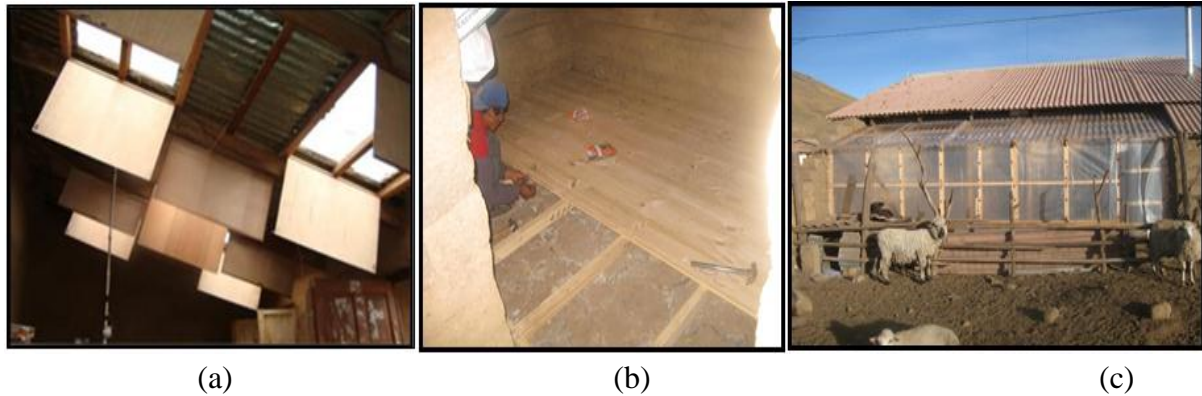


Figura 6. Vista de las técnicas implementadas en una vivienda de Ayacucho, (a) claraboyas en el techo con coberturas de madera, (b) piso aislado, (c) invernadero adosado.



Figura 7. (a) preparación del barro, (b) manto de barro "tumbao", (c) traslado del "tumbao", (d) colocación del "tumbao", (e) vista del "tumbao" desde el interior, (f) vista de la vivienda construida en Puno.

Normativa de confort térmico en el Perú. EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética. Dirección Nacional de Construcción (DNC) del MVCS.

La promulgación de la norma EM.110 Confort Térmico y Lumínico con Eficiencia Energética por intermedio de la Dirección Nacional de Construcción del MVCS en septiembre del 2014, hace referencia su aplicación a las nuevas construcciones de viviendas así como, en la ampliación, remodelación, refacción y/o acondicionamiento de edificaciones existentes de acuerdo a la ley 29090, tanto en el ámbito rural como urbano del país con el objetivo de establecer zonas del territorio peruano de acuerdo a criterios bioclimáticos para la construcción, indicando las características de cada zona, y además, establecer lineamiento o parámetros técnicos de diseño para el confort térmico y lumínico con eficiencia energética, para cada zona bioclimática definida (“Dirección Nacional de Construcción,” n.d.).

La norma establece unos parámetros de transmitancia térmica para nueve zonas bioclimáticas establecidas (ver tabla 2), que todo proyecto que requiera una nueva construcción o remodelación de una vivienda o edificación, debe acatar para su viabilidad. Para ello, debe calcular los valores de transmitancia de los materiales que está considerando en su proyecto o diseño según sea el caso para techo, piso o paredes, y contrastarlo con los valores que establece la norma, si es menor, el proyecto es viable, caso contrario se tiene que reestructurar el proyecto en cuanto a materiales hasta que se cumpla con la normatividad establecida por el MVCS.

Tabla 2. Valores límites máximos de transmitancia térmica (U) en $W/m^2\text{°C}$. (MVCS, 2014).

Zona Bioclimática	Transmitancia térmica máxima del muro (Umuro)	Transmitancia térmica máxima del techo (Utecho)	Transmitancia térmica máxima del piso (Upiso)
1.Desértico marino	2.36	2.21	2.63
2.Desértico	3.20	2.20	2.63
3.Interandino bajo	2.36	2.21	2.63
4.Mesoandino	2.36	2.21	2.63
5.Altoandino	1.00	0.83	3.26
6.Nevado	0.99	0.80	3.26
7.Ceja de montaña	2.36	2.20	2.63
8.Subtropical húmedo	3.60	2.20	2.63
9.Tropical húmedo	3.60	2.20	2.63

Proyecto: “Construcción de una vivienda solar en base a las propiedades termofísicas y evaluación experimental de su confort térmico en Ilave”. Universidad Nacional del Altiplano (UNAP).

Este proyecto se desarrolló el 2014 en Ilave, Puno a 3868msnm. Utilizaron elementos constructivos como, doble pared de adobe, cielo raso conformado por paja-carrizo-yeso, y piso aislado a base de piedras, plástico, ichu y totora (ver figura 8). La vivienda construida en base a materiales con propiedades termofísicas y provisto de un adecuado aislamiento térmico y acumulación de calor por intermedio de la energía solar, logra elevar la temperatura mínima en el interior de 5.54°C a 11.8°C , es decir, gana 6.26°C (Condori, A.F., 2014).

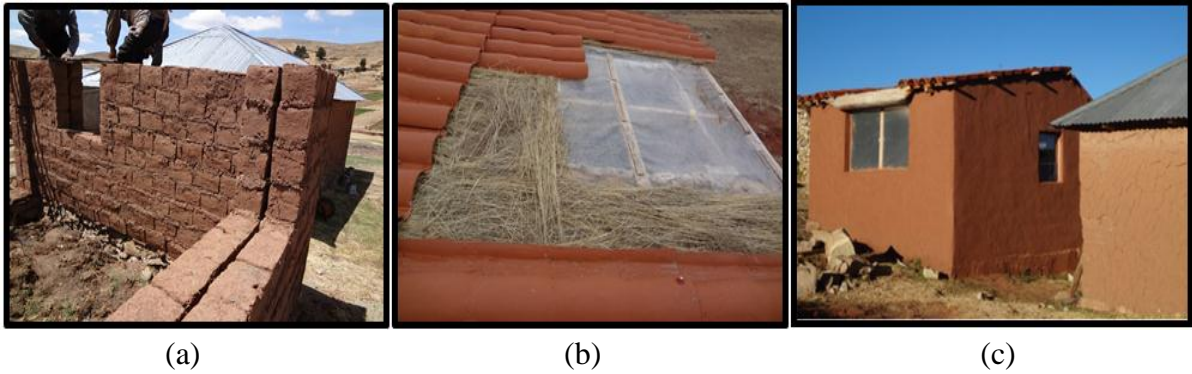


Figura 8. (a) Muro doble pared, (b) techo aislado con totora, (c) vista de la vivienda construida. (Condori A.F., 2014).

Proyecto: “Casa caliente limpia: K’oñichuyawasi”. GRUPO de Apoyo al Sector Rural: Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP).

El 2011 la PUCP desarrolla el proyecto en el distrito de Canas a 4000msnm, provincia de Espinar en Cusco. La propuesta consistió en la instalación de tecnologías apropiadas en una vivienda para el mejoramiento de las condiciones interiores en cuanto a su comodidad o confort térmico. Tecnologías como la pared caliente, cocina mejorada, y sistemas de aislamiento de techos (ver figura 9). Con estas implementaciones se estima que la temperatura interior se puede aumentar hasta 10°C (GRUPO PUCP, 2011). Desde la culminación del proyecto han continuado experimentando e implementando más tecnologías apropiadas en la vivienda con el objetivo de la validación de un Kit Tecnológico Mejorado que sirva para contribuir a la inclusión social de las poblaciones alto andinas vulnerables a las heladas y el friaje, además de recoger el saber de las comunidades ante las bajas temperaturas.

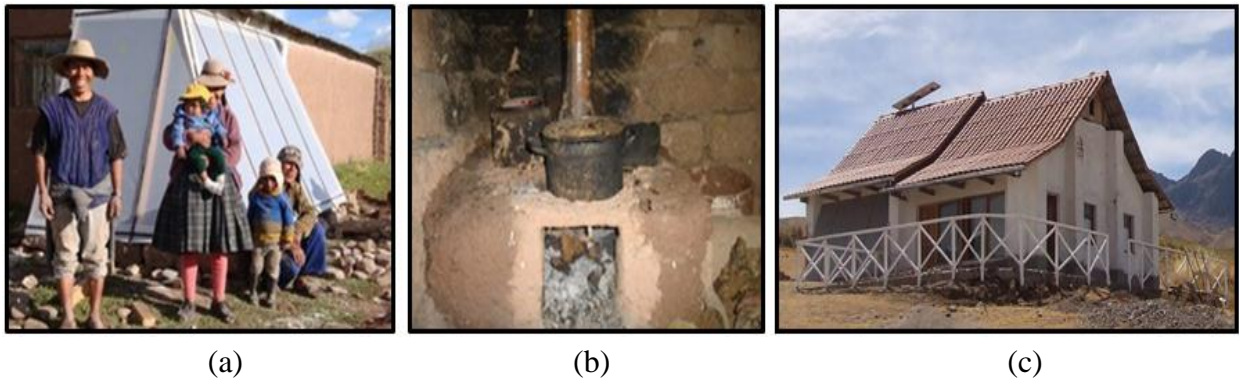


Figura 9. (a) Muro trombe, (b) cocina mejorada, (c) vista de la vivienda construida. (Grupo PUCP, 2011).

Proyecto: “Confort Térmico en Viviendas Alto Andinas... un enfoque integral”. Organización No Gubernamental Care Perú.

Este proyecto se desarrolló el 2010 en Castrovirreyna-Huancavelica a 3500msnm. Las acciones de mejoras consistió en la instalación de ductos solares, cielo raso, pisos aislantes, muros trombe, modelo fitotoldo, y cocinas mejoradas. Con estas instalaciones se logra aumentar los mínimos de temperatura en 5 °C, donde la menor temperatura llega a los 11 °C (Harman, L., 2010).



Figura 10. (Izq.) vista de casas Care Perú, (Cen.) ducto solar en el techo, (Der.) cocina mejorada. (Harman L, 2010).

En resumen, se puede inferir que de acuerdo a las experiencias realizadas por las diversas instituciones en lo referente a la mejora del confort térmico al interior de las viviendas rurales con las técnicas y estrategias bioclimáticas implementadas, se logra mejorar la temperatura interior por encima de los 3°C como mínimo, y 11°C como máximo, respecto a la temperatura exterior (ver tabla 3). Esto demuestra que es posible contrarrestar los efectos climáticos extremos como las heladas en las zonas altas del país y las consecuencias que origina en la salud. Asimismo, es motivación para seguir desarrollando estudios en el ámbito del confort térmico que permitan encontrar e implementar nuevas técnicas bioclimáticas para contar con un abanico de opciones de acuerdo a la climatología del lugar y hacer frente a esta problemática que año tras año aqueja a nuestros conciudadanos asentados en las zonas altas del país.

Tabla 3. Resumen del incremento de temperatura en base a estudios de confort térmico.

INSTITUCIÓN	PROYECTO	AÑO	ALTITUD (msnm)	INCREMENTO DE TEMPERATURA ($\Delta T = T_i - T_e$)
MVCS	“Experiencias con medidas de confort térmico en viviendas rurales altoandinas”	2016	3810	3-8°C
UNAP	“Construcción de una vivienda solar en base a las propiedades termofísicas y evaluación experimental de su confort térmico en Ilave”	2014	3868	6.26°C
CER-UNI	“Acondicionamiento térmico para edificaciones rurales alto andinas”	2012	4500	8-11°C
GRUPO PUCP	“Casa caliente limpia: K’oñichuyawasi”	2011	4000	10°C
ONG CARE	“Confort Térmico en Viviendas Alto Andinas... un enfoque integral”	2010	3500	5°C

Referencias de actores involucrados en el tema de confort térmico

Entre los actores vinculados en generar información, investigación, normatividades y proyectos en el Perú se tiene (sólo por nombrar a algunos):

Centros de enseñanza, organizaciones colectivas, y entidades

- Centro de Energías Renovables (CER-UNI). De la Universidad Nacional de Ingeniería. <http://cer.uni.edu.pe/>
- Grupo de Apoyo al Sector Rural- PUCP. De la Pontificia Universidad Católica del Perú. http://gruporural.pucp.edu.pe/nuestros_proyectos/konichuyawasi-casa-caliente-limpia/
- Facultad de Ciencias de la UNI - Maestría en Energías Renovables y Eficiencia Energética.
<http://fc.uni.edu.pe/fc/index.php/posgrado/admision>
- Universidad Ricardo Palma (URP) – Diplomado en Arquitectura Bioclimática.
<http://www.urp.edu.pe/arquitectura/index.php?arquitectura=ambiental>
- Centro Tierra-INTE de la PUCP.
<http://inte.pucp.edu.pe/proyectos>
- Grupo EquinoXio
<http://www.grupoequinoxio.com/equipo.html>
- Alianza en Energía y Ambiente con la Región Andina (AEA)-IICA.
<http://energiayambienteandina.net/Proyectos/Habitarrural/AEA01PE018602/Material-Informativo.aspx>

Organizaciones Gubernamentales

- Dirección Nacional de Construcción (DNC) del MVCS.
<http://www.vivienda.gob.pe/dnc/estudios.aspx>
- Programa Nacional de Vivienda Rural (PNVR) del MVCS
<http://www.vivienda.gob.pe/pnvr/AbriandandoHogares.html>

Organizaciones No Gubernamentales

- CARE Perú. <http://www.care.org.pe/>
- Cooperation Alemana GIZ
<http://www.uniapravi.org/objetos/evento/NDE=/arc/20151013122714.pdf>

Programas de simulación térmica energética de viviendas o edificaciones

La simulación térmica energética de viviendas o edificaciones es una herramienta importante que ayuda a tomar decisiones previas al diseño de una edificación buscando integrar sistemas que funcionan con energías renovables principalmente la energía solar ya sea de forma activa o pasiva. Los procedimientos de cálculo energético de las edificaciones emergieron a partir de la crisis del petróleo en los años 70 y, en las últimas décadas se han implementado en diversos sistemas computacionales aprovechando sus capacidades de procesamiento matemático y representación gráfica.

En la actualidad, se dispone de una variedad de programas gratuitos o comerciales para simulación energética de edificios. El Departamento de Energía de los Estados Unidos mantiene desde 1996 un directorio de aproximadamente un centenar de herramientas computacionales, además de desarrollar algunas gratuitas, como Energy-Plus (originalmente denominado DOE), utilizado como motor de cálculo. En el directorio se encuentran descripciones y referencias de cada sistema, y varios están validados por las normas ISO 13790:2008-09 y ASRHAE 90.1. Algunos centros universitarios han elaborado programas de uso liberado, como ESP-r de la U. Strahclyde desde 1977, Trnsys desarrollado por la U. de Wincosin desde 1978, Archisum de la U. Politécnica de Catalunya desde 1992 o Casanova de la U. Siegen desde el 2000. Aunque la mayoría no mantiene una actualización regular o distribución amplia. Otros programas han surgido por legislaciones o certificaciones específicas, como LIDER en España, CCTE en Chile, CEPE en California y el PHPP para el estándar Casa Pasiva de Alemania. También desarrolladores de productos, instaladores o investigadores independientes han elaborado algunas herramientas. Algunos aplican métodos simplificados o «estáticos» (sin variación cronológica), y otros son más completos o «dinámicos» (con registros por horas, días, semanas, etc.). Programas como ESP-r modelan el edificio por coordenadas, otros como TAS se basan en plantas 2D, Ecotect y Design Builder modelan en 3D, y algunos como Heed requieren sólo datos generales. Varios sistemas se pueden relacionar entre sí, permitiendo realizar la modelación con un programa, luego el cálculo en otro, y la revisión de datos por separado. Promoviendo la transferencia de archivos y la utilización encadenada de programas, pero generando un panorama diverso de herramientas posibles (García-Alvarado et al., 2014).

De los programas mencionados, el EnergyPlus y Ecotect, son utilizados en nuestro medio local por algunas instituciones o consultorías privadas. El primero por ejemplo, es utilizado por el CER-UNI desde el 2008 (Natividad, J. et al., 2012), y el segundo lo utiliza la consultoría del Arq. A. Gómez de la Universidad Ricardo Palma (Gómez, R.A., n.d.). En la presente tesis, se utiliza el EnergyPlus 8.4 con el interfaz gráfico OpenStudio para SketchUp, este último es útil para la realización del diseño en 3D. En general, la metodología utilizada en el proceso de simulación de una vivienda o edificación es la siguiente: diseño arquitectónico, generación de zonas térmicas, ubicación y datos meteorológicos, definición y caracterización de los materiales, y definición de variables de salida.

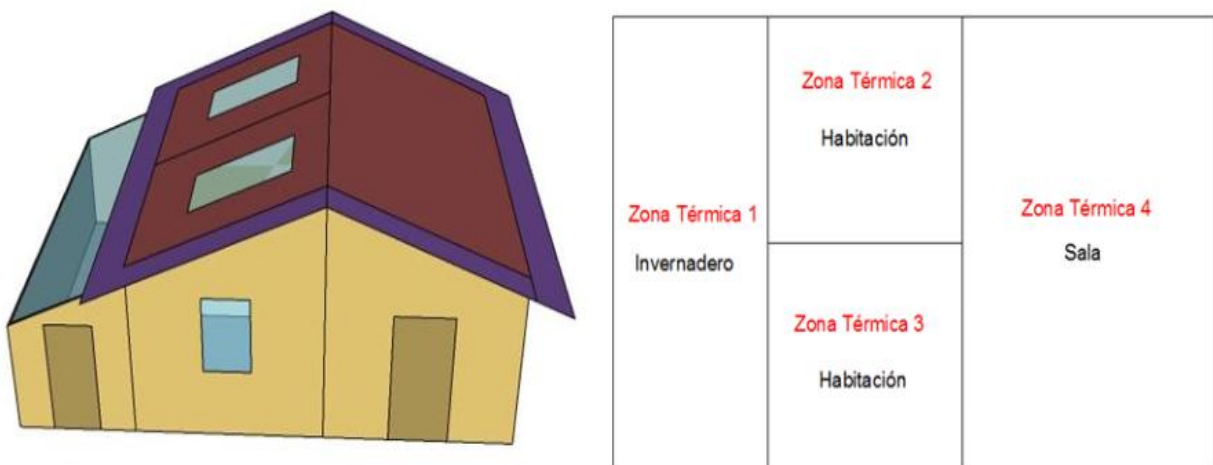


Figura 11. Ejemplo de zona térmica en SketchUp. (Natividad J. et al., 2012).

En este contexto, el CER-UNI en el proyecto “Estudio térmico en módulos de viviendas ubicadas en alturas mayores a 3500 msnm en la provincia de Castrovirreyna, región

Huancavelica”, utilizó el software EnergyPlus 5.0 donde realizaron diferentes modificaciones constructivas para obtener mediante la simulación térmica, la propuestas más adecuada para aumentar la temperatura dentro de viviendas (Gómez, A. et al., 2010).

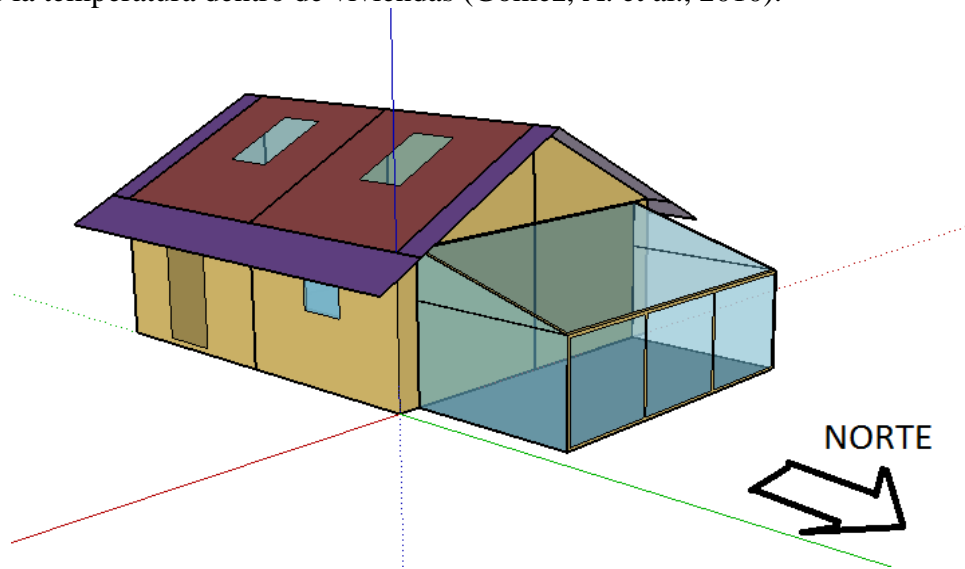


Figura 12. Modelo de simulación realizado en SketchUp 7.0 enlazado al EnergyPlus. (Gómez, A. et al., 2010).

1.7.2 Caso mundial

La dependencia global de energía en el mundo ha ido aumentando a un ritmo alarmante. Según la Agencia Internacional de la Energía (AIE), de 1971 a 2014, el consumo mundial de energía aumentó en un 92%. El sector de la construcción ha contribuido en gran parte a este aumento. De hecho, el 2009, el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) atribuyó más del 30% de las emisiones mundiales de gases de efecto invernadero y el 40% del consumo total de energía al sector de la construcción. La comunidad internacional ha adoptado medidas definitivas para reducir estas tendencias mundiales. Las economías más grandes -los Estados Unidos, la Unión Europea y China- han implementado medidas que son particularmente dignas de mención (Martínez et al., 2016).

El problema del agotamiento de los recursos energéticos y el desarrollo insostenible de la sociedad actual hacen necesaria la búsqueda de nuevas formas de arquitectura que permitan resolver esta problemática, disminuyendo la demanda de estos recursos e incrementando el rendimiento energético. Surge así la arquitectura bioclimática y, con ella, un nuevo lenguaje arquitectónico que no siempre es utilizado con fidelidad a sus principios. La arquitectura bioclimática se entiende como la forma de proyectar y construir edificios sostenibles y eficientes energéticamente a partir de la correcta adaptación al clima y al entorno. Es así que la bioclimática se adapta básicamente al compromiso de tres direcciones: la energía, la salud/bienestar humano y la sostenibilidad (Agugliaro, F. M. et al., 2015).

Diferentes diagramas bioclimáticos se utilizan como herramientas para determinar los niveles de confort. Los más utilizados incluyen el diagrama desarrollado por Víctor Olgyay y Baruch Givoni.

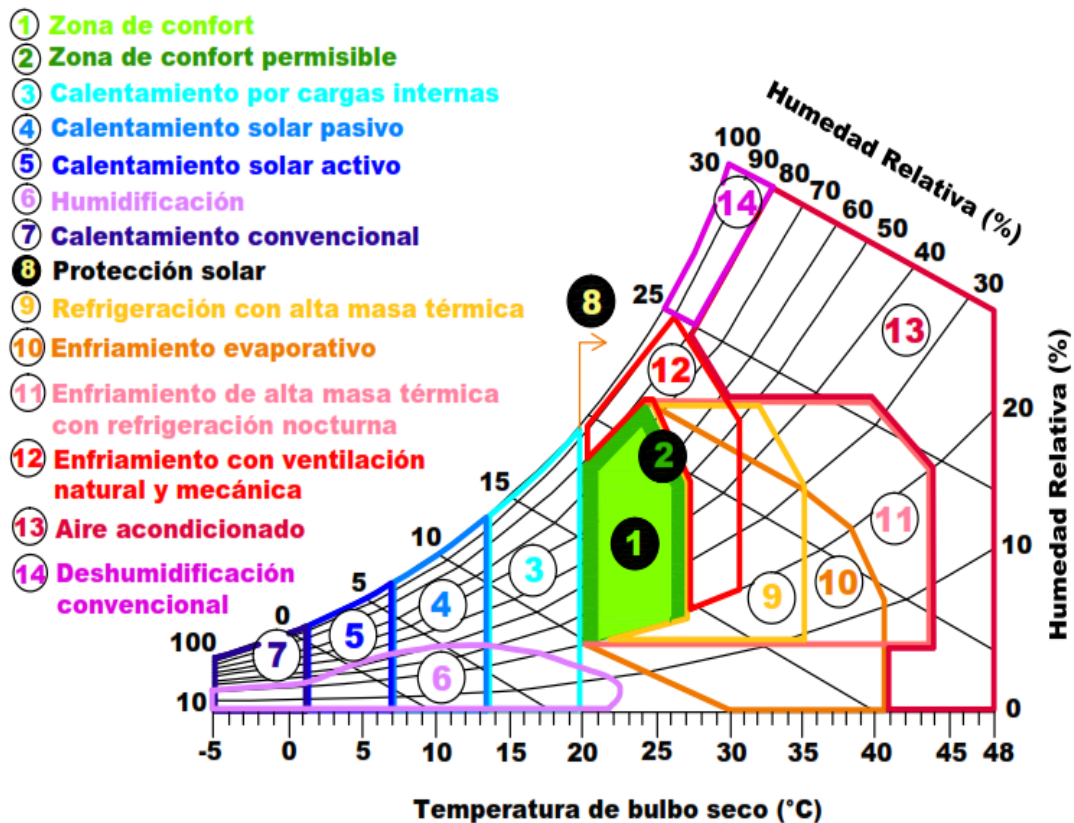


Figura 13. Diagrama o carta psicrométrica de Givoni. (Adaptado de Agugliaro, F.M, 2015).

Se establecen y recomiendan catorce zonas climáticas en función de las posibles estrategias que faciliten la reducción del consumo de energía y la necesidad de lograr el confort humano dentro de un edificio (Agugliaro, F. M. et al., 2015).

Zona 1 y 2. Zona de confort y zona permisible. No hay estrategias que deban implementarse en esta zona.

Zona 3. Calentamiento por ganancias internas. Las ganancias internas son proporcionadas por personas que ocupan el mismo espacio, la iluminación artificial, cualquier máquina que genera energía térmica y cualquier proceso que también podría generar calor.

Zona 4. Calefacción solar pasiva. Es necesario contar con una estrategia de absorción solar que permite el aumento de la energía de calor dentro del espacio. Técnicas bioclimáticas.: invernadero adosado, muro trombe, acristalamientos en ventanas, claraboyas, pisos y techos capacitivos.

Zona 5. Calefacción solar activa. Se calienta un fluido y después se calienta el interior de la casa. Además, la energía puede ser capturada en el edificio utilizando células solares térmicas de baja temperatura o células fotovoltaicas. Técnicas bioclimáticas.: pisos radiantes o radiadores de energía en general.

Zona 6. Humidificación. El objetivo de esta estrategia es lograr el confort al elevar la humedad relativa. Técnicas bioclimáticas: vegetación dentro o fuera del edificio, fuentes o superficies de agua, o instalaciones especiales de tuberías enterradas con una tercera parte llena con agua para permitir el paso de aire y filtros húmedos.

Zona 7. Calentamiento convencional. Se hace necesario utilizar un dispositivo que consume energía eléctrica, gas, petróleo o carbón para aumentar la temperatura media en 20 °C.

Zona 8. Protección solar. Las estrategias intentan evitar las ganancias de calor a través de la radiación solar y evitar aumentos de temperatura para permanecer en la zona de confort. Técnicas bioclimáticas: arboles de hojas caducas, porches, toldos, pérgolas con vegetación de hoja caduca, y persianas.

Zona 9. Refrigeración a través de una alta masa térmica. Comprende el uso de la masa térmica de la envolvente del edificio que recibe y, posteriormente, transmite radiación en el interior con una diferencia de fase para conseguir una uniformidad clima durante todo el día. Técnica bioclimática: colocar un dispositivo móvil de protección durante el día para evitar las ganancias y favorecer la disipación nocturna; un ejemplo de esto comprende los toldos.

Zona 10. Enfriamiento evaporativo. Esta estrategia es muy aconsejable en climas secos y áridos. Técnicas bioclimáticas: vegetación exterior, agua en estanques o fuentes, tuberías enterradas que son llenadas la tercer parte con agua, patios complementados por la presencia de agua y vegetación que ayudan a reducir la temperatura y aumentar la humedad relativa mediante la realización de un proceso de evapotranspiración, la cubierta vegetal, la pulverización de agua en el techo, la pulverización de agua en el interior de reducir la temperatura del aire encima de la cabeza, y la producción de circulación de aire por convección.

Zona 11. Enfriamiento por alta masa térmica con la renovación nocturna. Esta estrategia crea una diferencia de fase entre el efecto del tiempo durante el día y la noche fuera de temperaturas para llevar a cabo una renovación nocturna. Las técnicas bioclimáticas deben comprender por la noche, la disipación y la renovación de aire deben llevarse a cabo a través de aberturas, patios y techos.

Zona 12. Refrigeración a través de la ventilación natural y mecánica. Esto se puede conseguir naturalmente con el uso de la ventilación cruzada de norte a fachadas sur o vientos dominantes, el efecto chimenea, una cámara solar, ventilación subterránea, torres de viento, torres de evaporación, los espacios verticales dentro de un edificio o patios. Además, este efecto se puede lograr mecánicamente el uso de ventiladores o sopladores.

Zona 13. Aire acondicionado. El objetivo es lograr la comodidad mediante la instalación de máquinas de aire acondicionado para reducir la temperatura y la humedad relativa.

Zona 14. Deshumidificación convencional. El objetivo es incorporar estrategias para absorber agua del medio ambiente con el fin de alcanzar la zona de confort. Esto se consigue usando sales de absorbentes y las células con solución salina y requiere complementación con otras estrategias.

La tendencia de la arquitectura bioclimática en la construcción comprende traducir el conocimiento de la arquitectura bioclimática en proyectos de construcción de nuevos edificios, proyectos de rehabilitación o construcción de estructuras existentes. Italia, España y Brasil son los países que más han adoptado esta tendencia, y las estrategias más utilizadas son espacios solares, muros Trombe, chimeneas solares y sistemas de ganancias directas. Se lista estudios a partir del 2011.

2011-BAHRAIN: Este trabajo es una aplicación teórica de los valores climáticos urbanos de Bahrein a la determinación de Diseño Bioclimático Estrategias para ser considerado en el diseño arquitectónico.

2011-MÉXICO: Este artículo expone algunas de las principales características que implican, embestidos arquitectura en tierra, con el fin de contribuir a su promoción, conservación y re-desarrollo. El texto se centra principalmente en la caracterización de la forma tradicional de la ejecución de esta técnica de construcción en México.

2011-POLONIA: Las estrategias actuales de papel para el clima y el diseño sostenible para la educación de jóvenes arquitectos.

2011- ESPAÑA: En este trabajo se llama la atención a la diversidad significativa entre las tipologías de edificios de tierra apisonada construidos en España en los últimos años.

2011-TURQUÍA: Este documento tiene por objeto detectar algunas pistas sobre el contorno de la arquitectura residencial en el contexto de la sostenibilidad cultural en Bodrum, a la luz de las muestras de la arquitectura residencial.

2012-CHINA: En este estudio se describe el trabajo en el desarrollo de mapas de aplicabilidad climáticas de corriente de aire descendente de refrigeración en China basado en tres características climáticas relacionadas: horas grado de enfriamiento, temperatura de bulbo húmedo -con temperatura seca y 26°C- de la temperatura de bulbo húmedo.

2014-IRÁN: Este artículo revisa la arquitectura tradicional y la historia de los colectores de viento en Irán junto con su rendimiento.

Un factor importante dentro de la arquitectura bioclimática y el confort térmico que cada vez está siendo más investigada y aplicada es la **inercia térmica**. En muchos países de Europa está contemplado el estudio de la inercia térmica dentro de sus normativas edificatorias, mas no así, en países latinoamericanos. Una vivienda diseñada con inercia térmica alta, absorbe gran cantidad de calor del medio en las horas de calor, así, interiormente el usuario percibe la vivienda más fresca; por el contrario, en las horas de frío, los muros devuelven esa energía al ambiente y el usuario percibe la vivienda interiormente más cálida (Sarzos, H. M., 2007).

La Universidad Nacional Autónoma de México mediante el Instituto de Energías Renovables (IER-UNAM) y grupo de investigación “Energía en Edificaciones”, han elaborado el programa de simulación dinámica Ener Habitat donde considera la masa térmica para evaluar el desempeño térmico de sistemas constructivos de muros y techos de la envolvente de una edificación mediante cálculos de transferencia de calor dependientes del tiempo. Inferen que utilizar solo la resistencia térmica como indicador de desempeño térmico de sistemas constructivos de muros y techos, no es del todo general para climas donde la radiación solar es significativa y la oscilación térmica diaria importante (Barrios et al., 2012), condiciones muy similares a la encontrada en la comunidad de San Francisco de Raymina en Ayacucho y que es el caso de estudio de la presente tesis.

Los materiales ideales para constituir una buena masa térmica, y por tanto inercia térmica, son aquellos que tienen: alto calor específico, alta densidad y baja conductividad térmica (aunque no sea excesivamente baja). Los materiales con mejor inercia térmica son: el agua, la tierra y barro, rocas y piedras naturales, hormigón y otras técnicas de albañilería (Llobu, I.M., 2016). La madera tiene pobres características de acumulación y los aislantes y el aire prácticamente no tienen inercia térmica (Sarmiento, M.P., 2007).

Investigaciones desarrolladas han demostrado que la inercia térmica tiene una influencia sobre la demanda de energía anual para la calefacción de una casa ubicada en un país con un clima del hemisferio norte. El requisito más bajo de energía específica se obtiene con una construcción de hormigón extremadamente pesado (lo que para la zona alto andina bien puede ser una buena masa de adobe como antiguamente se construía). Además, se ha demostrado

que en un clima más frío (Bélgica, por ejemplo), que la inercia térmica es esencial para la absorción de las ganancias solares e internas durante el día para reducir el aumento de temperatura en el interior (Bekkouche et al., 2011). Otro estudio refiere que el almacenamiento de energía pasiva a través de la alta masa térmica, puede significativamente cambiar el patrón de consumo de energía lo que puede dar beneficios significativos. Edificios térmicamente pesados con una alta capacidad calorífica en el interior de la envolvente térmica a menudo se atribuye a una serie de propiedades positivas. El hormigón es el material más común que se da de alta masa térmica en los edificios cuyas propiedades térmicas influyen en las características térmicas de un edificio (Karlsson, J. et al., 2013). Asimismo, estudios sobre el comportamiento de los cerramientos aislados por el interior y/o exterior respecto de su masa térmica que repercuten en el edificio en una ganancia o pérdida de energía, son tratados mediante herramientas de simulación numéricas como, NBSLD, DOE 2.1, AccuRate, DesignBuilder, Transys, y la muy conocida herramienta EnergyPlus (Kolaitis, D. et al., 2013).

Respecto a estudios de aplicaciones de nuevos materiales integrados en la masa térmica de materiales constructivos como el hormigón para almacenamiento de energía, se tienen los materiales de cambio de fase (PCM) los cuales aumentan la inercia térmica sin aumentar el volumen. La utilización de materiales de cambio de fase (PCMs) en la refrigeración/calefacción activa y pasiva de edificios es una de las maneras más eficientes para almacenar energía térmica (Royon, L. et al., 2013). Otro estudio desarrollado en Chile refiere a la modificación de PCM con nanopartículas sintetizando nanofluidos estables que serán usados como modificadores de materiales constructivos ligeros, incorporando posteriormente estos PCM modificados con nanopartículas a una matriz porosa y estudiar tanto experimental como computacionalmente el comportamiento térmico de estos materiales constructivos (Bello, E. et al., 2013).

Entre las estrategias más modernas, podemos destacar la integración de finas películas fotovoltaica BIPV en los edificios (NREL, 2011), los techos verdes para amortiguar la radiación excesiva, la pulverización de agua en los techos, la colocación de tuberías enterradas 0,5 a 1,5m de profundidad para proporcionar aire fresco durante el verano y el aire más caliente durante el invierno, el uso de chimeneas solares para promover la renovación de aire fresco y limpio el exterior, y el uso de una galería acristalada para proporcionar tanto como 15 a 32% de la energía térmica requerida en los días claros. Estas estrategias son válidas tanto para los edificios convencionales y de estructuras muy altas, que requieren un conjunto separado de estrategias bioclimáticas para la ventilación y la iluminación.

Cabe resaltar en el contexto internacional a nivel de la región, el trabajo que vienen desarrollando investigadores Argentinos que cuentan con experiencias en estudios analíticos y experimentales en el ámbito del confort térmico y eficiencia energética en viviendas de interés social en los andes. Proyectos como, el “Análisis térmico-energético de vivienda proyectada con tecnologías apropiadas para San José de Jáchal”, el cual, propone un proyecto de vivienda que responda a las necesidades de 5 personas y a las pautas culturales de los habitantes del lugar utilizando tecnologías apropiadas para la construcción con tierra. Se verifica el comportamiento térmico – energético estacionario según Normas IRAM y simulación dinámica con el programa SIMEDIF (Michaux, C. et al., 2015). SIMEDIF es un programa para el diseño y simulación del comportamiento térmico de edificios con acondicionamiento natural y calefacción, desarrollado enteramente en el INENCO (Instituto de Investigaciones en Energía No Convencional). SIMEDIF permite simular el comportamiento térmico de edificios con muchos locales a fin de evaluar el comportamiento de los mismos frente a determinadas variaciones climáticas y detectar de esta manera problemas de falta de confort

(sobrecalentamiento o bajas temperaturas), con la posibilidad de introducir ganancias internas (Flores, S. et al., 2001).

Normativa internacional de confort térmico

Respecto a las normatividades en lo referente a edificaciones que involucren el confort térmico en sus reglamentaciones, en muchos casos se considera principalmente la conductividad de los materiales, y en base a ello, se estima el aislamiento térmico de la envolvente de la vivienda, lo cual es útil en condición estática o estacionaria. Sin embargo, se considera muy poco la condición dinámica, lo cual, dependiendo de la zona climática en el que esté ubicada la vivienda es tanto o más crítica que la condición estática, menos aún es considerada la inercia térmica de los materiales involucrados por ser un fenómeno de utilidad en régimen dinámico, cuyos efectos son percibidos directamente en el confort de sus ocupantes. A continuación se presentan algunas reglamentaciones de algunos países teniendo presente que España, Alemania, Canadá e Italia, han sido pioneros en la regulación relativa el desempeño térmico de las edificaciones.

Norma Chilena NCh853 Acondicionamiento térmico – Envolvente térmica de edificios – Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas. Esta norma establece procedimientos de cálculo para determinar las resistencias y transmitancias térmicas de elementos constructivos, en particular, de la envolvente. Para los cálculos se asume que el régimen es estacionario (Instituto Nacional de Normalización, 2007).

Ley 13.059/03 Legislatura de la Provincia de Buenos Aires, La Plata, Argentina, define las condiciones de acondicionamiento térmico exigidas en la construcción de todos los edificios públicos y privados localizados en la Provincia de Buenos Aires que, deben cumplir principalmente con algunos requisitos de transmitancia tanto para condiciones de invierno como de verano, apoyados de la Norma IRAM 11605 “Acondicionamiento térmico de edificios - Condiciones de habitabilidad en edificios - Valores máximos de *transmitancia térmica* en cerramientos opacos” (Reus, N.G., Czajkowski, J.D., 2016).

En Brasil, La NBR 15220/08 “Desempeño Térmico de Edificaciones”, y la NBR 15575 “Edificaciones Habitacionales: Desempeño”. Donde refieren que las edificaciones deben cumplir con los valores mínimos de *transmitancia térmica*, capacidad térmica y absorción a la radiación (Reus, N.G., Czajkowski, J.D., 2016).

La Directiva Europea 2010/31/EU de edificios de energía casi nula hace referencia explícita a la *inercia térmica* como estrategia de diseño que mejora el comportamiento de los edificios en verano y reduce el riesgo de sobrecalentamiento, situada en un contexto de perfección y aplicación de medidas de refrigeración pasivas (O. Style, 2014).

Código Técnico de la Edificación CTE DC-HE, en España. A través de este documento se establecen los requisitos mínimos de ahorro de energía promulgados por el artículo 4 de la directiva 2002/91. Dichos requisitos deben estar adaptados a los climas españoles. Con este fin se crea el software de simulación dinámica de edificios LIDER (Limitación de la demanda energética). Este software permite analizar el efecto del 14 aislamiento, la *inercia térmica* y la radiación incidente en los huecos del edificio, verificando el cumplimiento de dichos requisitos mínimos (Pulido, M.S., 2012).

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Meteorología y Climatología

La meteorología y climatología según principios científicos y fenómenos examinados son similares, pero por lo general difieren en el enfoque, la escala de tiempo y la aplicación. La meteorología es el estudio de la atmósfera y los movimientos dentro de la atmósfera en escalas cortas (minutos a semanas). Comúnmente conocido como “meteorológico”, la meteorología se centra en las variables atmosféricas (por ejemplo, temperatura, humedad, el movimiento y dirección del viento, presión atmosférica y precipitación) relacionadas con la predicción del tiempo y las condiciones actuales o próximas al futuro. Alternativamente, la climatología es el estudio de climas o condiciones atmosféricas medias a largo plazo sobre un lugar particular así como los extremos e influyen en varias actividades, sobre todo (aunque no exclusivamente) en los ámbitos de la salud, la seguridad y el bienestar humanos (Coleman, J.S., Law, K.T., 2015).

Los datos climáticos normalizados sirven para definir la característica climática de un sitio, para que estos datos se puedan considerar normales o normalizados, deben estar basados en registros de por lo menos diez años, solo de esta forma la caracterización climática puede ser confiable (Fuentes, V.A., 2004).

La temperatura, es una de las magnitudes más utilizadas para describir el estado de la atmósfera. Asimismo, es un parámetro que determina la transmisión de calor de un cuerpo a otro en forma comparativa por medio de una escala. Dentro del análisis de este parámetro se encuentran las temperaturas media, máxima, máxima extrema, mínima y mínima extrema. Para el diseño bioclimático, la temperatura horaria es útil para evaluar la comodidad y el confort térmico del usuario; mientras que para la obtención de las oscilaciones térmicas se utilizan las temperaturas máximas y mínimas.

Oscilación térmica. Oscilación o amplitud térmica es la diferencia entre la temperatura más alta y la más baja registrada en un lugar o zona, durante un periodo de tiempo que puede ser un día, un mes, un año, etc. En las series climáticas la amplitud térmica es la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido y la del más frío (Sol, S.F., 2008).

El viento, consiste en el movimiento de aire desde una zona a otra. Existen diversas causas que pueden provocar la existencia del viento, pero normalmente se origina cuando entre dos puntos se establece una cierta diferencia de presión o de temperatura. El viento se mide por su velocidad horizontal que para la cual se utiliza anemómetros. Siendo la unidad de medida el km/h o m/s. Asimismo, se mide también por su dirección, que para ello se utilizan veletas que indican la procedencia geográfica del viento como por ejemplo, viento norte, noreste, suroeste, etc.

La humedad, Es el contenido de agua en el aire. Existen diversas escalas para su medición entre ellas la humedad relativa, expresada en porcentajes, y se refiere a la cantidad de agua necesaria para saturar el aire a una misma temperatura; ésta se mide cuando se obtiene una relación entre el termómetro de bulbo seco y el de bulbo húmedo.

2.2 El clima del Perú

El Perú por estar muy cerca de la línea ecuatorial debería de presentar un clima tropical pero solamente este clima se presenta en la Selva. Los factores geográficos que determinan la diversidad climática del Perú son, la Cordillera de los Andes, la Corriente de Humboldt, el

anticiclón del Pacífico sur, el ciclón amazónico y al anticiclón del Atlántico sur. El Perú cuenta con nueve clases de clima: en la costa se hallan los climas subtropicales áridos y los semitropicales; en la sierra, los climas templados-cálidos, templado, templado-frío, frío y glacial. Y por último, en la selva, los climas de la selva alta y baja.

Mención especial en lo referente a la tesis es el clima de la sierra que se caracteriza por su gran sequedad higrométrica, por la periodicidad de sus lluvias, que caen tan solo en una época del año, *durante el verano* y por su temperatura fría o templada, según la altura que es el factor climatológico más importante de la sierra. Otro hecho saltante en el clima serrano, es la marcadísima diferencia de temperatura entre el día y la noche, debida a la fuerte irradiación solar. En algunas zonas, mientras en el día la máxima ha sido de 25°C, al amanecer el termómetro bajó a los 0°C. Asimismo, en pleno día podemos estar a 15°C en el Sol y poniéndose a la sombra descender a pocas líneas del 0°C (Pareja Paz Soldán, J., 1936).

2.3 Vivienda y salud

Hay una serie de aspectos para entender que las viviendas tienen un impacto directo sobre la salud: la estructura de la vivienda, condiciones internas tales como la humedad, el frío, contaminación interior, y el comportamiento de los ocupantes (Howden, 2004). Las personas mayores son consideradas las más vulnerables a los efectos de las malas condiciones de vivienda y son el grupo de edad más probable (más de 75 años) de vivir en hogares no decentes (Donald, 2009). Según las cifras del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), la población vulnerable de la tercera edad representa el 10% de la población peruana (cerca de 3 millones) y las proyecciones indican que llegará a más de 8.7 millones en el año 2050 (“Perú,” 2015).

2.3.1 Vivienda alto andina en el Perú

El Perú se encuentra en la parte central y occidental de América del Sur, ocupando un área total de 1.285.216km² y 200 millas de mar territorial. La población peruana está calculada aproximadamente en 29,4 millones de habitantes, siendo el Perú el 4° país más poblado de Sudamérica. El 75% de la población viven zona urbana y el 25% restante, en áreas rurales.

La zona alto andina del Perú cuenta con una superficie de alrededor de 250.000 km², es decir 20% del área total del Perú está conformada por la plataforma Alto Andina que va desde los 3200msnm hasta los 5000msnm, formando numerosas cuencas cerradas alrededor de los lagos y lagunas más altas del mundo, como el Lago Titicaca y el de Junín.

Las características naturales y climáticas corresponden con el clima frío inter tropical de altura riguroso y muy frío. Durante el día la temperatura asciende a 18°C y las temperaturas en las noches de invierno descienden a -10°C como promedio y pueden llegar hasta los -15°C. En estas zonas se produce un fenómeno climático que se conoce como “heladas” que consiste en un descenso de la temperatura ambiente a niveles inferiores al punto de congelación del agua y hace que el agua o el vapor que está en el aire se congele depositándose en forma de hielo en las superficies. Otro fenómeno climático característico de estas regiones es la caída repentina y brusca de la temperatura, acompaña de fuertes vientos; se denomina popularmente “friaje” (Medina, C.L., 2016).

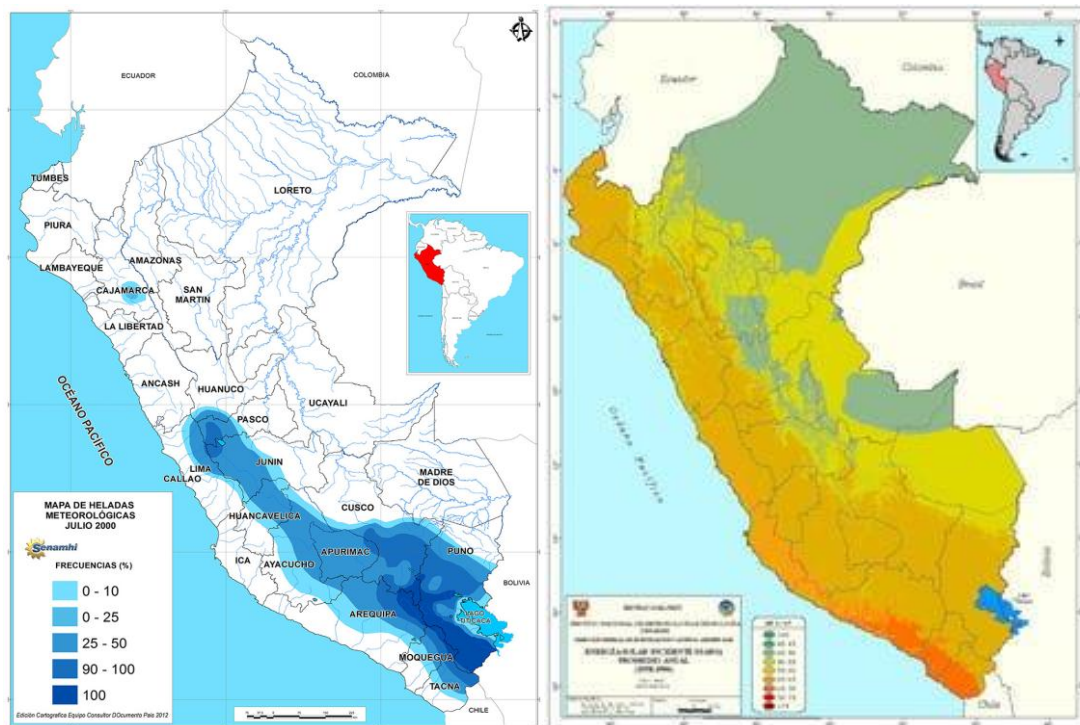


Figura 14. (Izq.) Mapa de heladas del Perú. (Der.) Mapa de radiación solar del Perú. (Senamhi y Atlas Solar, 2003).

2.4 Confort térmico

Desde el punto de vista cualitativo el confort térmico es concebido como un estado mental en que involucran variables subjetivas y no sólo como el resultado objetivo de un balance energético entre el cuerpo humano y su entorno (Gómez, A.G. et al., 2007). Givoni define el confort térmico como “la ausencia de irritación o malestar térmico” (Givoni, B., 1998). Tanto la ASHRAE como la norma ISO 7730 lo definen su vez como “aquella condición de la mente que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Estas son definiciones que pueden ser compartidas por la mayoría de la gente, pero no son traducibles fácilmente a parámetros físicos cuantificables (Gómez, A.G. et al., 2007)

Muchas variables fisiológicas, psicológicas y ambientales juegan un papel importante en la percepción humana de confort térmico. Los parámetros físicos más importantes incluyen la temperatura del aire, velocidad del aire, la humedad relativa y la temperatura radiante media de las superficies circundantes (Fanger, 1972). Una definición más general de confort térmico es una sensación de relajación y libertad de la preocupación o dolor.

2.4.1 Regulación de la temperatura del cuerpo

El organismo humano constituye un sistema homeotérmico: para su correcto funcionamiento necesita mantener una temperatura interna constante de alrededor 37°C, cualesquiera que sean las condiciones térmicas de su entorno inmediato. Esta temperatura no es uniforme, la temperatura de la piel es inferior a la del interior del cuerpo, y la de las extremidades resulta, a su vez, inferior a la del tronco. Podemos aceptar como temperatura media de la piel la de 35°C. La circulación sanguínea contribuye en gran medida a uniformar la temperatura del interior del cuerpo (Tudela, 1982).

2.4.2 Termorregulación del cuerpo humano

El ser humano es una máquina biológica que quema los alimentos como combustible y genera calor como un subproducto. Este proceso metabólico es muy similar a lo que sucede en un automóvil, donde la gasolina es el combustible y el calor es un subproducto significativo (figura 15). Ambos tipos de máquinas deben ser capaces de disipar el calor residual para evitar el sobrecalentamiento (figura 15) Todos los mecanismos de flujo de calor se emplean para mantener la temperatura óptima (Lechner, N., 2015).

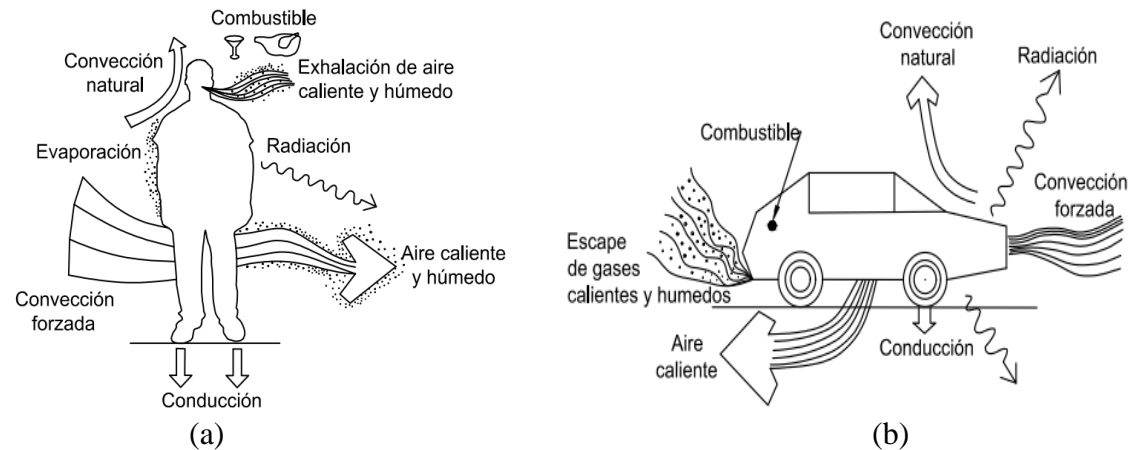


Figura 15. (a) Métodos para disipar el calor residual de un automóvil y (b), de una máquina biológica. (Adaptado de Lechner, 2015).

Los procesos bioquímicos internos del cuerpo humano generan energía interna bajo forma de calor metabólico. El cuerpo humano es un generador constante de calor. Ya, de por sí, una persona sin hacer absolutamente nada y con su gasto energético al mínimo, es decir, solo para mantener su organismo vivo (metabolismo basal), genera entre 65 y 80 vatios de calor, según su sexo, edad y superficie corporal, mientras que una bombilla eléctrica incandescente de 60W emite, aproximadamente, 55W de calor.

Un hombre de una complexión física normal, descansando genera unos 115W de calor, caminando por una superficie plana a una velocidad entre 3.5 y 5.5 km/h genera de 235W a 360W, pero si acelera el paso a más de 7km/h su producción de calor estaría alrededor de los 520W. En un trabajo muy severo la producción de calor puede sobrepasar los 900W, como es el caso de los deportistas de alto rendimiento que, realizando una actividad muy intensa, pueden alcanzar los 2000W durante unos minutos (Chávez Del Valle, F., 2002).

2.4.3 Condiciones que proveen confort térmico

Son dos las condiciones que deben cumplirse para mantener el confort térmico:

- La combinación instantánea de la temperatura de la piel y la temperatura del centro del cuerpo debe proporcionar una sensación de neutralidad térmica.
- Debe cumplirse el balance térmico (el calor producido por el metabolismo debe ser igual a la cantidad de calor perdida por el cuerpo).

La relación entre los parámetros: temperatura de la piel, temperatura del centro del cuerpo y actividad, que resulta en una sensación térmicamente neutra, está basada en un gran número de experimentos. Durante estos experimentos la temperatura del centro del cuerpo, la

temperatura de la piel y la cantidad de sudor producidas estaban medidas en varios niveles conocidos de actividad, mientras las personas estaban térmicamente cómodas.

El confort térmico está estrechamente relacionado con la temperatura de la piel y la secreción de sudor, es decir que para un nivel de actividad y vestimenta dado una persona se sentirá confortable cuando la temperatura de la piel y la sudoración estén dentro de ciertos límites. Estas dos variables son vistas como variables fisiológicas influenciando el balance de calor (Torres, J. L., 2010).

2.4.4 Parámetros ambientales del confort térmico o comodidad térmica

La evaluación de la comodidad térmica es muy compleja porque depende de seis variables, siendo la mayoría parámetros del local, mientras que el resto depende de cada ocupante. Algunos parámetros están relacionados con las condiciones físicas del ambiente del local y, por tanto, pueden ser previstos por el proyectista y controlados por el diseño arquitectónico y constructivo del edificio, o corregidos mediante instalaciones técnicas. Sin embargo, la sensación de comodidad térmica es subjetiva para cada ocupante porque depende de parámetros personales que no siempre se puede predecir, por tanto, existirá un margen de error que conviene acotar mediante técnicas estadísticas.

En 1962, Macpherson definió los siguientes seis factores como los que afectan la sensación térmica: cuatro variables físicas (temperatura del aire, velocidad del aire, humedad relativa y temperatura media radiante), y dos variables personales (aislamiento de la ropa y nivel de actividad, es decir, tasa metabólica) (Lin, Z., Deng, S., 2008).

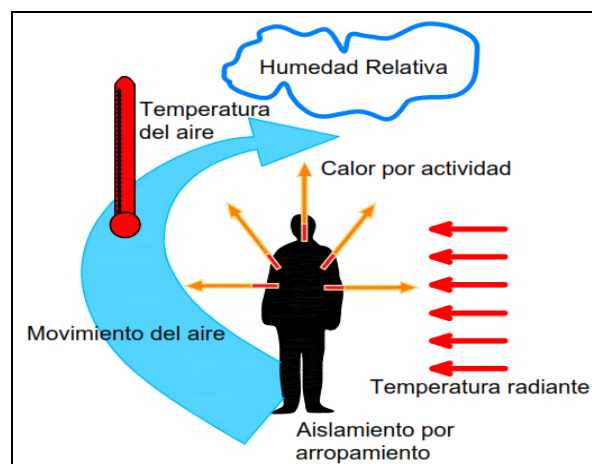


Figura 16. Principales factores y parámetros que afectan el confort térmico.

Parámetros ambientales del confort térmico

Se definen los 4 parámetros ambientales:

1. **Temperatura del aire (T_a).** Sin la influencia de otros factores ambientales (radiación, movimiento de aire y humedad relativa), la temperatura es un factor importante para determinar el confort térmico, ya que 2/5 de la pérdida de calor del cuerpo es por convección dentro de la habitación (Parsons, 2010). Se mide a menudo usando un termómetro de bulbo seco; Por lo tanto también se llama la temperatura del bulbo seco (DBT). Griffiths señala que tener la "temperatura adecuada" era una de las cosas que las personas consideraban más importantes en un edificio. Por lo tanto, para mantener la temperatura en la zona de confort

térmico, debe estar normalmente entre 16°C y 30°C para las habitaciones diurnas y más baja para los dormitorios. La temperatura experimentada por una persona en un edificio también incluye el efecto de la radiación de las paredes circundantes y la posible radiación directa de las aberturas. Sin embargo, si la temperatura está por encima o por debajo de este nivel, el confort térmico sólo puede lograrse aumentando o disminuyendo el nivel de actividad, la resistencia térmica de la ropa o la cantidad de movimiento del aire (Gabril, 2014).

2. **Temperatura media radiante (T_{mr}).** la norma ISO 7730 define la TMR así: "la temperatura media radiante es la temperatura uniforme de un recinto imaginario en el que la transferencia de calor radiante desde el cuerpo humano es igual a la transferencia de calor radiante en el recinto no uniforme real "(Parsons, 2010).

La T_{mr} influye en la pérdida de calor de dos maneras: la primera es por conducción (cuando el ocupante hace contacto con la superficie). El segundo es por la pérdida de calor radiante. Por lo tanto, el malestar se experimentará cuando la T_{mr} está por encima o por debajo de la temperatura del aire en unos pocos grados (aproximadamente 5°C); Además, un valor de la T_{mr} de 2-3 grados por encima de la temperatura del aire puede mejorar la comodidad (Gabril, 2014).

3. **Humedad relativa (HR).** es la humedad que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica. Esta es la forma más habitual de expresar la humedad ambiental. Se expresa en tanto por ciento %.
4. **Velocidad del viento.** Es uno de los parámetros que se incluye en los cálculos de la sensación térmica. Se expresa en m/s (metros/segundo) y se mide con diversos tipos de anemómetros.

2.4.5 Factores personales

Además de los factores ambientales, existen factores fisiológicos que afectan el confort térmico de una persona, cada uno de los cuales varía entre los individuos y las actividades que se realizan dentro de un espacio particular; Estos son nivel de ropa (Clo), tasa metabólica (Met), estado de salud y aclimatación.

2.4.5.1 Nivel de ropa (Clo)

En la mayoría de los casos, los ocupantes del edificio son sedentarios o ligeramente activos y usan ropa interior típica. La ropa, a través de sus propiedades de aislamiento, es un modificador importante de la pérdida de calor del cuerpo y la comodidad. Las propiedades de aislamiento de la ropa son el resultado de las pequeñas bolsas de aire separadas unas de otras para evitar que el aire emigre a través del material y, en general, toda la ropa hace uso de este principio de aire atrapado dentro de las capas de tejido. El aislamiento de la ropa se puede describir en términos de su valor Clo. El valor Clo es una representación numérica de la resistencia térmica de un conjunto de prendas de vestir. $1 \text{ Clo} = 0,155 \text{ m}^2 \cdot \text{°C} / \text{W}$. Un traje de negocios pesado de dos piezas y accesorios tienen un valor de aislamiento de alrededor de 1 Clo, mientras que un par de pantalones cortos es de aproximadamente 0,05 Clo (Elaiab, 2014). La figura 17 muestra un ejemplo del cálculo de Clo.

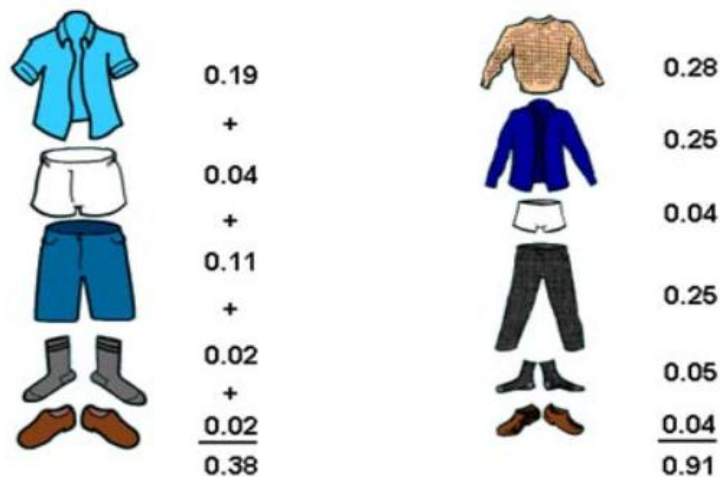


Figura 17. Ejemplo de cálculo del Clo. (Torres, J.L., 2010).

2.4.5.2 Tasa metabólica (Met)

Para determinar las condiciones ambientales óptimas para la comodidad y la salud, se debe determinar el nivel metabólico durante el curso de las actividades físicas de rutina, ya que la producción de calor corporal aumenta en proporción al nivel de ejercicio. Cuando el nivel de actividad cambia de dormir a trabajo pesado, el metabolismo varía. La tasa a la que la energía en los alimentos se convierte en calor en el cuerpo se llama tasa metabólica, y puede expresarse en vatios. La tasa metabólica de un adulto de tamaño medio cuando está sentado y relajado es de aproximadamente $100W = 90\text{kcal/hr}$. Con el fin de reducir la variación entre personas de diferentes tamaños, la tasa metabólica puede expresarse en W/m^2 de área corporal. La superficie media de un adulto varón es de aproximadamente $1,8 m^2$. Otra unidad utilizada para la tasa metabólica es el met, basado en la tasa metabólica de una persona sentada cuando está relajado (Elaiab, 2014). En el anexo 1. Niveles de actividad, se lista valores típicos de tasas metabólicas por unidad de superficie de la piel para un adulto promedio para actividades realizadas de manera continua.

2.5 Medición del confort térmico

Existen diferentes enfoques teóricos para determinar estándares térmicos, el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo⁵ (Gómez, A.G. et al., 2007).

2.5.1 Enfoque cuantitativo

El enfoque cuantitativo reduce la sensación de confort a un balance de energía entre el individuo y el entorno. Procura tener controlado los parámetros físicos que afectan la preferencia térmica de las personas, y de cierta forma generaliza los resultados obtenidos, considerando que todas las personas en diferentes latitudes prefieren las mismas temperaturas.

El enfoque cuantitativo se ha desarrollado en su mayor parte con trabajo experimental realizado en una cámara climática. Estas cámaras son laboratorios donde se pueden ajustar las condiciones ambientales de temperatura del aire y de radiación, la humedad y la velocidad del aire. Estas cámaras se han utilizado mucho en experimentos controlados, investigando el efecto de los parámetros físicos de confort. Este tipo de acercamiento permite tratar cada componente separadamente de la interacción en el entorno humano. Es importante mencionar

⁵ Al enfoque cuantitativo también se le conoce como analítico o determinista y al enfoque cualitativo en algunos casos se le llama adaptativo.

que los modelos desarrollados con este enfoque representaron una gran aportación para la comprensión y evaluación del ambiente térmico.

2.5.2 Enfoque cualitativo o adaptativo

El enfoque cualitativo del confort térmico no parte de considerar el intercambio de calor entre el cuerpo y el entorno, sino de observar que existen una serie de acciones que el ser humano puede realizar para alcanzar el confort térmico (Nicol, J.F., Humphreys, M.A., 2002).

A diferencia del cuantitativo, este no generaliza los resultados, ya que toma en consideración que los individuos prefieren diferentes temperaturas de acuerdo a la temperatura exterior que ellos experimentan, en este caso tiene que ver con el concepto de aclimatación y está estrechamente relacionado con el tiempo de permanencia que pasa el individuo en determinado lugar con un tipo de clima. En este enfoque no se interviene ni se controlan los parámetros físicos que afectan en la preferencia térmica de las personas (Ruiz, T.P., 2007).

En el siguiente esquema (Figura 18) se pueden apreciar las diferencias básicas entre los enfoques de estudios del confort térmico humano.

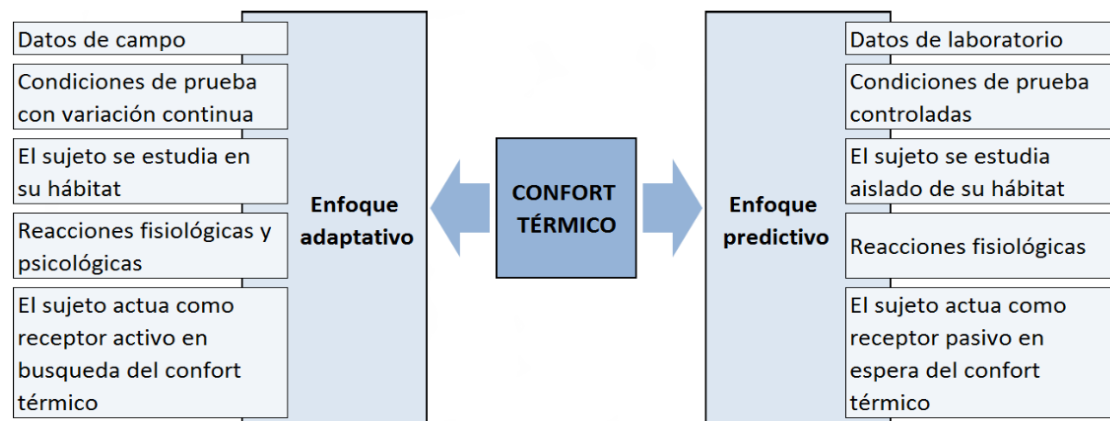


Figura 18. Diferencias básicas entre los enfoques de estudios del confort térmico humano. (Rincón, M.L., 2015)

En este contexto, existen modelos de temperaturas adaptativas al confort térmico denominadas temperaturas de neutralidad que son asumidas como la temperatura de confort donde diversos autores han contribuido a su desarrollo como:

Tabla 4. Modelos de temperatura adaptativa. (Gómez-Azpeitia, et al., 2007).

Autor	Modelo
Humphreys (1976)	$T_n=0.534T_m+11.9$
Auliciems (1981)	$T_n=0.31T_m+17.6$
Griffiths (1990)	$T_n=0.534T_m+12.1$
Nicol et al. (1993)	$T_n=0.38T_m+17.0$
Brager /de Dear (1998)	$T_n=0.31T_m+17.8$
Humphreys / Nicol (2000)	$T_n=0.54T_m+13.5$

T_m : promedio mensual de la temperatura exterior del lugar.

La temperatura neutra, neutral o de neutralidad como se le conoce por diferentes autores, varía de lugar a lugar e igualmente de estación a estación, como una función de la media mensual de la temperatura exterior.

Para el cálculo de la amplitud de la zona de confort se comienza por determinar la oscilación media de la temperatura del aire, bastará hallar la diferencia entre los dos primeros datos climatológicos señalados: máxima y mínima promedio mensual. La amplitud de la zona de confort se determina entonces mediante la tabla 5. Dicha amplitud, centrada en torno a T_n , determina los límites de la zona de confort (Morillón, D., 2004, p. 23,24).

Tabla 5. Amplitud de la zona de confort vs oscilación media de la temperatura del aire. (Morillón, D., 2004, p. 23,24)

Oscilación media de la temperatura del aire (°C)	Amplitud de la zona de confort (°C)
Menos de 13	2.5
13-15	3.0
16-18	3.5
19-23	4.0
24-27	4.5
28-32	5.0
33-37	5.5
38-44	6.0
45-51	6.5
más de 51	7.0

2.5.3 Zona de confort térmico

La zona de confort queda definida cuando se traza sobre una tabla psicrométrica combinaciones de temperatura del aire y de humedad relativa. Dado que la tabla psicrométrica se refiere sólo a la temperatura y a la humedad, los otros dos factores (movimiento de aire y temperatura media radiante) se mantienen fijos. Se supone que la temperatura media radiante está cerca de la temperatura del aire, y se supone que el movimiento del aire es moderado. Representar zonas de confort sobre diagramas psicrométricos dan a lugar diagramas bioclimáticos o cartas bioclimáticas.

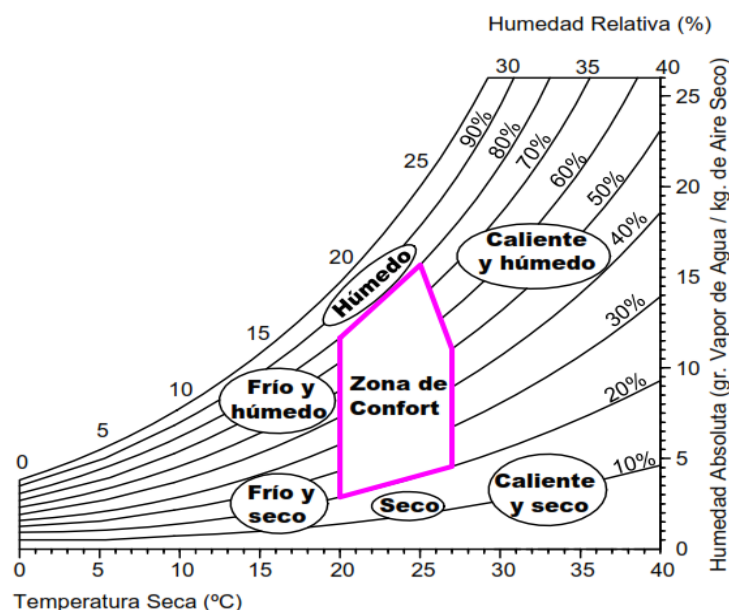


Figura 19. La zona de confort y varios tipos de disconfort fuera de esa zona que se muestran en el gráfico psicrométrico. (Adaptado de Lechner, 2015).

Es importante señalar que los límites dados de la zona de confort no son absolutos, porque el confort térmico también varía con la cultura, la época del año, la salud, la cantidad de grasa que lleva un individuo, la cantidad de ropa usada y, lo más importante, la actividad física. Aunque las condiciones requeridas para el confort térmico varían de persona a persona, la zona de confort debe ser la meta del diseño térmico de un edificio porque define aquellas condiciones que el 80 por ciento de la gente encuentra cómoda. Una mirada detallada a la zona de confort muestra que consta de una zona de verano y otra de invierno (figura 20) (Lechner, N., 2015).

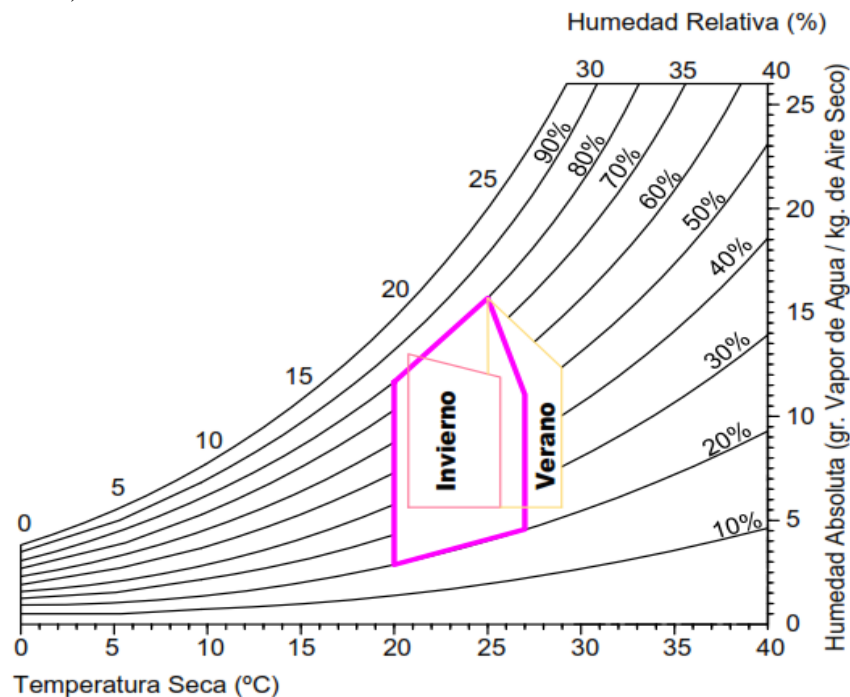


Figura 20. Una mirada más detallada a la zona de confort muestra que en realidad consiste en dos zonas ligeramente superpuestas. (Adaptado de Lechner, 2015).

Siempre que sea posible, los controles adicionales deben estar disponibles para los ocupantes de un edificio para que puedan crear las condiciones térmicas que sean justas para ellas. El uso adecuado y racional de los equipos de aire acondicionado, la operación de ventanas y puertas, y demás equipos o dispositivos que permitan a la gente mejorar su entorno para sentirse cómodos, puede ser utilizado.

2.5.4 Estrategias de confort térmico

Son varias las estrategias que se han desarrollado para crear el confort térmico en viviendas y/o edificaciones. El gráfico psicrométrico que se muestra en la figura 21 se denomina gráfico bioclimático de construcción porque integra estrategias arquitectónicas con las necesidades de confort térmico humano. Por ejemplo, la estrategia de enfriamiento evaporativo (área inferior derecha de la figura 21) corresponde con la zona de malestar caliente y seco (área inferior derecha de la figura 20). El diagrama también muestra las ganancias de calor internas por fuentes como, máquinas, personas y luces, son suficientes para calentar el edificio en condiciones ligeramente frías.

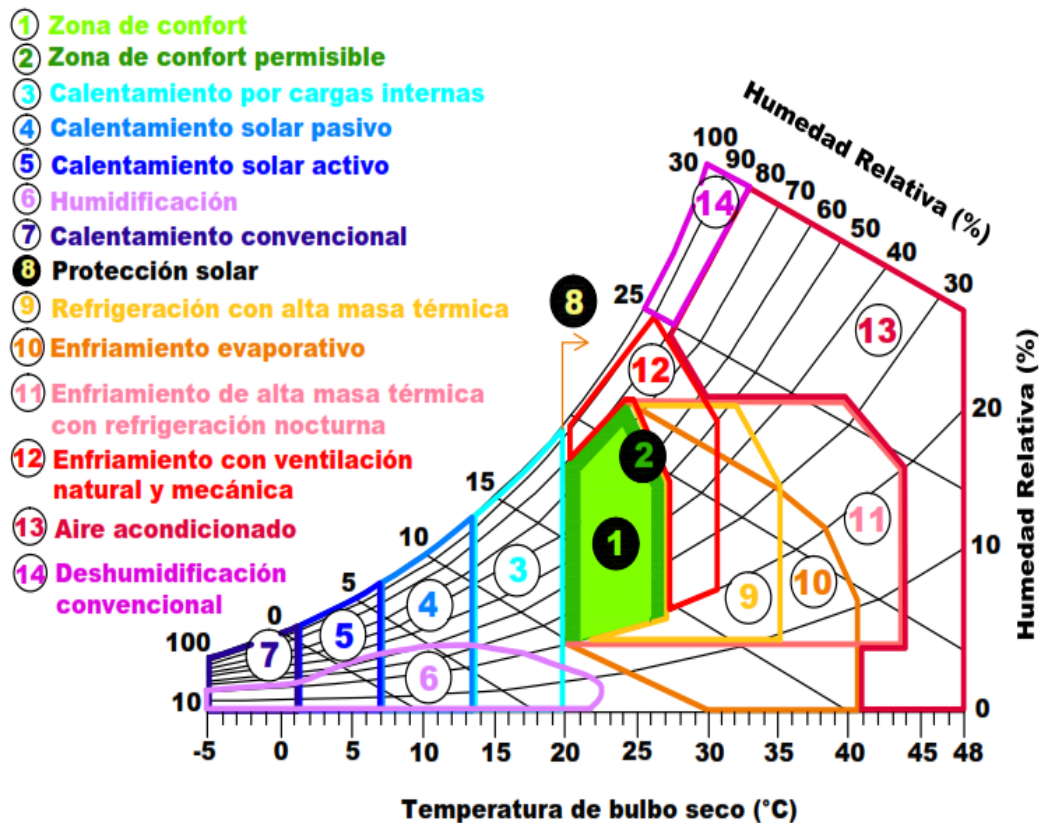


Figura 21. Cuadro bioclimático que resume las estrategias de diseño en función de las condiciones ambientales (clima). (Adaptado de Agugliaro, F.M., 2015).

2.5.5 Diagrama psicrométrico de Givoni y Olgyay

Entre las múltiples herramientas de diseño bioclimático existentes y disponibles hoy en día citaremos 2, que corresponden a las más empleadas.

2.5.5.1 Diagrama psicrométrico de Givoni

En el diagrama se traza una zona de confort térmico y se propone otras zonas donde es posible alcanzar el confort mediante la incorporación y/o aplicación de estrategias de diseño pasivo tal como se aprecia en la figura 21. Fuera de estas zonas, se vuelve necesario el uso de sistemas termo-mecánicos de acondicionamiento ambiental sea para calefacción como para refrigeración (Pozo, C., 2011).

2.5.5.2 Diagrama psicrométrico de Olgyay

Realizado en los años 50 y desarrollado en la Universidad de Berkeley, este permite realizar un estudio del potencial que tiene el diseño del exterior de los edificios, para suministrar confort.

En la zona superior, en función de las condiciones exteriores (humedad relativa, temperatura), nos da los valores de la velocidad del aire necesarios para que las condiciones sean similares a las del confort humano. En la zona inferior de la zona de confort, refleja las temperaturas exteriores con las cuales podemos estar dentro de los niveles de confort si los niveles de radiación solar son los adecuados (Pozo, C., 2011).

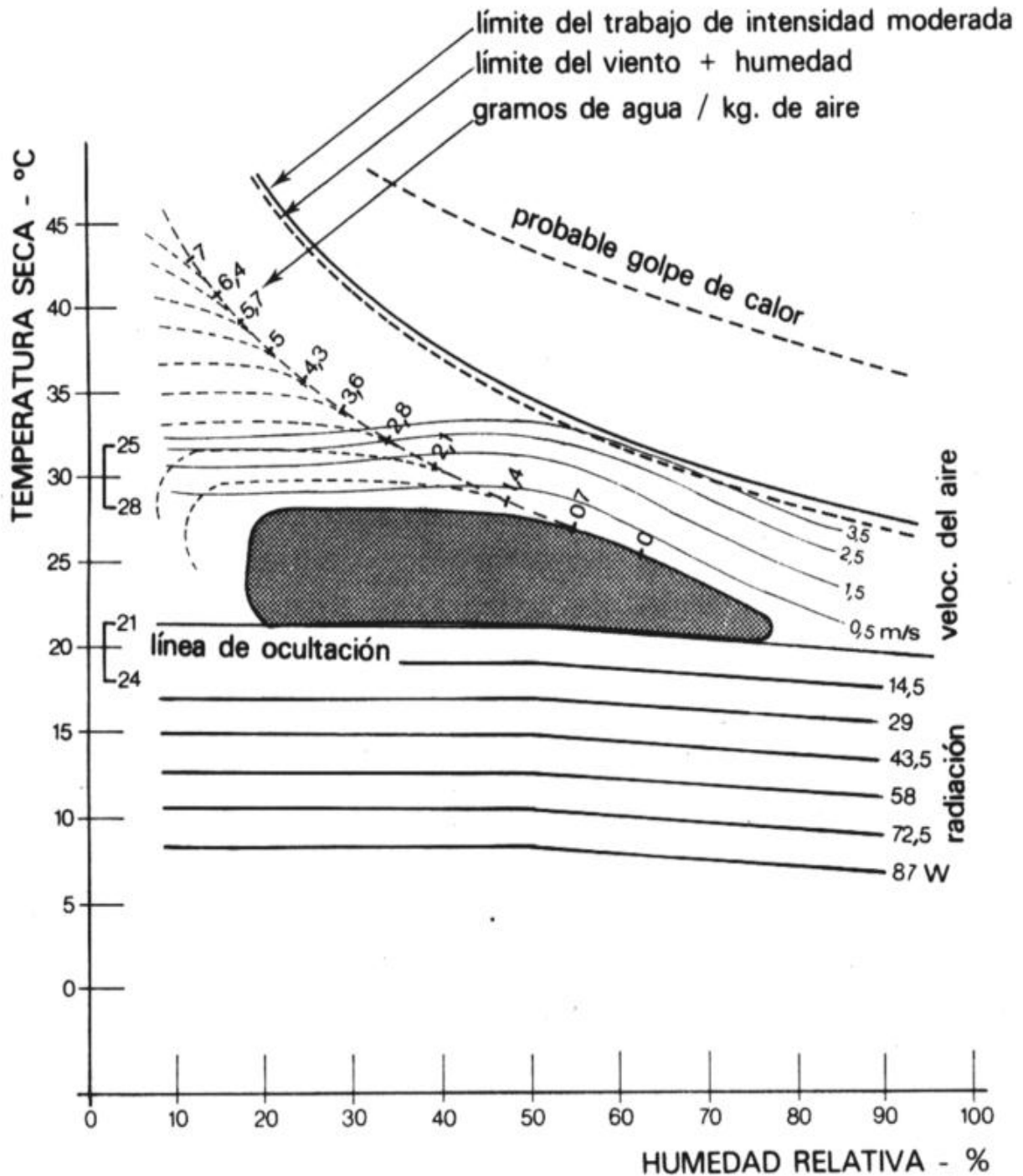


Figura 22. Representación del diagrama psicrométrico de Olgay. (Pozo, C., 2011).

2.6 Propiedades termofísicas de los materiales

Se tratarán varias propiedades que definen el comportamiento térmico de los materiales, indicando como responden a la aplicación de calor (Mecott, G.S., 2008).

2.6.1 Conductividad térmica (k)

Es la capacidad que tiene un material para transferir calor, y es, el cociente de la densidad del flujo térmico y el gradiente de temperatura ($W/m^{\circ}C$).

2.6.2 Densidad (ρ)

Define el cociente entre la cantidad de masa (kg) que caracteriza al material y el volumen unitario (m^3). Su valor se mide en (kg/m^3).

2.6.3 Calor específico (c)

Es la característica del material que expresa la cantidad de calor necesario para aumentar un grado Celsius la temperatura de una unidad de masa, se mide en ($J/kg^\circ C$).

2.6.4 Difusividad térmica (a),

Es la noción de velocidad de difusión, que tiene que ver con la difusión de una temperatura en un material. Sometido a un cambio de temperatura, un material vera a esta variar rápidamente en la medida que mayor sea su difusividad térmica, se mide en (m^2/s).

2.6.5 Efusividad térmica (b)

Tiene que ver con la efusión de una potencia térmica dentro de un material, es decir, el flujo de calor que el material absorbe de acuerdo con su estado térmico.

2.6.6 Inercia térmica

Se estima con base en la capacidad térmica (C), a partir de la energía que puede retener un elemento por unidad de masa, al incrementar su temperatura un grado Celsius. Un ejemplo de la importancia de esta propiedad es cuando se utiliza la masa térmica para disminuir la velocidad de flujo de calor, almacenar energía y liberarla cuando la temperatura del entorno es menor a la temperatura de los materiales, así se puede evitar las variaciones de temperatura dentro del espacio.

2.7 Fundamentos y balances energéticos en viviendas y/o edificaciones

El estudio de los fenómenos de transporte se ha realizado tradicionalmente comenzando por el transporte de cantidad de movimiento, luego el transporte de energía y finalmente el transporte de masa. De los tres fenómenos de transporte, en este estudio trataremos el segundo. El proceso de transporte de calor es probablemente el más familiar dado que es parte de nuestra experiencia diaria, por ejemplo cuando se nos enfría la sopa o el café. La transferencia de calor es la expresión usada para indicar el transporte de energía originado en una diferencia de temperatura. La "*Velocidad de Transferencia de Calor*" es la expresión de la energía térmica transportada por unidad de tiempo, y "*Flujo de Calor*" es la velocidad de transferencia de calor por unidad de área. El cálculo de las velocidades locales de transferencia de calor requieren conocer las distribuciones locales de temperatura, las cuales proveen el potencial para la transferencia de calor (Betancourt, G.R., 1991).

Las edificaciones aunque estáticas son dinámicas térmicamente. Físicamente, las edificaciones son sistemas termodinámicos abiertos, en situación permanente de no-equilibrio y de paredes diabáticas⁶, capaces de intercambiar masa/energía con el entorno. El comportamiento térmico de la edificación depende de varios parámetros tales como el clima (variables ambientales no controladas) y variables de diseño (que pueden ser controladas en la etapa de diseño). De las variables ambientales se derivan cambios en la temperatura, humedad y presión de aire entre las superficies exteriores e interiores de la envolvente. Dichas condiciones ambientales

⁶ Diabático. Es aquel proceso en el que ocurre la transferencia, es decir, es el opuesto a un proceso adiabático. Donde este último es aquel en el cual el sistema termodinámico (generalmente, un fluido que realiza un trabajo) no intercambia calor con su entorno. Un **proceso adiabático** que es además reversible se conoce como **proceso isentrópico**. Fuente: <https://es.wikipedia.org/wiki>

cambian con el tiempo, además, los materiales de la envolvente⁷ tienen la capacidad de almacenar calor y humedad. Esto provoca que la transferencia de calor y masa a través de los materiales de la envolvente adquiera un carácter transitorio. Asimismo La diferencia de temperatura, humedad y presión del aire entre las superficies exteriores e interiores son los potenciales de impulso de la transferencia de calor y masa a través de la envolvente. En la figura 23 se ilustran los principales procesos que afectan a dichos potenciales de impulso (Espinoza, R. S., 2012).

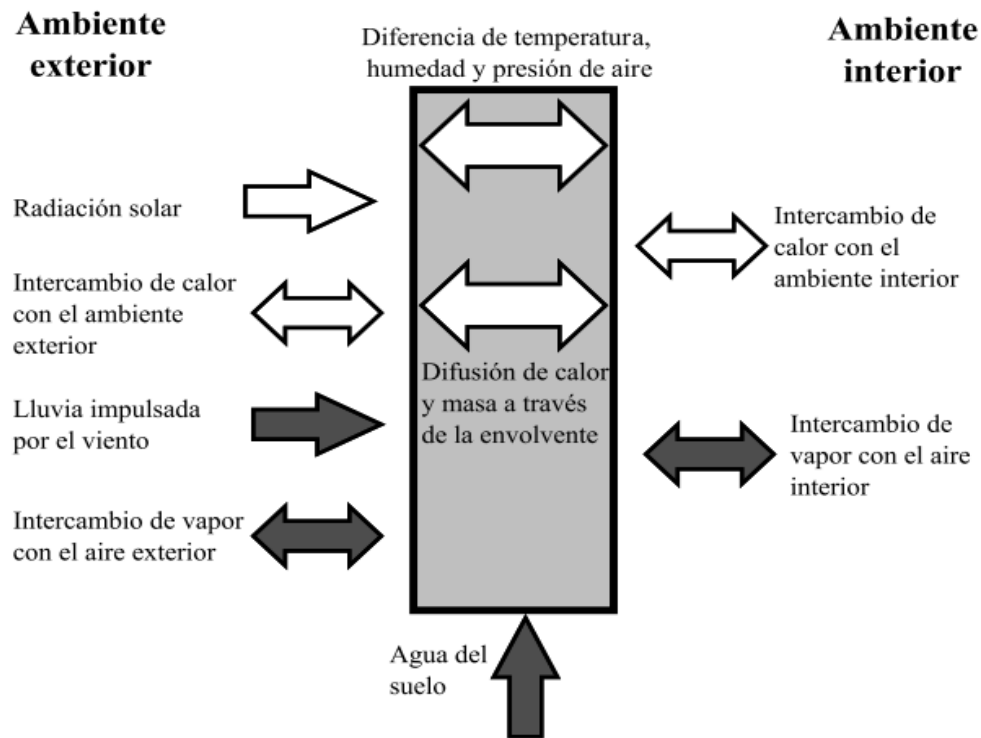


Figura 23. Principales procesos que afectan la transferencia de calor y masa a través de la envolvente. (Espinoza, R.S., 2012).

Para disminuir el consumo energético en edificaciones sin sacrificar el confort es necesario conocer y aplicar los principios básicos de transferencia de calor acoplados al clima local y la explotación de las propiedades físicas de los materiales de construcción. La utilización de estos principios básicos para diseñar en forma sustentable la edificación, pueden hacer posible el control de las condiciones de confort en el interior de las edificaciones (García, G.A., 2013). En tal sentido, hay dos tipos de transferencia de calor: la transferencia de calor que se produce sin cambio de estado, y la transferencia de calor que se produce con un cambio de estado. El primero describe la conducción, convección y radiación; este último describe los procesos de cambio de fase, tales como la evaporación (Fuller, M.E., 2015).

2.7.1 Fundamentos de transferencia de calor

Las leyes y ecuaciones que gobiernan los mecanismos de transferencia de calor son, la ley de Fourier de la conducción, la ecuación de enfriamiento de Newton de la convección y la Ley de Stefan-Boltzman de la radiación.

⁷ Envolvente. Incluye en un edificio los techos, suelos, paredes y puertas, y sirve como una barrera física que separa las condiciones ambientales del exterior y del interior del mismo.

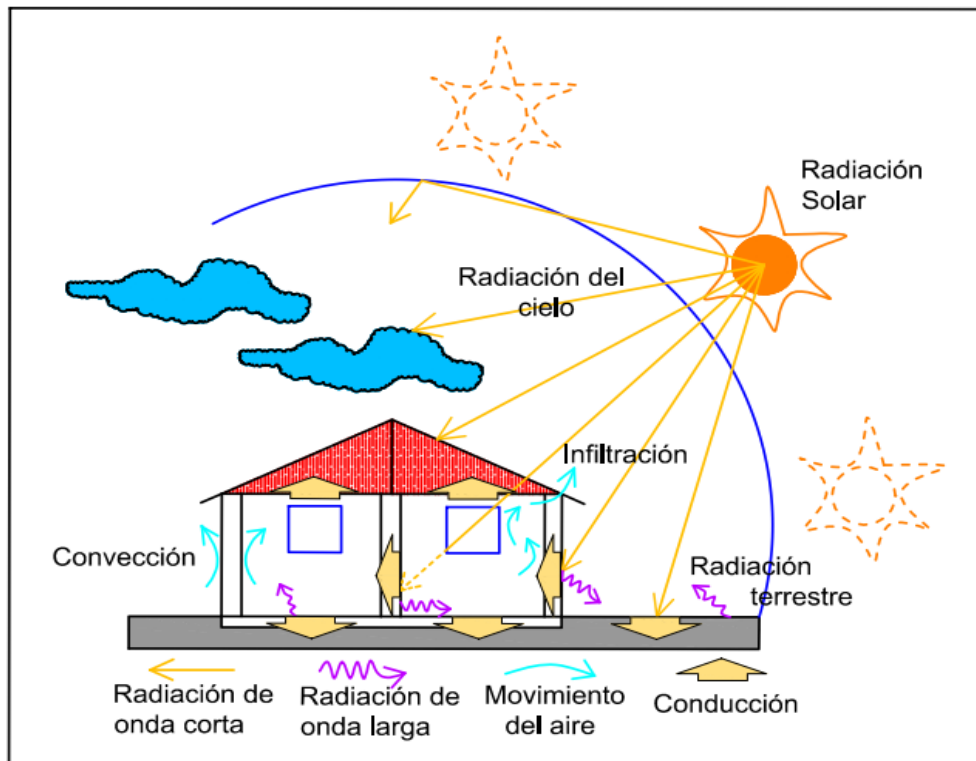


Figura 24. Resumen de los mecanismos de transferencia de calor en una vivienda.

2.7.1.1 Ley de Fourier-Conducción

La **conducción** es la transferencia de energía de las partículas más energéticas de una sustancia hacia las adyacentes menos energéticas, como resultado de interacciones entre esas partículas. La conducción puede tener lugar en los sólidos, líquidos o gases (Cengel, Y., Ghajar, A., 2011). La velocidad con el cual se transmite calor a través de un material depende de la diferencia de la temperatura entre la fuente de calor y el material que es calentado, de la conductividad térmica de éste, de su espesor y del área expuesta (Simonson, 1975). Para la pared plana unidimensional (ver Figura 25), que tiene una distribución de la temperatura $T(x)$, la ecuación de flujo se expresa como:

$$q_x'' = -k \frac{dT}{dx} \quad (1)$$

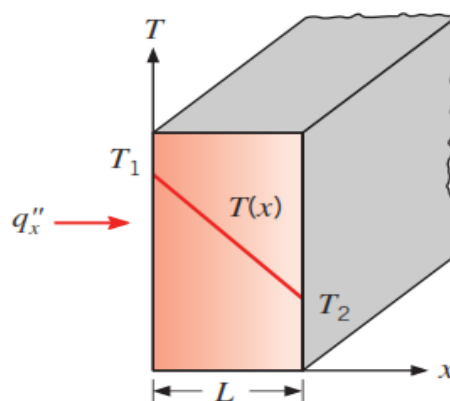


Figura 25. Transferencia unidimensional del calor por conducción. (Incropera, F., 2011).

Donde el flujo de calor por unidad de área q_x'' (W/m²) es la rapidez con que se transfiere el calor en la dirección x por área unitaria y es perpendicular a la dirección del flujo de calor, y es proporcional al gradiente de temperatura dT/dx en esta dirección. La constante de proporcionalidad k , es una propiedad de transporte conocida como conductividad térmica (W/mK) que se puede considerar como una medida de la capacidad de los materiales para conducir el calor. Un valor elevado de conductividad térmica indica que el material es un buen conductor de calor (ejemplo, metales, hormigones, entre otros); un valor bajo indica que es un pobre conductor de calor o aislante térmico (ejemplo, lana de vidrio, poliestireno, entre otros). El *signo negativo* en la ecuación (1) garantiza que la transferencia de calor en la dirección x positiva sea una cantidad positiva (Cengel, Y., Ghajar, A., 2011).

Bajo las condiciones de estado estacionario, ver figura 25, donde la distribución de la temperatura es lineal, el gradiente de temperatura se puede expresar como (Bergman, T.L., Incropera, F.P., 2011):

$$\frac{dT}{dx} = \frac{T_2 - T_1}{L} \quad (2)$$

y el flujo de calor es entonces:

$$q_x'' = -k \frac{T_2 - T_1}{L}$$

o

$$q_x'' = k \frac{T_1 - T_2}{L} = K \frac{\Delta T}{L} \quad (3)$$

Tener en cuenta que esta ecuación proporciona un flujo de calor ux , es decir, la razón de transferencia de calor por unidad de área. La transferencia de calor por conducción $q_x(W)$, a través de una pared plana de área A es entonces el producto del flujo y el área.

$$q_x = q_x'' \times A \quad (4)$$

2.7.1.2 Ecuación o Ley de enfriamiento de Newton-Convección

La **convección** es el modo de transferencia de energía entre una superficie sólida y el líquido o gas adyacente que está en movimiento y comprende los efectos combinados de la *conducción* y el *movimiento de fluidos*. Entre más rápido es el movimiento de un fluido, mayor es la transferencia de calor por convección. En ausencia de cualquier movimiento masivo de fluido, la transferencia de calor entre una superficie sólida y el fluido adyacente es por conducción pura. La presencia de movimiento masivo del fluido acrecienta la transferencia de calor entre la superficie sólida y el fluido, pero también complica la determinación de las razones de esa transferencia (Cengel, Y., Ghajar, A., 2011).

Cuando el movimiento del fluido se produce por causas mecánicas externas como un ventilador, una bomba o el viento, se denomina al proceso convección forzada. Como contraste, se dice que es convección natural (o libre) si el movimiento del fluido se produce por diferencias de densidades debidas a la variación de la temperatura en ese fluido. Se debe notar que tan pronto como existan diferencias de temperatura en el fluido se producen corrientes de convección naturales por lo que es virtualmente imposible observar la conducción de calor pura en un fluido.

Cuando un fluido real se mueve a lo largo de una superficie sólida, se observa que su velocidad es nula en la superficie de la pared debido a las fuerzas de viscosidad del fluido y

varia con la distancia a la misma, hasta un valor finito u_∞ asociado con el flujo, tanto para convección natural como para forzada. Esta región del fluido se conoce como capa límite hidrodinámica o de velocidad. Además, si las temperaturas de la superficie y del fluido difieren, habrá una región del fluido a través de la cual la temperatura varía de T_s en la superficie a T_∞ en el flujo exterior, esta región es denominada capa límite térmica, pudiendo ser de dimensiones diferentes a la capa límite de velocidad (Giancola, 2010).

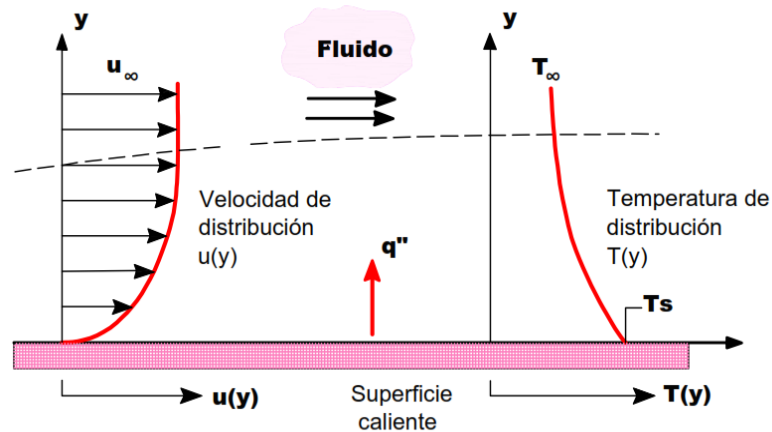


Figura 26. El desarrollo de la capa límite en la transferencia de calor por convección. (Adaptado de Incropera, F., 2011).

A pesar de la complejidad de la convección, se observa que la rapidez de la *transferencia de calor por convección* es proporcional a la diferencia de temperatura y se expresa en forma conveniente por la **ley de Newton del enfriamiento** como:

$$q'' = h(T_s - T_\infty) \quad (5)$$

Donde, el flujo de calor convectivo (W/m^2), es proporcional a la diferencia entre la temperatura de la superficie T_s , y la temperatura del fluido T_∞ respectivamente. Esta expresión se conoce como la ley de enfriamiento de Newton, y el parámetro h (W/m^2K) se denomina el coeficiente de transferencia de calor por convección. Este coeficiente depende de las condiciones en la capa límite, que son influenciados por la geometría de la superficie, la naturaleza del movimiento del fluido, y una variedad de propiedades termodinámicas y de transporte de fluidos ya mencionados.

2.7.1.3 Ley de Stefan-Boltzman-Radiación

La transferencia de calor por radiación entre las superficies difiere de la conducción y convección en que no se requiere un medio para su propagación (la energía se transporta de una superficie a otra en forma de ondas electromagnéticas); de hecho la transferencia de energía por la radiación es máxima cuando las dos superficies que están intercambiando energía están separados por un vacío perfecto (Welty, 2008).

La radiación es un *fenómeno volumétrico* y todos los sólidos, líquidos y gases emiten, absorben o transmiten radiación en diversos grados. Sin embargo, la radiación suele considerarse como un *fenómeno superficial* para los sólidos que son opacos a la radiación térmica, como los metales, la madera y las rocas, ya que las radiaciones emitidas por las regiones interiores de un material de ese tipo nunca pueden llegar a la superficie, y la radiación incidente sobre esos cuerpos suele absorberse en unas cuantas micras hacia adentro de dichos sólidos (Cengel, Y., Ghajar, A., 2011).

Considerando los procesos de transferencia de radiación para la superficie de la figura 27. La radiación que se emite por la superficie es originada a partir de la energía térmica delimitada por la superficie de la materia, y la velocidad a la que se libera energía por unidad de área (W/m^2) se denomina la potencia emisiva de la superficie E . Hay un límite superior para la potencia de emisión, que está prescrito por la ley de Stefan Boltzmann (Bergman, T.L., Incropera, F.P., 2011).

$$E_b = \sigma T_s^4 \quad (6)$$

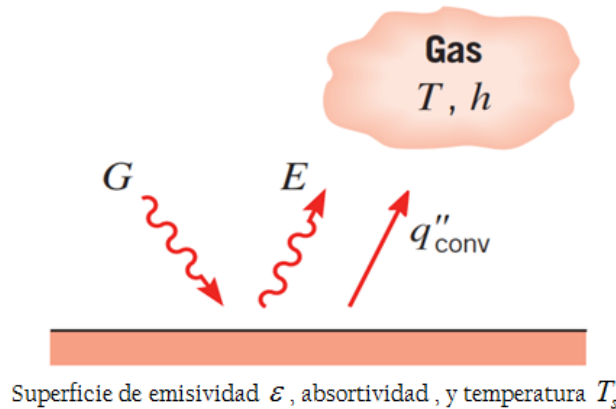


Figura 27. Intercambio de radiación en una superficie. (Cengel, Y., 2011).

Donde T_s es la temperatura absoluta (K) de la superficie y σ es la constante de Stefan Boltzmann ($\sigma = 5.67 \times 10^{-8} W/m^2 K^4$). Tal superficie se llama radiador ideal o cuerpo negro. El flujo de calor emitido por una superficie real es menor que la de un cuerpo negro a la misma temperatura y está dado por:

$$E = \varepsilon \sigma T_s^4 \quad (7)$$

En donde ε es la **emisividad** de la superficie. La emisividad cuyo valor está en el intervalo $0 \leq \varepsilon \leq 1$, es una medida de cuán próxima está una superficie de ser un cuerpo negro, para el cual $\varepsilon = 1$. En la tabla 6 se dan las emisividades de algunas superficies.

Tabla 6. Emisividades de algunos materiales a 300K. (Cengel, Y., 2011).

Material	Emisividad
Hoja de aluminio	0.07
Aluminio anodizado	0.82
Cobre pulido	0.03
Oro pulido	0.03
Plata pulida	0.02
Acero inoxidable pulido	0.17
Pintura negra	0.98
Pintura blanca	0.90
Papel blanco	0.92-0.97
Pavimento de asfalto	0.85-0.93
Ladrillo rojo	0.93-0.96
Piel humana	0.95
Madera	0.82-0.92
Suelo	0.93-0.96
Agua	0.96
Vegetación	0.92-0.96

La radiación también puede incidir sobre una superficie desde sus alrededores. La radiación puede provenir de una fuente especial, como el sol, o de otras superficies a las que está expuesta la superficie de interés. Independientemente de la fuente (s), designamos la velocidad a la que toda esa radiación incidente sobre un área unitaria de la superficie como la irradiación G (Figura 27).

Una parte, o la totalidad de la irradiación pueden ser absorbidas por la superficie, aumentando así la energía térmica del material. La velocidad a la que la energía radiante es absorbida por unidad de área superficial se puede evaluar a partir del conocimiento de una propiedad radiativa de la superficie denominada absorptividad α . Es decir:

$$G_{abs.} = \alpha G \quad (8)$$

Como la emisividad, el valor de α está en el intervalo $0 \leq \alpha \leq 1$. Si $\alpha < 1$ y la superficie es *opaca*, partes de la irradiación se *reflejan*; si la superficie es *semitransparente*, partes de la radiación también se *transmiten*. Un cuerpo negro absorbe toda la radiación incidente sobre él. Es decir, un cuerpo negro es un absorbente perfecto ($\alpha = 1$) del mismo modo que es un emisor perfecto.

2.7.2 Balance térmico en viviendas y/o edificaciones

Para determinar cuáles son los requisitos de aire acondicionado o calefacción que requiere una vivienda se necesita hacer un balance térmico de la misma, determinando cuales son las ganancias de calor o pérdidas de calor por cada uno de los procesos que este trasmite, cuales son los materiales que se utilizan, determinando cual es el coeficiente de transferencia de calor de cada elemento.

2.7.2.1 ¿Qué es el balance térmico?

El balance térmico es la cuantificación de la cantidad de calor que se necesita absorber o suministrar a un espacio a acondicionar, es la relación entre entradas y salidas (ganancias y pérdidas) de energía térmica para mantener el ambiente interior del lugar en unas condiciones de temperatura y humedad definidas para dar comodidad o para un proceso industrial.

La vivienda tenderá a calentarse cuando las ganancias de calor sean mayores que las pérdidas, y a enfriarse en la situación contraria. En cualquiera de los casos, el ambiente interior puede llegar a condiciones de discomfort, requiriendo de sistemas de climatización (calefacción o refrigeración) para ser contrarrestadas.

2.7.2.2 ¿Para qué nos sirve el balance térmico?

El balance de ganancias y pérdidas de energía térmica en un lugar a acondicionar puede establecerse de modo esquemático según lo siguiente:

- Radiación solar.
- Intercambio térmico, por conducción y convección, por diferencia entre la temperatura interior y la exterior.
- Iluminación artificial
- Equipos, procesos y maquinarias
- Ocupación personal.

El balance térmico sirve para calcular cada uno de estos factores anteriores y de esta forma se suman para cuantificar la cantidad de calor que es necesaria disipar o agregar al espacio acondicionado, a esta cantidad de calor se le conoce como **carga térmica**. Si el balance total es negativo, resulta que en el lugar se produce una pérdida neta de energía térmica que,

naturalmente, para el mantenimiento de las condiciones prefijadas exigirá un suministro de aire caliente o, lo que es lo mismo, la calefacción del espacio (Espinoza, R.L., 2013).

2.7.3 Pérdidas y ganancias de calor o energía

Una vivienda o edificio puede ser considerado como una unidad definida tal es así que se puedan examinar los procesos de su intercambio de calor con el ambiente exterior resultando de ello, pérdidas y ganancias de calor o energía. En una vivienda se tiene fuentes de calor externas originadas por las condiciones atmosféricas y la radiación térmica del Sol, internas, ocasionadas por las personas, aparatos electrodomésticos, alumbrado y las generadas por las cocinas.

2.7.3.1 Pérdidas de calor

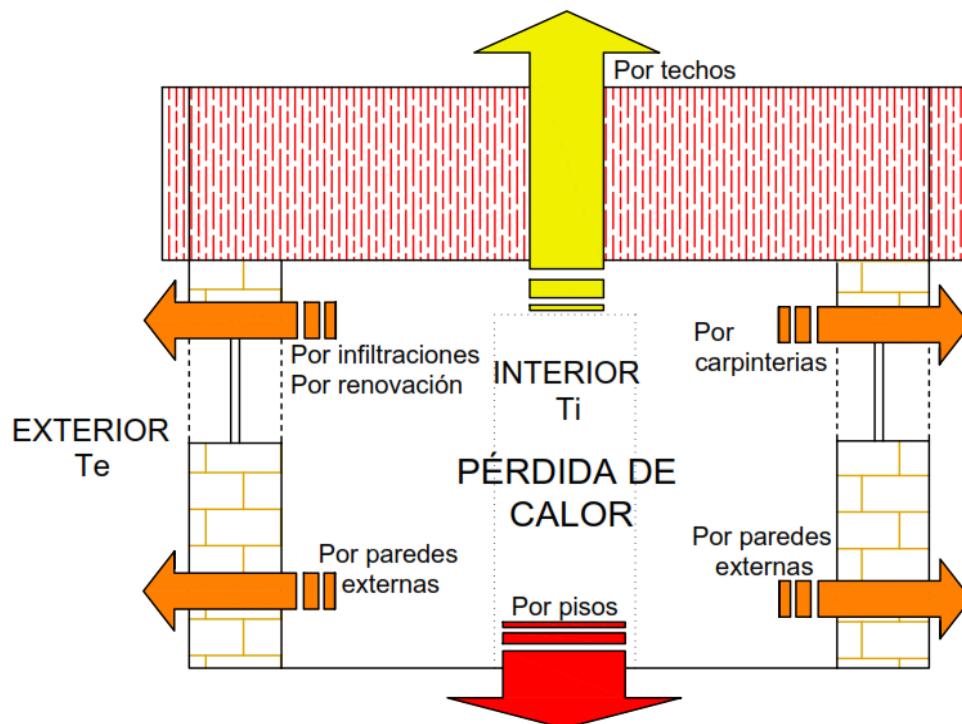


Figura 28. Representación de las pérdidas de calor en el MEV.

El balance energético de pérdida de calor (Corrales, P.M., 2012) se representa por:

$$Q_P = Q_{techo-pared} + Q_{suelo} + Q_{vidrio} + Q_{renovaire}$$

$$Q_P = \sum A_{tp} U_{tp} (T_i - T_e) + \sum A_s U_s (T_i - T_s) + \sum A_v U_v (T_i - T_e) + 0.223NV(T_i - T_e) \quad (9)$$

Dónde:

Q_p : pérdida de calor

A_{tp} : áreas de techos y paredes (m²)

U_{tp} : transmitancia térmica de techo y paredes (W/m²°C)

A_s : área del suelo

U_s : transmitancia térmica del suelo (W/m²°C)

A_v : área del vidrio

U_v : transmitancia térmica del vidrio (W/m²°C)

N : número de veces que se renueva el aire por hora

V : volumen del aire interior
 T_i : temperatura interior
 T_e : temperatura exterior

U representa el coeficiente global de transferencia de calor o transmitancia térmica. Su cálculo viene dado por la siguiente relación:

$$U = \frac{1}{1/h_i + 1/h_e + e_1/k_1 + e_2/k_2 + \dots + e_n/k_n} \quad (10)$$

Dónde:

$1/h_i$: Resistencia térmica superficial interior ($m^2\text{°C/W}$)

$1/h_e$: Resistencia térmica superficial exterior ($m^2\text{°C/W}$)

e_n : espesor de las capas que conforman los elementos constructivos (m)

k_n : coeficientes de conductividad térmica de los materiales ($W/m\text{°C}$)

Los valores de las resistencias térmicas superficiales las obtenemos de la norma técnica EM.110.

Tabla 7. Resistencias térmicas superficiales, $1/h_i+1/h_e$ ($m^2\text{°C/W}$). (Norma EM.110, 2014).

Posición del cerramiento	Situación del cerramiento: separación con espacio exterior o local abierto			
		$R_{si}=1/h_i$	$R_{se}=1/h_e$	$1/h_i+1/h_e$
Cerramiento vertical o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0.11	0.06	0.17
Cerramiento horizontales o con pendiente sobre la horizontal $<60^\circ$		0.17* 0.09**	0.05	0.14
Para pisos sin cámara de aire		0.17* 0.09**	0.17* 0.09**	0.34* 0.18*

(*) Para las zonas bioclimáticas 1,2,3,7,8 y 9.

(**) Para las zonas bioclimáticas 4,5 y 6.

El cálculo de las renovaciones de aire considera el volumen de la vivienda que en este caso para el MEV resulta ser $25.43m^3$ por ambiente. La transferencia de calor se representa por:

$$Q_{infiltración} = \dot{m}_{infiltración} C_e (T_i - T_e) \quad (11)$$

Asimismo:

$$\dot{m} = \frac{NV\rho_{aire}}{1h}, \text{ entonces: } \dot{m} C_e = \frac{NV\rho_{aire}}{1h} C_e = 0.223NV \quad (12)$$

Reemplazando en la ecuación 11 se tiene:

$$Q_{infiltración} = 0.223N \times V \times (T_i - T_e) \quad (13)$$

2.7.3.2 Ganancias de calor por acristalamiento, pared-techo opaca y cargas internas

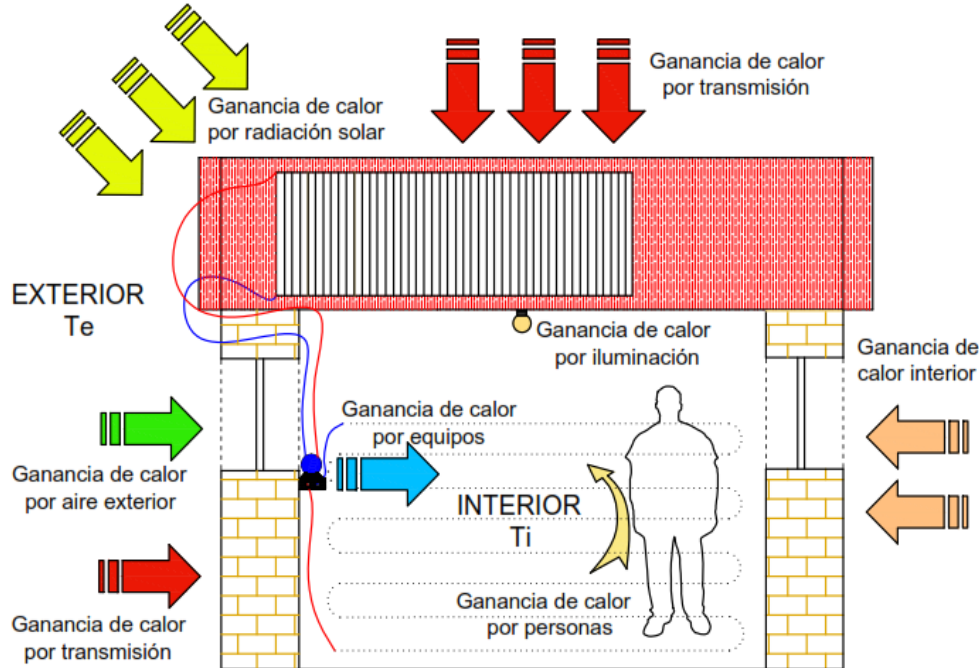


Figura 29. Representación de las ganancias de calor en el MEV.

a) Ganancias de calor por acristalamientos:

$$Q_{cr} = A_v U_v (T_e - T_i) + I_{wd} A_{vs} \tau_1 + I_{wa} A_v \tau_2 \quad (14)$$

Dónde:

A_v : área del acristalamiento

U_v : transmitancia térmica del acristalamiento ($W/m^2 \cdot ^\circ C$)

T_e : temperatura exterior del aire

T_i : temperatura interior del aire

I_{wd} : promedio diario de irradiancia solar directa media mensual sobre la superficie acristalada (W/m^2)

A_{vs} : superficie de acristalamiento afectada por la radiación solar directa (m^2)

τ_1 : transmitancia de acristalamiento para radiación solar directa

I_{wa} : promedio diario de irradiancia solar difusa media mensual sobre la superficie acristalada (W/m^2)

τ_2 : transmitancia de acristalamiento para radiación solar difusa

La transmitancia de dicho acristalamiento para la radiación solar difusa (τ_2), depende exclusivamente del número de vidrios que conforman el acristalamiento y que generalmente se considera coincidente con el valor obtenido para τ_1 correspondiente al ángulo de incidencia de 58° . Entonces τ_2 es aproximadamente igual a 0.78 y 0.62 para vidrios simples y vidrios dobles, respectivamente (Corrales, P.M., 2012).

b) Ganancias de calor por paredes y techos opacos

Para la captación en cerramientos opacos y simplificar los cálculos complejos que son precisos realizar, se ideó un parámetro ficticio que permitiera englobar todos los efectos climáticos exteriores, temperatura, radiación y movimiento del aire en un solo valor y que se le denominó temperatura sol aire (T_{sa}). Con éste parámetro se puede calcular la captación de

la energía mediante un simple cálculo por transmisión (American Society of Heating, 2013).

Para la cubierta plana se utiliza:

$$T_{sa} = \frac{1}{h_e}(\alpha I_w + 63.05\varepsilon) + T_e \quad (15)$$

Para los cerramientos verticales:

$$T_{sa} = \frac{1}{h_e}\alpha I_w + T_e \quad (16)$$

Dónde:

h_e : coeficiente de transferencia de calor por radiación de onda larga y de convección a la superficie exterior ($W/m^2\text{°C}$)

α : absorptancia de la superficie exterior

I_w : radiación solar incidente sobre la superficie (W/m^2)

ε : emitancia de la superficie

T_e : temperatura exterior (°C)

Considerando la absorptancia de los cerramientos $\alpha=0.8$ (color medio) propuesto por Frutos y Gonzales (Bedoya, C., Neila, F., 1986), la emitancia $\varepsilon=0.90$ (Corrales, P.M., 2012) y los valores de $1/h_e=0.11m^2\text{°C}/W$ para muros verticales y de $0.05m^2\text{°C}/W$ para techos con una inclinación de hasta 60° respecto a la horizontal según norma EM.110.

c) Ganancias por cargas internas

Por ocupación del local

Las cantidades de calor cedido por las personas en varios tipos de actividades han sido tabuladas sobre la base de una temperatura ambiente de 299.7 K (26.7 °C) de bulbo seco, y para una persona de 70 Kg de 1.75 m de altura. Las ganancias de calor por ocupantes se pueden encontrar en el Anexo 1.

Calor sensible por personas

$$Q_{sp} = N^\circ \text{ de personas} \times q_{sp} \quad (\text{de tabla según actividad}) \quad (17)$$

Cargas debido a equipos

En esta parte se evalúa la carga disipada por los diferentes equipos presentes en cada ambiente del local, y por tanto dependerá de cada aplicación.

2.8 La Energía solar como fuente de calefacción natural

Directa o indirectamente, prácticamente toda la energía que utilizamos se deriva de la energía solar: se crea el viento cuando la energía solar crea diferencias de temperatura en las zonas de la superficie de la tierra, la energía de biomasa se deriva de la energía solar que ha sido capturado y almacenado, y los combustibles fósiles son derivados de la biomasa que ha sido atrapados y transformados por procesos geológicos durante millones de años (Brown, M.A., 2008).

Además de las muchas maneras indirectas que utilizamos la energía del sol, hay tres formas principales que utilizamos directamente la energía solar:

2.8.1 La energía solar pasiva

Es cuando los edificios se pueden beneficiar directamente de la energía solar y están diseñados con precisión (mediante la colocación de ventanas, la construcción de orientación y forma, masa térmica, etc.) para aprovechar al máximo la energía solar durante el transcurso del año. Cuando un espacio se utiliza como captador solar, debe disponer también de un sistema para absorber y almacenar suficiente energía solar durante el día para calentar las noches frías de invierno. En otras palabras, el espacio habitable se convierte a la vez en captor solar, depósito térmico y sistema de distribución.

En este contexto, la energía solar pasiva funciona basándose en el enfoque integrado de diseño, donde los elementos básicos de construcción, tales como ventanas, paredes y pisos, tienen tantas funciones diferentes como sea posible la construcción. Por ejemplo, las paredes no sólo sostienen el techo y nos protegen del clima exterior, sino que también actúan como elementos almacenadores de calor y elementos radiantes de calor. De esta manera, los diversos componentes de un edificio simultáneamente satisfacen los requisitos arquitectónicos, estructurales, y de energía.

Cada sistema de calefacción solar pasiva tiene al menos dos elementos: un colector que consta de un acristalamiento orientado al sur o norte dependiendo del hemisferio y un elemento de almacenamiento de energía que normalmente se compone de masa térmica, como las piedras o el agua. Dependiendo de la relación de estos dos elementos, existen varios tipos posibles de sistemas solares pasivos. La figura 30 ilustra los tres conceptos principales (Lechner, N., 2015):

- Ganancia directa
- Ganancia indirecta (muro trombe)
- Ganancia indirecta con aporte de masa (invernadero adosado)

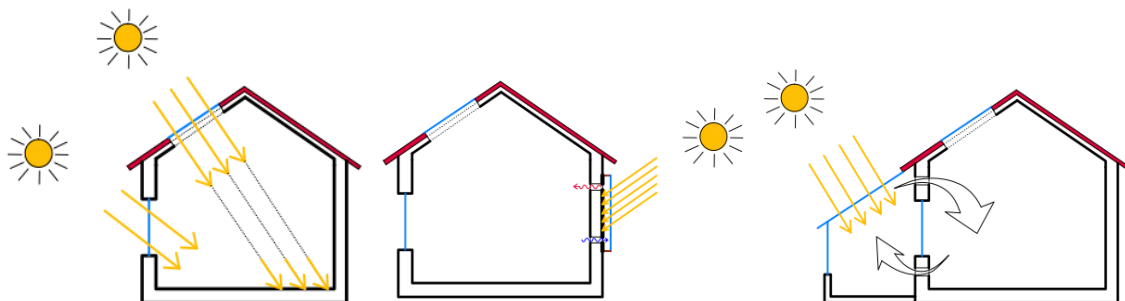


Figura 30. Tres tipos de sistemas de energía solar para calefacción de espacios pasivos, (izq.) ganancia directa, (cen.) ganancia indirecta, (der.) ganancia con aporte de masa.

2.9 Simulación térmica dinámica utilizando SketchUp, OpenStudio y EnergyPlus

A nivel mundial, los edificios son uno de los grandes consumidores de energía ya sea para calentar o enfriar sus ambientes, por tal razón, es necesario encontrar herramientas que permitan reducir dichos consumos en post de un ahorro energético eficiente y, la simulación térmica energética puede cumplir con ese objetivo brindando resultados casi reales cuyo análisis garantice y respalde, alcanzar la comodidad térmica.

La necesidad de abordar el diseño de edificios y la mejora de su rendimiento térmico aumentó la necesidad de utilizar los programas de simulación energética para estimar el consumo energético del edificio y modificar prácticamente la estructura y el material de construcción. El software EnergyPlus de propiedad del Departamento de Energía de los Estados Unidos

introdujo un plug-in para el software de dibujo de Google SketchUp conocido como OpenStudio. Esta herramienta puede ser considerada como una herramienta de simulación potente de licencias gratuitas disponible para todos los ingenieros para estimar y modificar el consumo de energía de los edificios (Al-Zubaydi, A.Y.T., 2013)). En este trabajo presentamos paso a paso el procedimiento de simulación para explicar la capacidad del software y fomentar el uso de la herramienta para los interesados en cálculos de eficiencia energética.

SketchUp: Es un software de dibujo de google en 3D, de uso libre y manejo simple donde se pueden realizar casi todo tipo de diseño.

OpenStudio: Es un software o programa de simulación gratuito que facilita la entrada proveniente del Trimble SketchUp al EnergyPlus para apoyar la modelización energética de todo el edificio. Este software también permite lanzar simulaciones con el EnergyPlus.

EnergyPlus: Es un programa de simulación térmica y energética en edificación.

Se utilizara el programa de simulación térmica para edificaciones en estado dinámico, EnergyPlus; dado a que es una herramienta útil para cumplir unos de los objetivos propuestos del presente trabajo. El EnergyPlus, fue diseñado para evaluar edificios en su interacción dinámica con su entorno y fenómenos energéticos internos.

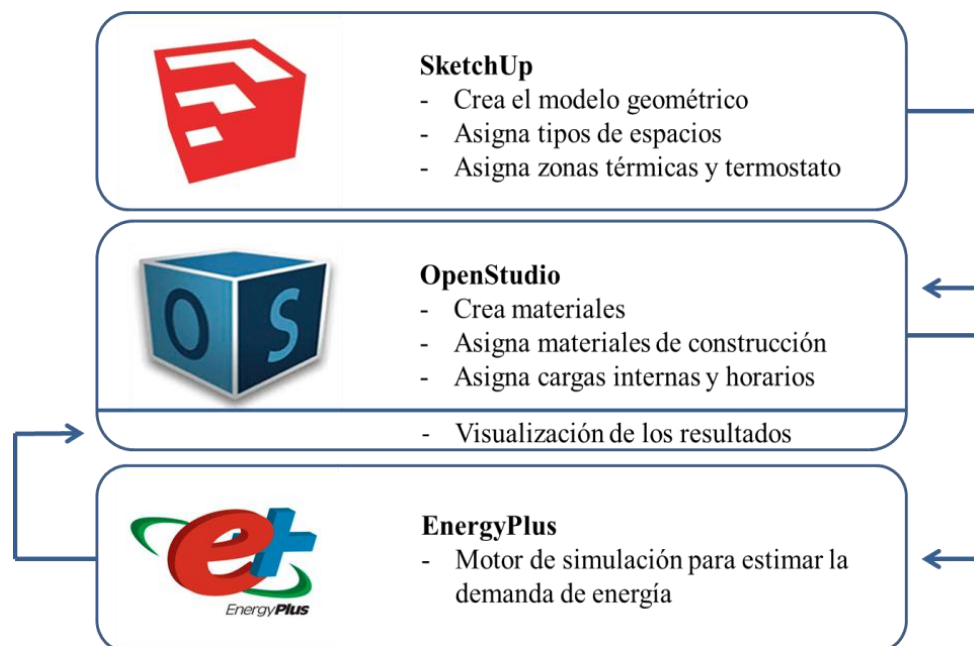


Figura 31. Diagrama de flujo de trabajo para modelar y simular el problema. (Adaptado de Alghoul et al., 2017).

Como inicio a la simulación con EnergyPlus se va a utilizar el SketchUp y OpenStudio, el primero para realizar el diseño del MEV en 3D, y el segundo para ingresar datos de materiales, conformación de elementos constructivos y la creación de horarios. Se describirá las principales herramientas de uso de OpenStudio para SketchUp a medida que se crea el diseño para posteriormente describir las propias del OpenStudio y correr una simulación. Simulación que en principio consistirá en determinar la cantidad de energía (kWh/día) requerida por el MEV para mantener la temperatura interior a 20°C.

2.9.1 Instalación de OpenStudio

Ingresar a la página de OpenStudio y descargar programa según sistema operativo de trabajo (Windows, Linux o Mac). Para poder descargar el OpenStudio hay que tener o estar registrado en una cuenta de EnergyPlus. La misma página les enviara a la página de EnergyPlus si no tienen una cuenta en él, se registran, y ya pueden descargar el OpenStudio. Se trabajara con la versión de OpenStudio 1.12.0 dado a que trae contenido a EnergyPlus. OpenStudio se apoya de SketchUp para realizar el diseño de las geometrías y los modelos de las edificaciones. Se tiene que descargar la versión SketchUp 2016.

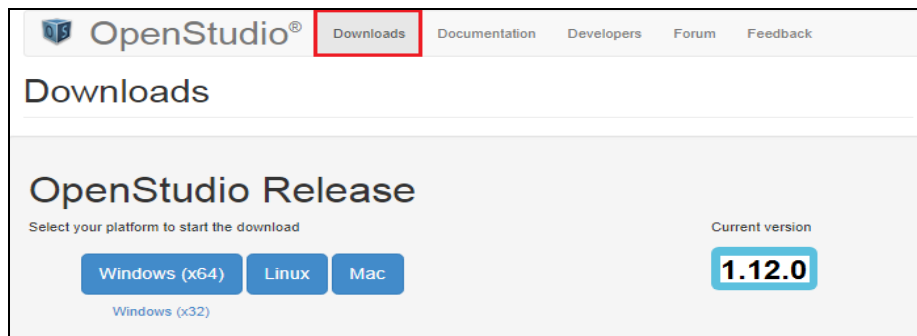


Figura 32. Ventana de la página web de OpenStudio para descargar el programa.

Instalados los programas OpenStudio y SketchUp, se verifica que estén instalados correctamente, para ello, se abre el programa SketchUp y se tiene que verificar que cuente con la barra de herramientas para OpenStudio. Caso que no aparezca dicha barra, se activa ingresando al icono de la barra de herramientas de SketchUp “Windows”, clic en “Preference”, y aparece una ventana donde se ubica Extensiones, se activa OpenStudio y finalmente clic en Ok. Hecho aparecerá la barra de herramientas de OpenStudio tal como se muestra en la figura 33 rectángulo naranja.

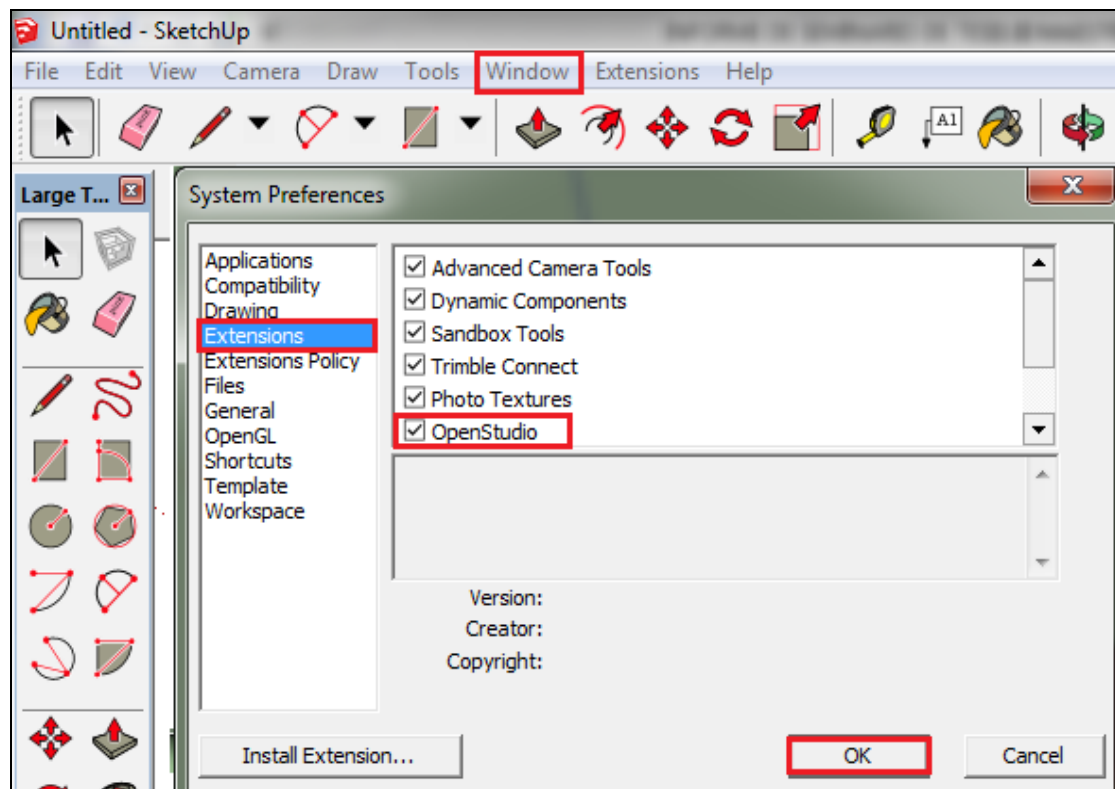


Figura 33. Activación de la barra de herramientas de OpenStudio para SketchUp.

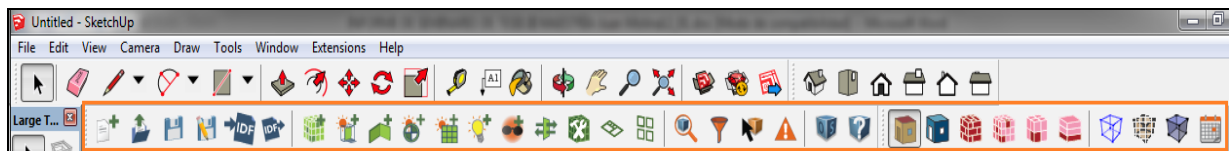


Figura 34. Barra de herramientas de OpenStudio para SketchUp, encerrado en rectángulo naranja.

2.9.2 Herramientas de OpenStudio

Se describen las herramientas de OpenStudio en SketchUp primordiales para su aplicación en la elaboración del diseño.

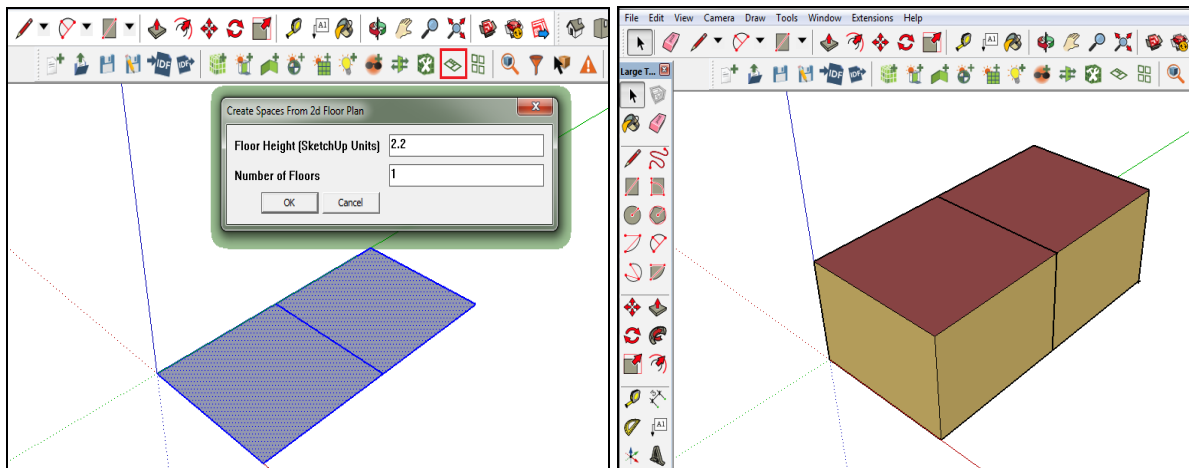


- 1: Abrir un modelo de OpenStudio.
- 2: Guardar un modelo de OpenStudio.
- 3: Guardar como, un modelo de OpenStudio.
- 4: Importar archivo IDF.
- 5: Exportar archivo IDF.
- 6: Para crear nuevo espacio.
- 7: Crear nueva superficie de sombra.
- 8: Crear una partición interna.
- 9: Interseccionar espacios comunes.
- 10: Crear espacios a partir de diagrama.
- 11: Identificar superficies e ingresar datos.
- 12: Abrir OpenStudio.
- 13: Asigna color por tipo de superficie.
- 14: Asigna color por condición de frontera.
- 15: Asigna color por tipo de construcción.
16. Asigna color por tipo de espacio.
- 17: Asigna color por zona térmica.

2.9.3 Creación de espacios y asignación de zonas térmicas

Todos los volúmenes y espacios asociados se crean a partir de imágenes bidimensionales. Para el presente caso se trabajara con el diseño del MEV. Se crea los diagramas para el MEV utilizando la herramienta rectángulo de acuerdo a sus medidas respectivas. En este caso el diagrama es de dimensiones 3.4mx3.4m uno para cada ambiente del MEV.

Se selecciona los diagramas y con la herramienta crear espacios a partir de diagramas y se crean los espacios que comprenden el MEV. Se ingresa la altura y el número de niveles o pisos, en este caso es 2.2m y 1 nivel y se obtienen los espacios.



(a) (b)
Figura 35. (a) Creación de diagramas, (b) creación de espacios.

2.9.4 Creación de subsuperficies (ventanas y puertas)

Para crear ventanas y puertas, se selecciona el espacio y superficie donde se desea construir estos elementos. Hay que ayudarse de la herramienta medir para ubicar exactamente dichos elementos y después utilizar la herramienta “rectángulo”. En la imagen se puede apreciar los colores característicos para las puertas y ventanas, si en el dibujo no aparecen dichos colores es porque algo está mal.

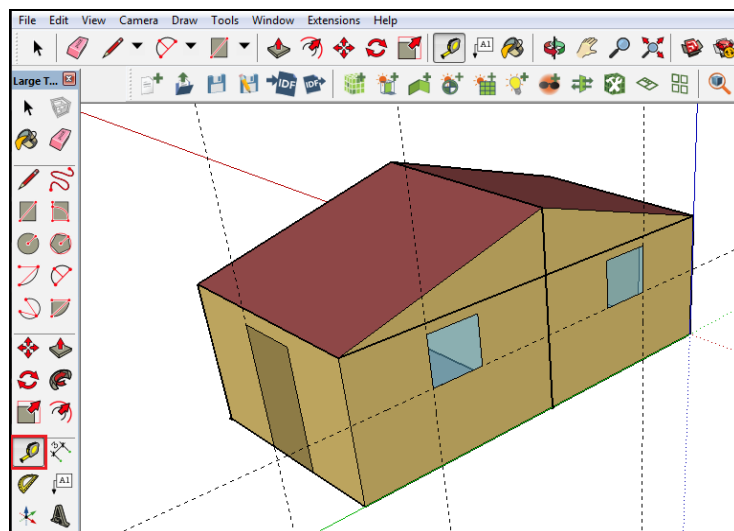


Figura 36. Creación de subsuperficies, puertas y ventanas.

2.9.5 Interseccionar superficies comunes a espacios diferentes (Surface Matching)

Cuando se tienen superficies interiores comunes a espacios diferentes, es necesario interceptar dichas superficies para que el programa los reconozca como tales, es decir, si crea una puerta en un muro o superficie interior común a dos espacios, la puerta existirá para la superficie que la contiene y no para la superficie adyacente a él, es como si se tuviera en el muro común por un lado una puerta y por el otro una pared completa, algo incoherente. Para evitar que suceda lo descrito lo que se hace es utilizar la herramienta “Surface Matching” que permite interceptar las superficies adyacentes.

Para ello, se da clic en “Surface Matching” y aparece una ventana donde hay que darle clic en “Intersect in Entire Model”, esta opción interceptara todas las superficies del modelo, después

clic en “Match in Entire Model”, le damos Ok y se habrán interseccionado las superficies adyacentes.

Una forma de verificar si las superficies adyacentes han sido interseccionadas es que estas deben presentar un color verde en dichas superficies, caso que no sea así quiere decir que no lo están. Para visualizar el cambio de color se utiliza la herramienta “Section Plane” y se aplica sobre la parte del dibujo que deseamos visualizar, luego se da clic en la herramienta de OpenStudio “Render By Boundary Condition” y se observara el cambio de color mencionado.

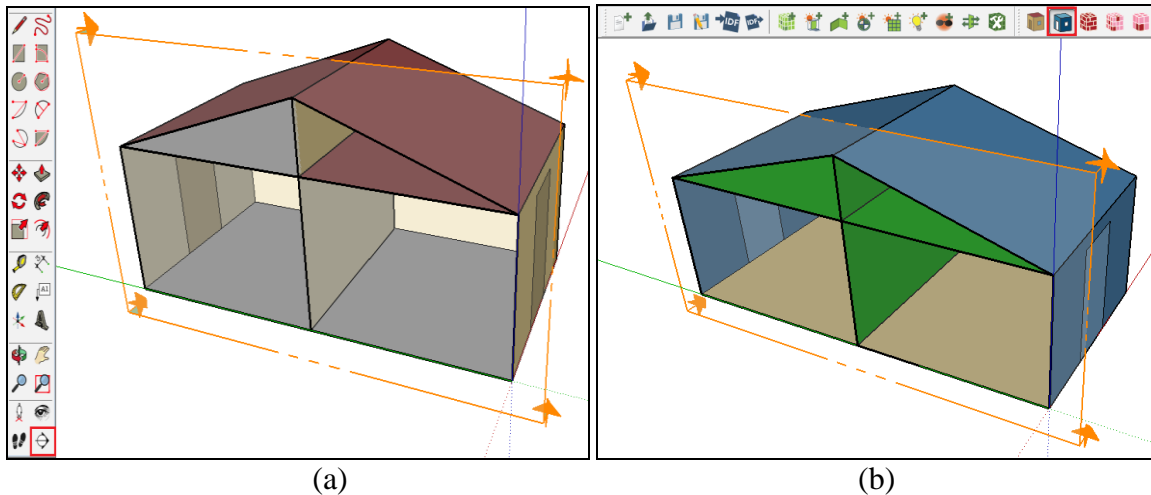


Figura 37. (a) Superficies interiores sin intersectar, (b) superficies interiores intersectadas, color característico para este detalle es el verde.

2.9.6 Creación de zonas térmicas

Las zonas térmicas se crearan para cada espacio que comprende el edificio o vivienda. Para el MEV se tiene 4 zonas térmicas, el ambiente Sur y Norte, y los áticos o espacios entre el techo y cielo raso también Sur y Norte.

Para ello, se da clic en “Extensions”, “OpenStudio User Scripts”, “After or Add Model Elements” y “Add New Thermal Zone For Spaces With No Thermal Zone” , y se habran creado las zonas térmicas.

Se puede verificar que se han creado las zonas térmicas cliqueando en “Render By Thermal Zone” y se comprueba los diferentes colores para cada zona térmica creada. A cada zona térmica diferente, le corresponde también un color diferente.

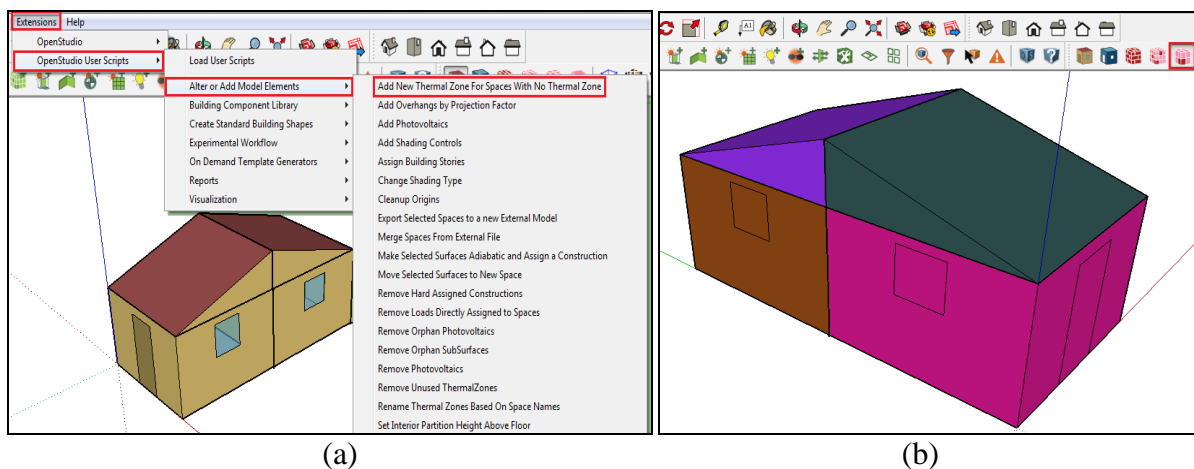


Figura 38. (a) Pasos a seguir para crear zonas térmicas, (b) zonas térmicas creadas.

Asimismo, creado las zonas térmicas podemos verificar por medio de colores los diferentes tipos de espacios determinados por tipo de superficies, condición de frontera, tipo de construcción y zona térmica ya mencionada.

El plug-in OpenStudio para SketchUp cuenta con una barra de herramientas que permiten visualizar los modelos geométricos de los espacios. La herramienta:

- “Render By Surface Type” asigna un color por tipo de superficie
- “Render By Boundary Condition” asigna un color por condición de frontera
- “Render By thermal Zone” asigna un color diferente por zona térmica
- “Render By Construction” asigna un color por tipo de construcción



Figura 39. Herramientas de OpenStudio al interior del rectángulo en rojo para determinar espacios.

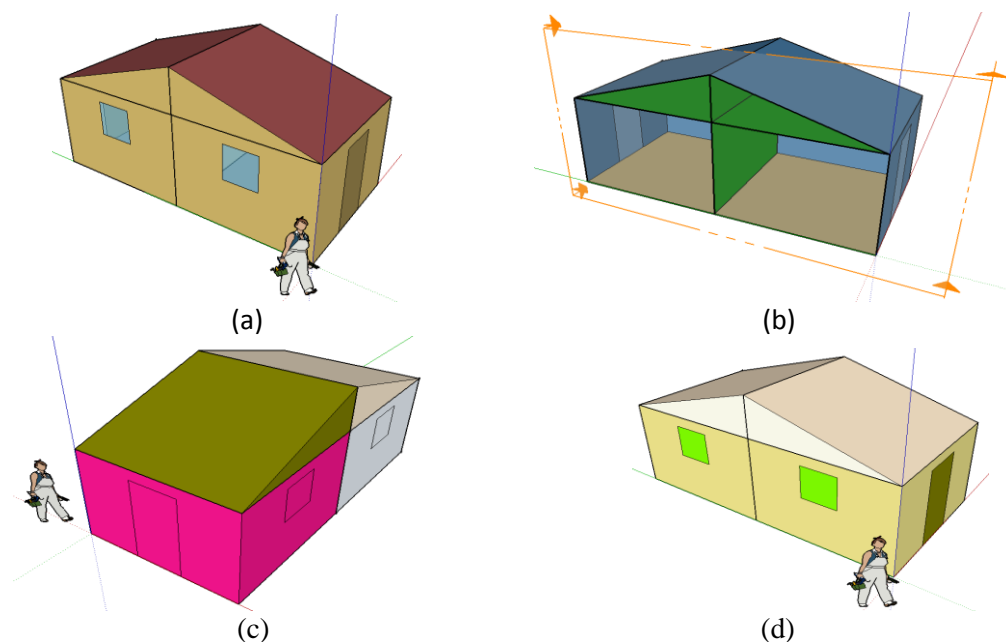


Figura 40. (a) Color por tipo de superficie, (b) color por tipo de frontera, (c) color por número de zona térmica, (d) color por tipo de construcción.

2.9.7 Guardar archivo en formato OSM

Para guardar o abrir el archivo creado siempre se tiene que utilizar la barra de herramienta de OpenStudio, se utiliza en un principio “Guardar como” y después para cada cambio realizado “Guardar”. Al dar clic en el primero, aparece una ventana y en la parte del nombre del documento a guardar, aparece la extensión .osm que es la forma correcta de guardar los documentos.

2.9.8 Herramienta Inspector

Es una de las herramientas útiles ya que permite visualizar y editar mucho de los atributos de los espacios del diseño elaborado. Para editar los espacios se selecciona cada uno de ellos y es

recomendable editar solo el nombre del espacio dado a que los nombrados por el mismo programa son una serie de códigos o números que después son complicados de reconocerlos cuando se utilice el OpenStudio.

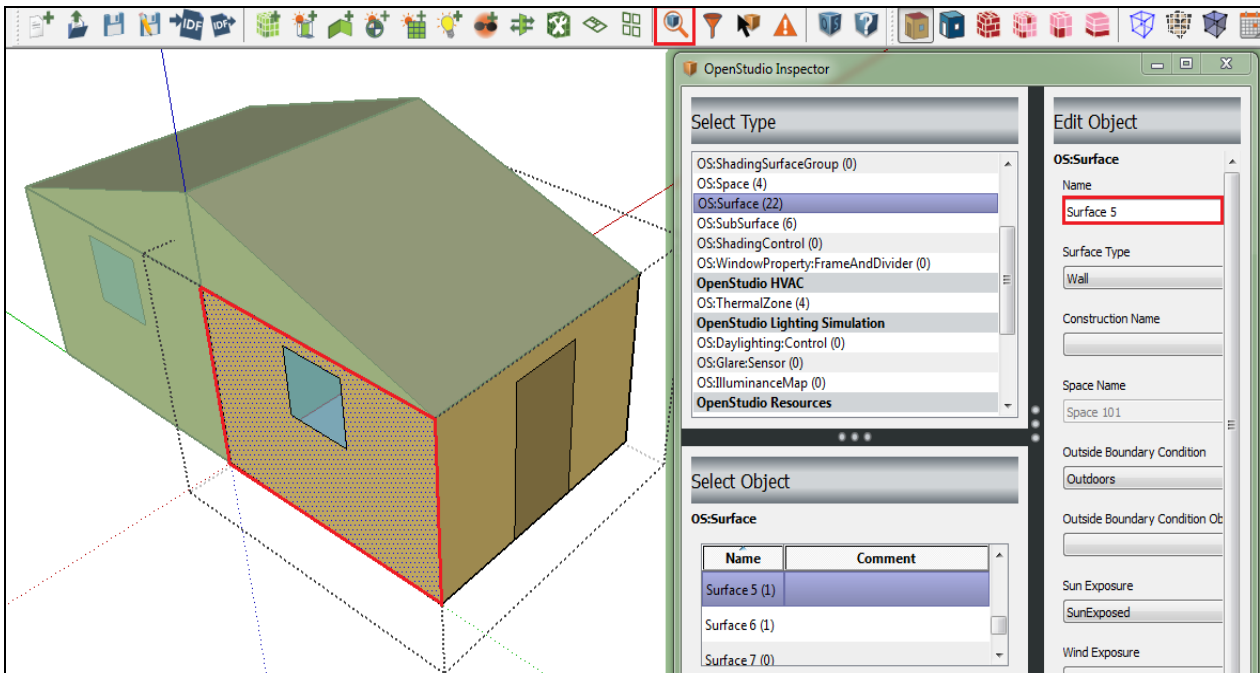


Figura 41. Herramienta "Inspector" de OpenStudio para editar nombres de superficies.

2.9.9 Interfaz OpenStudio

Las versiones actuales de OpenStudio traen consigo una versión de EnergyPlus, estas versiones no las instalan sino que las colocan en algún subdirectorio de instalación para poder realizar las simulaciones.

Para ingresar al programa OpenStudio este se hace desde el SketchUp y de la barra de herramientas de OpenStudio donde se ubica el icono del programa. Se abre la interfaz y en él se puede realizar la simulación.

En la ventana de OpenStudio se va a cargar los datos de arriba hacia abajo siguiendo el orden de las pestañas de trabajo del programa. En los siguientes puntos se hará una breve descripción de cada uno de ellos tomando como ejemplo el MEV.

Se simulara el MEV para determinar la cantidad de energía requerida que permita mantener la temperatura interior a 20°C, sin considerar el manejo de las contraventanas, las contrapuertas, sin sistemas de calefacción, sin cocinas a gas, y sin pernoctación ni ocupación humana, durante todo el año.

2.9.10 Cargar el archivo de clima "Site"

Para cargar los datos de archivo de clima al OpenStudio este tiene que estar en un archivo con la extensión .EPW, se da clic en "Weather File" y se abre el archivo epw, automáticamente se cargan los datos de localización del lugar en este caso de San Francisco de Raymina de donde provienen los datos, latitud, longitud, altura y el tiempo de la zona tal como se puede apreciar en el cuadro naranja.

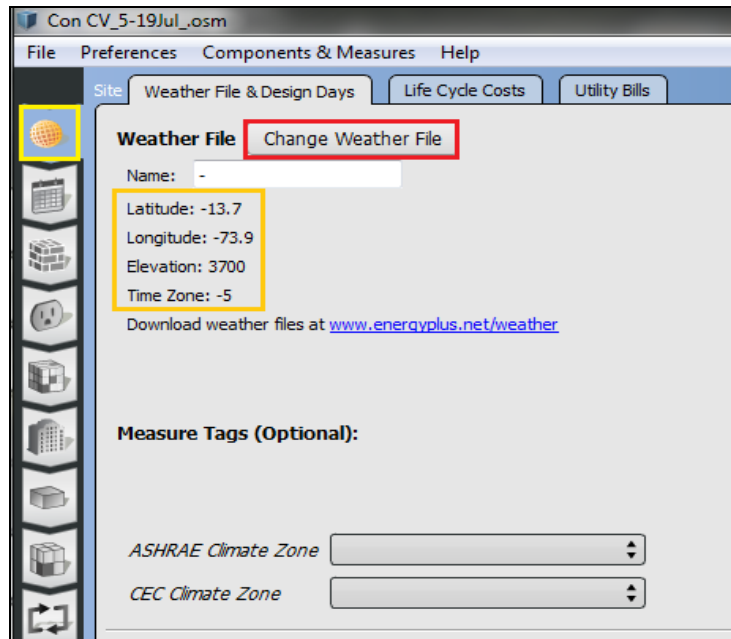


Figura 42. Pestaña "Site" de OpenStudio para el ingreso del archivo de clima.

2.9.11 Creación de calendarios "Shedule"

Se crean dos calendarios para mantener la temperatura interior constante a 20°C utilizando dos termostatos, para el cual se crea el horario de "calentamiento" y "enfriamiento" para todo el año. Para crear dichos calendarios se ingresa a la pestaña "Schedule", se le da un nombre al calendario, se define las fechas para su ejecución y el tipo de variable a ingresar en este caso es el de temperatura y a 20°C.

Al definir las fechas de ejecución y los días, los calendarios ubicados en la columna de la derecha cambian de un color plomo a un color morado. De similar manera se crea el horario de enfriamiento.

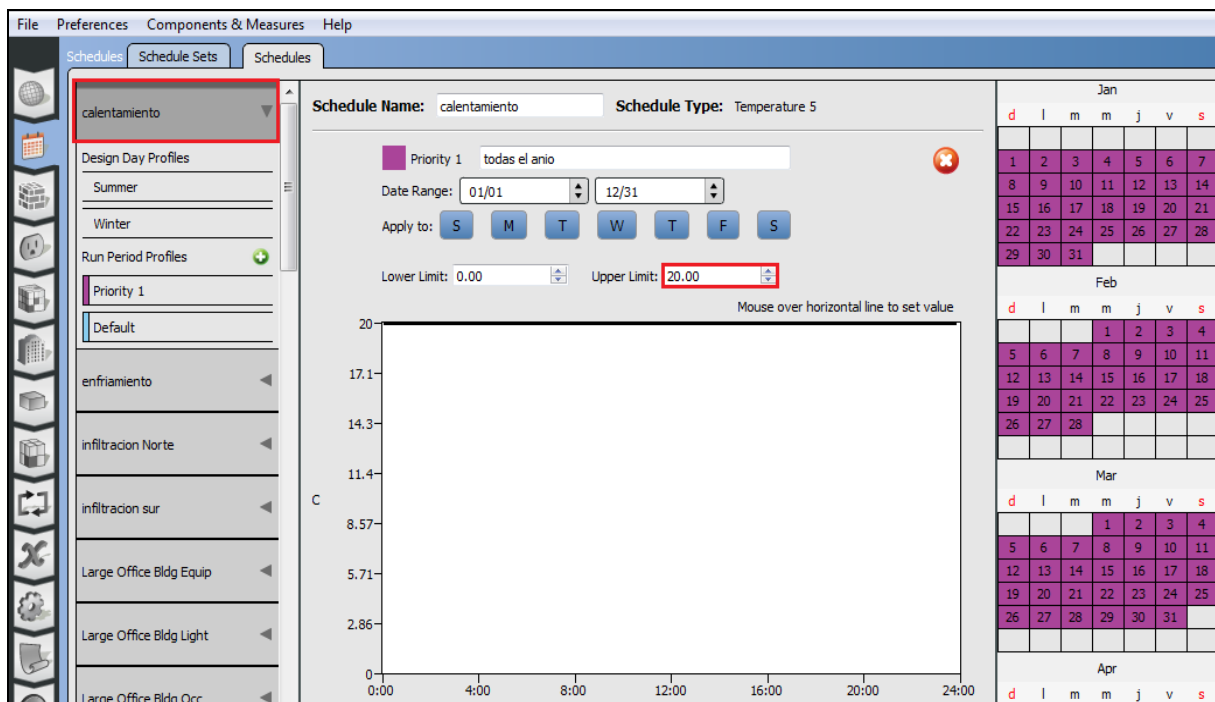


Figura 43. Creación de horario manteniendo la temperatura constante a 20°C.

2.9.12 Creación de elementos constructivos “Construction”

Dentro de este apartado hay 3 subgrupos, materiales, construcciones y conjunto de construcciones. Para crear todos los elementos constructivos que componen el MEV, se ingresa a la pestaña “Construction” y después en “Materials”, se ingresa todos los materiales que intervienen en la construcción para las superficies creadas en SketchUp editando sus propiedades físicas de conductividad térmica, densidad y calor específico.

Se empieza dando un nombre al material y se ingresan datos como los encerrados en el rectángulo en naranja, rugosidad, espesor, absorptancia térmica, solar y visible que el mismo programa por defecto los recomienda.

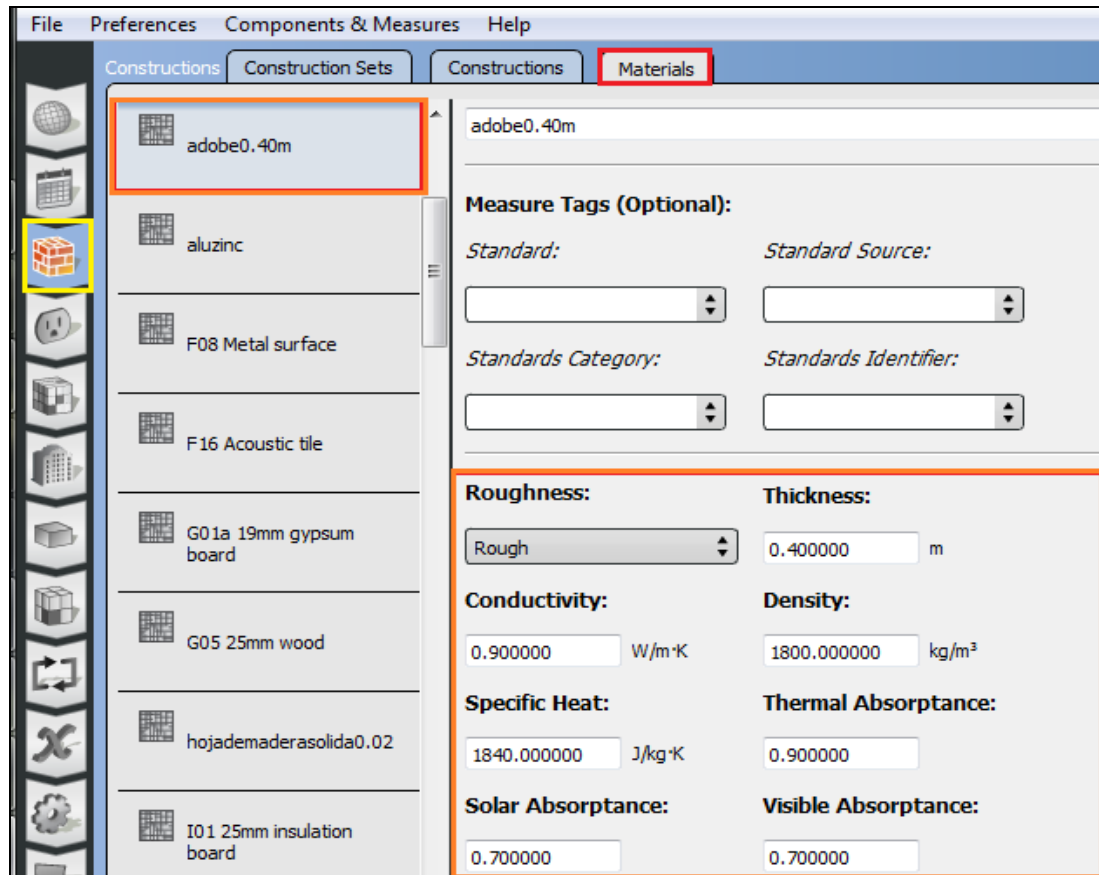


Figura 44. Pestaña "Construction" para ingresar los materiales.

Ingresado todos los materiales al detalle, se ingresa a “Construction” para crear los elementos constructivos. Se da un nombre a la construcción como por ejemplo piso, y se arrastra y coloca los materiales ingresados y ubicados en la columna de la derecha del exterior hacia el interior a los recuadros que aparecen con un símbolo X tal como se puede observar en el rectángulo de color naranja. De la misma manera se crea los demás elementos constructivos.

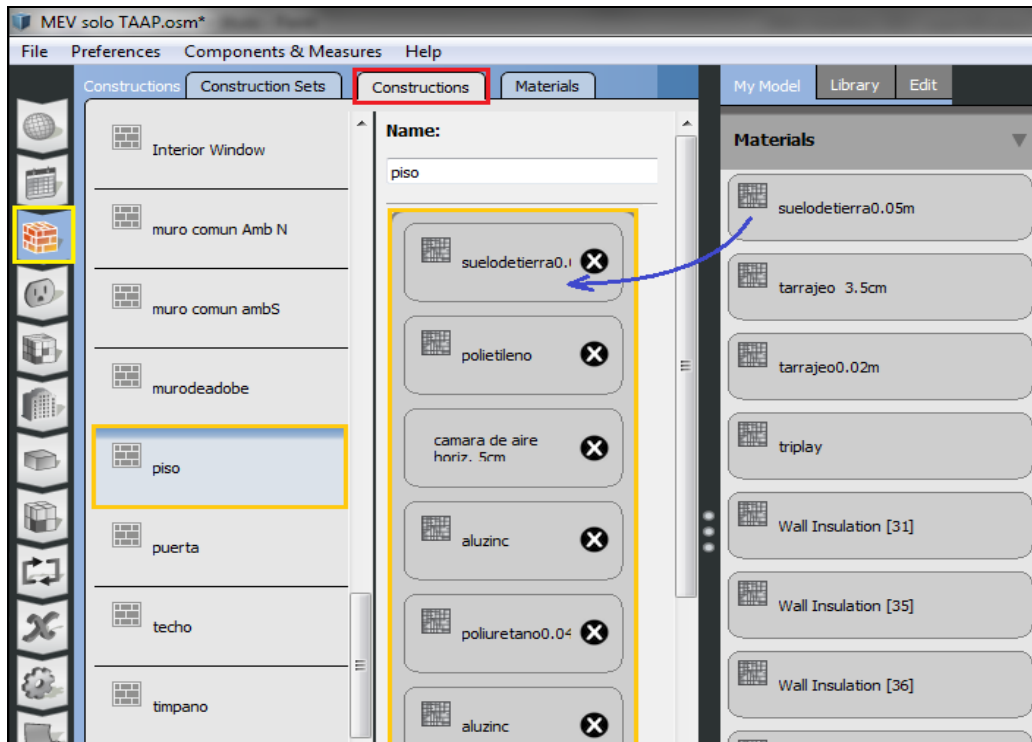


Figura 45. Ventana para crear los elementos constructivos.

2.9.13 Cargas térmicas

En esta pestaña se ingresa las cargas térmicas internas como personas, luminarias y equipos electro mecánico que alteran el flujo de calor en cada ambiente. Las cargas térmicas que permite ingresar OpenStudio son, personas, iluminación, equipos eléctricos y masa interna.

2.9.14 Tipos de espacios

Son aquellos espacios que definen un ambiente con un conjunto de cargas térmicas distintas incluyendo infiltraciones. Se ingresa dando clic en la pestaña "Space Type" y luego en "load". Dentro del rectángulo en naranja se puede observar las distintas cargas que pueden ingresarse al programa.

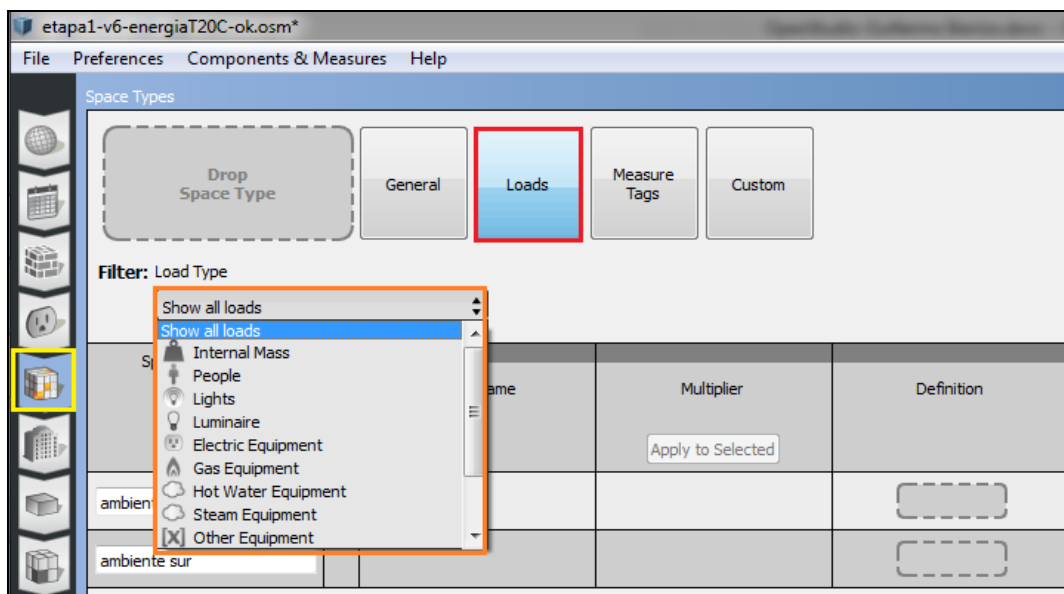


Figura 46. Pestaña "Space Type" para ingresar las cargas térmicas.

2.9.15 Espacios

Estos elementos son los mismos que se construyeron en el SketchUp. Al ingresar a la pestaña “Spaces”, se tienen otras pestañas que permiten modificar las condiciones de los elementos de tipo constructivos. Para el ejemplo solo se usa las de propiedades, superficies y subsuperficies.

2.9.16 Zonas térmicas y sistemas de climatización

Las zonas térmicas son los elementos básicos de cálculo de las cargas térmicas del modelo. Para nuestro caso de tiene 4 zonas térmicas de las cuales solo trataremos del ambiente Sur y Norte. Al ingresar a la pestaña “Thermal Zone”, se utiliza la opción “ HVAC System” que permite el ingreso de los termostatos creados con calendarios de calentamiento y enfriamiento.

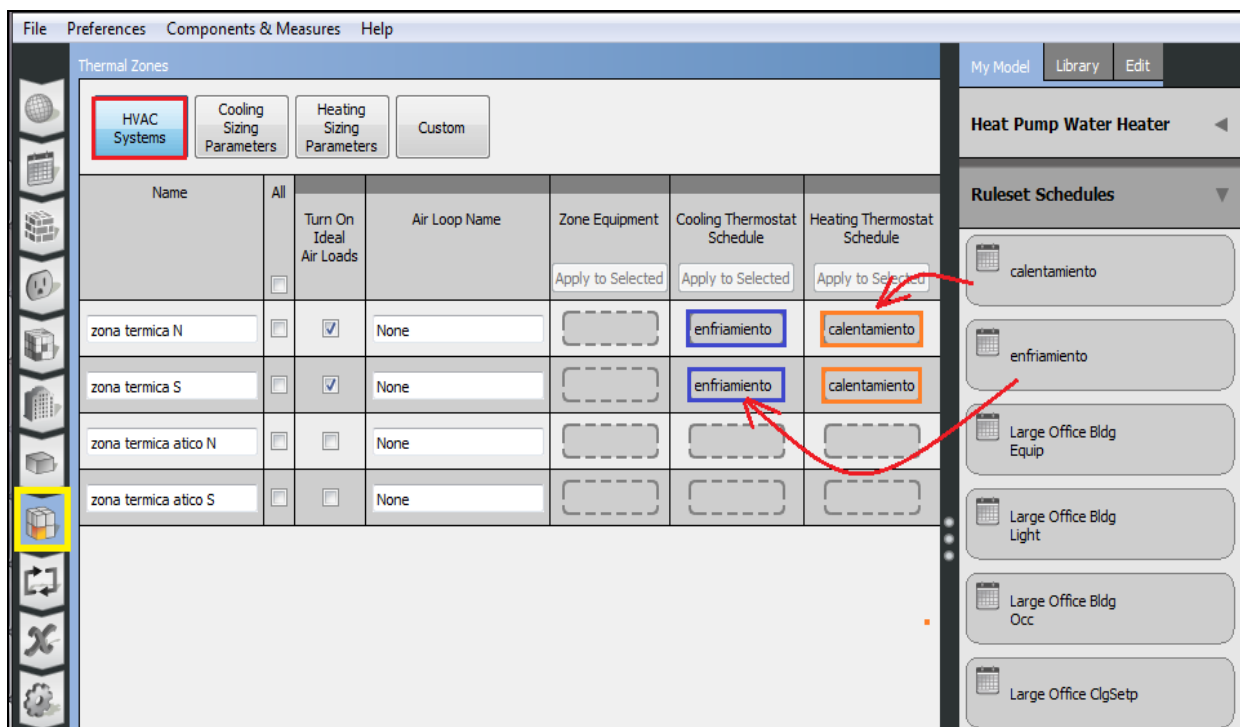


Figura 47. Pestaña "Thermal Zone" para ingresar los calendarios del termostato.

2.9.17 Ejecución de la simulación

Ingresado los datos mencionados se procede a la ejecución del programa, para ello se ingresa a la pestaña “Run Simulation”, y se da clic en el botón “Run” y empieza la ejecución del programa indicada por la barra de progreso de color verde. En caso haya problemas en la ejecución y la barra no llegue a completar la simulación al 100% es porque existe algún error en la configuración de sus componentes, los errores de simulación se pueden observar ingresando a la opción “Tree”, clic en “Null Job”, y doble clic en “eplusout.err”, aparece la ventana en bloc de notas con los errores de compilación.

Los errores severos hay que levantarlos porque son los que no permiten que el programa se ejecute correctamente, los “warning” pueden obviarse pero no está por demás revisarlos y levantarlos.

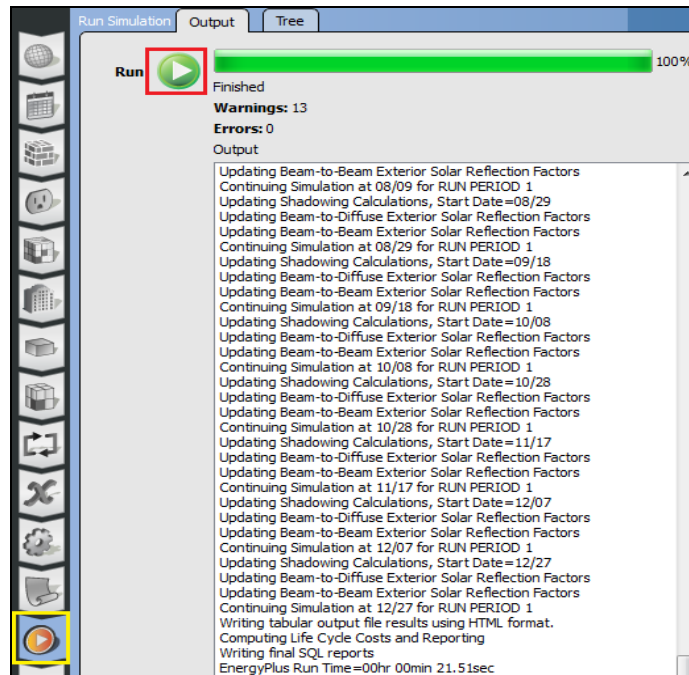


Figura 48. Pestaña "Run" para ejecutar la simulación.

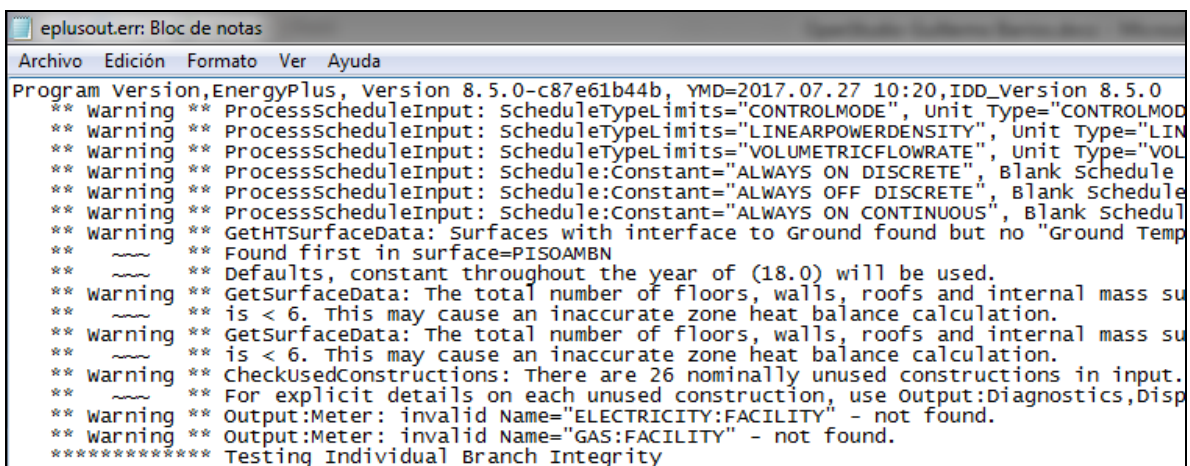


Figura 49. Formato característico de los errores que se presentan al ejecutar el programa.

2.9.18 Resumen de resultados

Los resultados en OpenStudio son una serie de gráficas y diagramas de utilidad siendo el inconveniente que las medidas no están en el sistema internacional. Por ello, en ocasiones resulta más fácil exportar el archivo a IDF y trabajar con el EnergyPlus. Los resultados de esta parte de la simulación se tocarán en la sección análisis y resultados de la presente tesis parte simulación térmica energética.

2.9.19 Validación de la simulación

Consiste en medir in situ variables como temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar y velocidad de viento, para posteriormente introducirlos al programa y simularlos, esperando que los resultados sean los más parecidos a la realidad. Se comparan los resultados medidos con los simulados.

III. ESTUDIO DE CASO: Comunidad de San Francisco de Raymina

3.1 Características del lugar

En la Figura 50 se muestran dos vistas de la comunidad de San Francisco de Raymina donde se ubica el MEV, y en las figuras 51 y 52 se muestra la ubicación aproximada de dicha Comunidad que pertenece al distrito de Huambalpa, provincia Vilcashuamán, región Ayacucho, Perú. La comunidad se ubica sobre los 3700 msnm con coordenadas, latitud 13°45'40'' Sur y longitud 73°51'26'' Oeste. Según el ⁸Atlas Solar del Perú (SENAMHI, 2003b), la radiación solar media anual diaria en Raymina está entre los 5.5 a 6.5 kWh/m² día, a pesar de ello por su ubicación climática, la comunidad de Raymina soporta temporadas de heladas en un rango de 120 a 150 días principalmente entre los meses de mayo a agosto. Por ello, hay la necesidad y obligatoriedad de aprovechar el recurso energético solar mediante la implementación de su tecnología para paliar las consecuencias del frío extremo y heladas.



Figura 50. Vistas de la comunidad de San Francisco de Raymina.



Figura 51. Valores referenciales de radiación solar media anual diaria en Raymina según leyenda. (DGER-MINEM, 2003).

⁸ <http://dger.minem.gob.pe/atlassolar/#>

⁹ <http://siar.regionayacucho.gob.pe/mapas/mapa-frecuencia-anual-heladas-periodo-1981-2010-region-ayacucho>

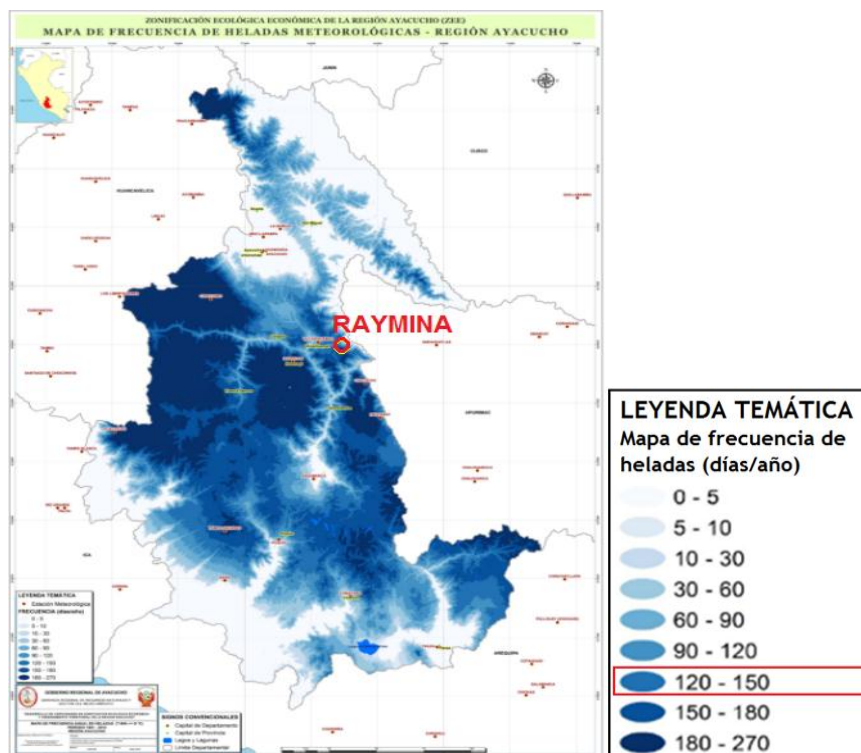


Figura 52. Mapa de frecuencia de heladas meteorológicas de la región Ayacucho. (Gobierno Regional de Ayacucho, 2012).

Forma y tiempo de llegar a la comunidad de San Francisco de Raymina partiendo desde Lima vía terrestre.

Tabla 8. Recorrido y forma de llegar a San Francisco de Raymina.

SALIDA	DESTINO	TIEMPO	VIA
Lima	Huamanga	De 10 a 12 horas	Bus
Huamanga	Vilcashuamán	De 2 a 3 horas	Auto
Vilcashuamán	San Francisco de Raymina	30 a 45 minutos	Auto

3.2 Costumbres, gastronomía y turismo rural

Hoy en día no podemos dejar de hablar de la gastronomía y turismo dado el realce que han tenido en los últimos años en el país siendo incluso la gastronomía considerada como la tercera mejor del mundo por encima de Italia y España y superada sólo por la gastronomía francesa y china (El Comercio, 2017). Este resultado de alguna forma se debe a la gran variedad de productos autóctonos con la que se cuenta y se cultiva en el país además de las diferentes costumbres y platos típicos por regiones. En San Francisco de Raymina por ejemplo se encuentra muchas variedades de papa, maíz, frijoles, habas olluco, y quinua entre las más representativas (ver figura 53). Y platos típicos de la zona como: cuy chactado, puka picante, caldo de cordero, caldo de mote entre otros.

En lo que respecta al turismo, podría decirse que Raymina está próximo a convertirse en una comunidad ecológica y sustentable con energía solar dada la diversidad de tecnologías limpias instaladas en la población. Cuenta además de hermosos paisajes alto andino y caminos incas

que hace que en Raymina se pueda practicar el ciclismo, caminata, fondismo, entre otros. El tipo de turismo a disfrutar en Raymina es el que encaja en el turismo rural comunitario.



Figura 53. Productos nativos de San Francisco de Raymina.

3.3 Las viviendas en Raymina y su sistema constructivo

3.3.1 Situación

La precariedad de la vivienda en Raymina y en general en muchas zonas rurales altoandinas, contribuye en la calidad de vida de los usuarios frente a las condiciones climáticas del lugar, heladas, lluvias intensas y granizadas. Por tradición el material local de construcción para los muros o paredes es la tierra, y para los techos antiguamente se utilizaba paja o tejas artesanales, hoy en día la mayoría de las viviendas utilizan calaminas de zinc como cobertura.

3.3.2 Tipología

Las viviendas en Raymina se ubican sobre un lote rectangular de 12 m x 30 m (360 m²), tiene servicios de agua y eléctricas conectados a las redes públicas. Sólo tiene un lavadero de ropa y una letrina sanitaria ubicada a 15 m. de la vivienda, en el fondo del lote. Raymina es eminentemente adobera.

La vivienda cuenta con 3 puertas (2 de madera y 1 de plancha de calamina metálica sin marco). En el frontis de la vivienda tiene dos ventanas con vidrio simple, en la parte posterior hay otras 2 ventanas. Tanto puertas y ventanas presentan en sus marcos infiltraciones de aire (ver figura 54), esto indica la falta de hermeticidad, esto debido a los defectos producidos en la construcción de la vivienda.



Figura 54. Vistas de las infiltraciones de aire en puertas, vanos y techos de una vivienda.

El marco de las puertas es de madera y el de las ventanas es de fierro, convirtiéndose este último en un llamado “puente térmico”. Las puertas de madera contribuyen a la disminución de las pérdidas de calor desde el lado de la conducción, las infiltraciones de aire por los marcos produce un efecto contrario. La puerta de metal produce pérdidas de calor de gran magnitud para la cocina. Las ventanas, por su grosor y área, producen pérdidas de calor por convección y por infiltraciones de aire en los marcos.

Los techos de las viviendas son a dos aguas de calamina metálica de espesor aproximado 1/32”, el cual es instalado debido a lo económico que resulta este material en la zona y además por su simpleza en su instalación. Hay poquísimas viviendas que cuentan con techos de tejas y gran parte de ellas están dañadas debido al granizo que cae en la comunidad (ver figura 55 con algunas vistas de casas en Raymina).

Tanto la cocina como los otros ambientes de la vivienda tienen un techo de 2 aguas, y una inclinación aproximada de 18° con respecto a la horizontal. El techo es el medio por el cual se generan las mayores pérdidas de calor en toda la casa. Todos los ambientes presentan humedad en los pisos dados que en su gran mayoría son de tierra húmeda.

Actualmente dado el proyecto ejecutado por el CER-UNI “Transferencia tecnológica para enfrentar eventos climáticos extremos transformando una comunidad rural alto andina en un sistema productivo sustentable con energías renovables”, alrededor de 40 viviendas cuentan con un techo aislado a base de colchonetas de lana de oveja y cobertura de techo con planchas de fibrocemento en los ambientes de los dormitorios, asimismo, hay 8 viviendas que cuentan con un piso aislado: 4 con cama de piedra, espacio de aire, entramado de madera y tablas de madera, y otros 4 con plástico, entramado de madera y aire, y tablas de madera.

Tabla 9. Tipología de construcción de viviendas en San Francisco de Raymina.

	Sistema constructivo	Material	Observación
Cimentación	Empedrado con barro	Piedra y tierra	Ancho y profundidad 60cm.
Sobre cimentación	Empedrado con barro	Piedra y tierra	Ancho 0.37m, altura 0.25m.
Piso	Cama de piedra, entramado de madera con espacio de aire, y tablas de madera.	Tierra y madera	Altura de piedras 15cm, espacio de aire 5cm, y tablas de 1” de espesor.
Paredes	Apilado de adobes	Tierra	Adobes de 0.37mx0.37mx0.12m. Las paredes incluyen mochetas.
Estructura de cubierta	Dos aguas	Madera	Incluye vigas y correas.
Cobertura	De superponer, ajustar o clavar.	Planchas onduladas de zinc o fibrocemento	Las planchas de fibrocemento están colocadas sobre los techos de calaminas.



Figura 55. Vistas de algunas viviendas típicas en San Francisco de Raymina.

3.4 Tecnologías solares e infraestructura en San Francisco de Raymina

La comunidad de Raymina podría catalogarse como un centro de experimentación solar dada las múltiples tecnologías productivas implementadas por parte del CER-UNI sobre su poblado. Tecnologías como se aprecia en la figura 56.

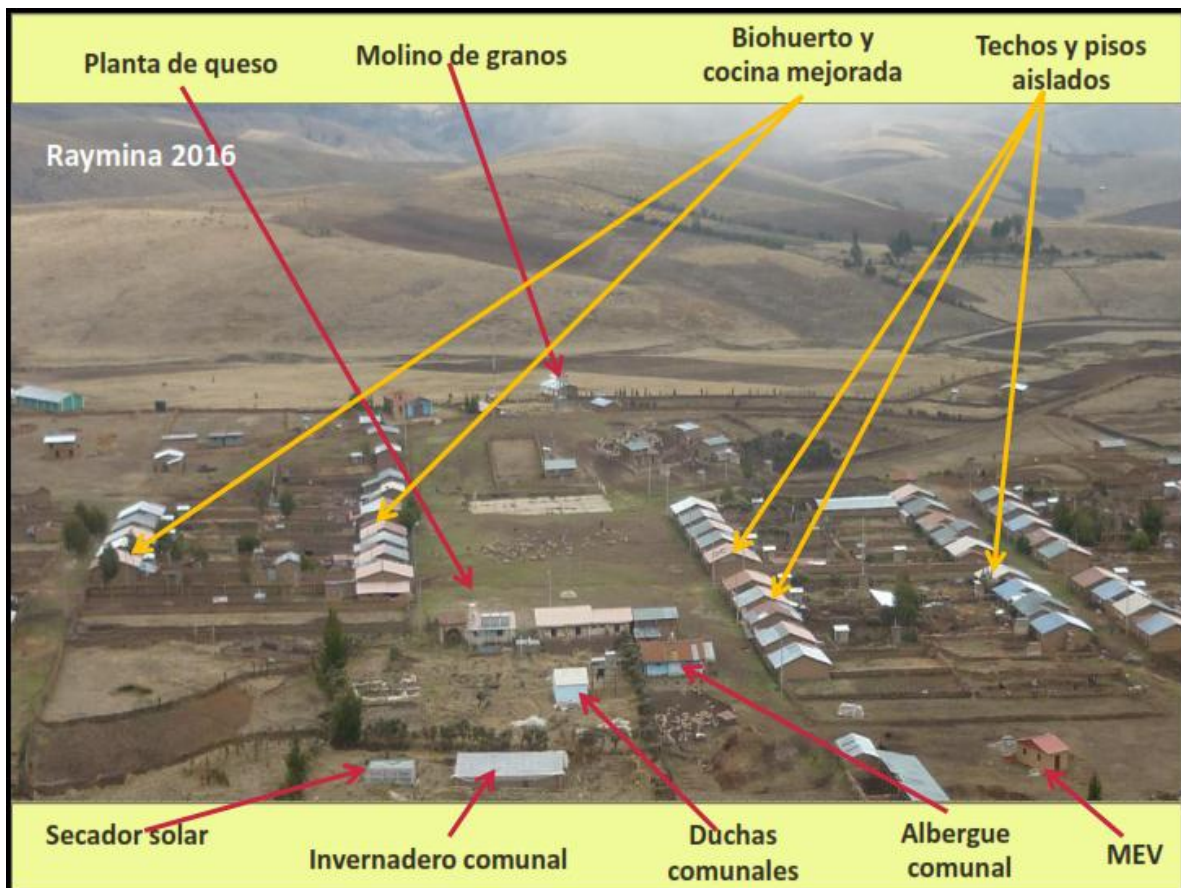


Figura 56. Vista de la comunidad donde se señala las tecnologías implementadas.

La organización de la comunidad es la base para la apropiación de la tecnología cuyo paso previo incluye la transferencia de conocimientos, el respeto a sus quehaceres, costumbres y cultura para una buena transferencia de la tecnología. La organización aun es incipiente pero se cuenta con 3 líneas productivas: gastronomía rural, turismo vivencial y derivados lácteos. La gastronomía rural se basa en la preparación de platos culinarios característicos de la zona a base de sus productos orgánicos cultivados como la quinua, trigo, mashua, papa, entre otros; y crianza de animales menores como el cuy, conejo y gallinas criados en corral. Para el turismo vivencial mencionar que en Raymina existen 3 pisos ecológicos, la parte baja donde se encuentra la comunidad antigua cuyo clima es medianamente cálido según la versión de la

población y cuyos terrenos aledaños está destinado principalmente para la siembra del maíz; la parte céntrica cuyo clima es frío presenta una geografía de quebrada donde se encuentra una variedad de arbustos propios del lugar como el chachacomo, quinual, taya, titankas, entre otros; y la parte alta donde se ubica la comunidad cuyo clima entre los meses de mayo a agosto es afectada por los fenómenos climatológicos de la “helada” y frío extremo, esta nueva ubicación de la comunidad se dio el año 1998 mediante un proyecto de reubicación de poblaciones afectadas por el terrorismo en aquellas épocas.

3.5 Módulo Experimental de Vivienda (MEV)

El MEV fue construido y evaluado en forma preliminar en el trabajo para optar el grado de Magister en Ciencias en Energías Renovables y Eficiencia Energética de Rafael Leonardo Espinoza Paredes el año 2013. El estudio se basó en el análisis térmico del MEV con sus ambientes desocupados, uso de técnicas arquitectónicas de aislamiento pasivo, y dos componentes de calefacción solar activa como son el muro radiante y tubo radiante; la presente tesis comprende la evaluación del MEV con cargas internas como por ejemplo el uso de una cocina a gas, ocupación del MEV en el día y noche, y acciones de manejo de las puertas y contraportas así como de las ventanas y contraventanas, todo ello con el énfasis de determinar su desempeño térmico que garantice su confortabilidad en los ambientes interiores del MEV.



Figura 57. MEV con las técnicas arquitectónicas de aislamiento pasivo y sistemas activos de calefacción solar.

3.5.1 Técnicas bioclimáticas y sistemas de calefacción en el MEV

La implementación del MEV se rigió en base a estudios del clima, confort térmico, indicadores bioclimáticos, y estrategias bioclimática. A partir de este último estudio que son las estrategias bioclimáticas que nos indican el “qué hacer” mas no el “cómo hacerlo”,

resultan las técnicas bioclimáticas como el aislamiento de pisos, techos, ventanas con doble vidrio y cobertura de madera sólida, puerta y contrapuerta, cielo raso, muros de adobe, y sistemas de calefacción tal como se describen a continuación.

3.5.1.1 Técnicas de aislamiento

PISO

Para evitar el ascenso de la humedad de la tierra del suelo, se cubrió íntegramente el área expuesta con una manta de polietileno sobre la que se instaló un entramado de listones de madera de 0.04x0.02m. Sobre el entramado y como piso final se colocan una plancha tipo emparedada de poliuretano de 0.05 m de espesor.

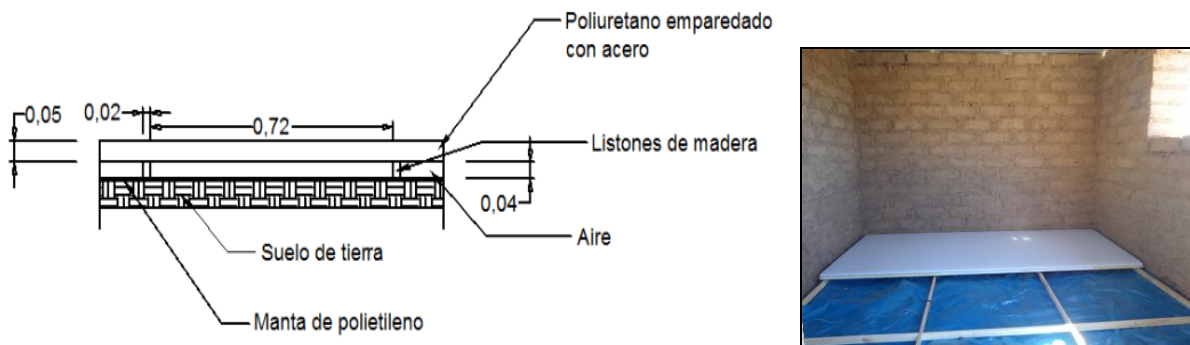


Figura 58. Esquema en corte transversal de una porción del piso instalado en cada una de las dos habitaciones del MEV.

MUROS

Los muros conforman el componente de mayor área de transferencia de calor del MEV, tradicionalmente el material utilizado en las construcciones es el Adobe, elaborado a partir de tierra, paja y agua. El espesor de los muros es de 0.40m y se suma a esto, su baja conductividad térmica (0.95 W/m-K), la capacidad de almacenar energía durante el día para emitirla durante la noche y el bajo costo de fabricación, todo ello hacen del muro de adobe una buena alternativa en la búsqueda de obtener condiciones confortables dentro de la vivienda a bajo costo.



Figura 59. Vista de las paredes de adobes del MEV.

TECHO

Constituido por un techo a dos aguas y cielo raso para tener mejor control sobre el cerramiento interior en relación con el riesgo de perder calor o mayores dificultades en la tarea de aislarlo.

El cielo raso, se eligió del mismo material que se empleó en el aislamiento del suelo, es decir, el emparedado de poliuretano con láminas de acero, de modo tal que se forme un volumen cerrado entre el techo y el cielo raso.

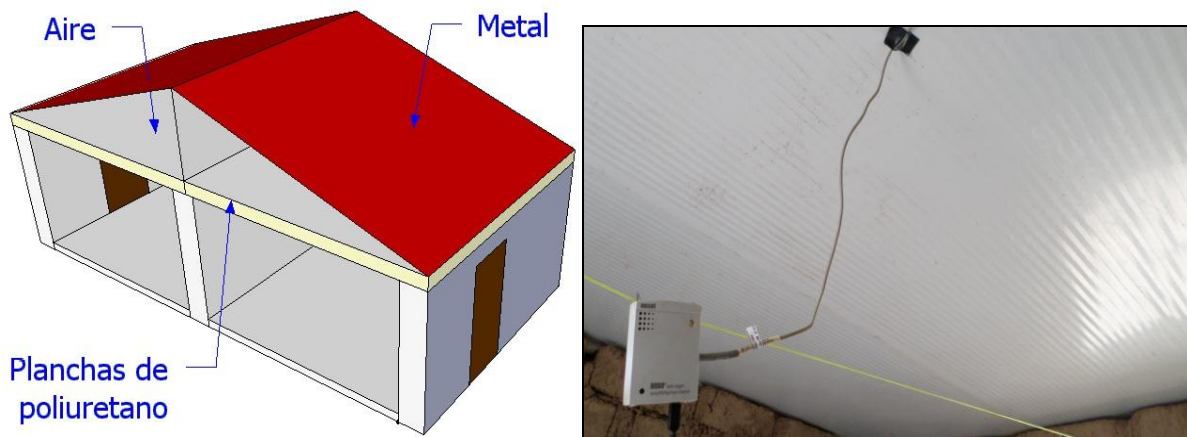


Figura 60. (Izq.) imagen donde se señala la ubicación de las planchas de poliuretano que conforma el cielo raso. (Der.) vista desde el interior de las planchas de poliuretano.

VENTANAS

El MEV cuenta con 4 vanos para ventanas, dos sobre el muro que mira al este y dos sobre el muro que mira al oeste, por lo tanto cada habitación tiene dos ventanas en posición relativa enfrentada, este-oeste, definida así para capturar energía solar por la mañana y por la tarde.

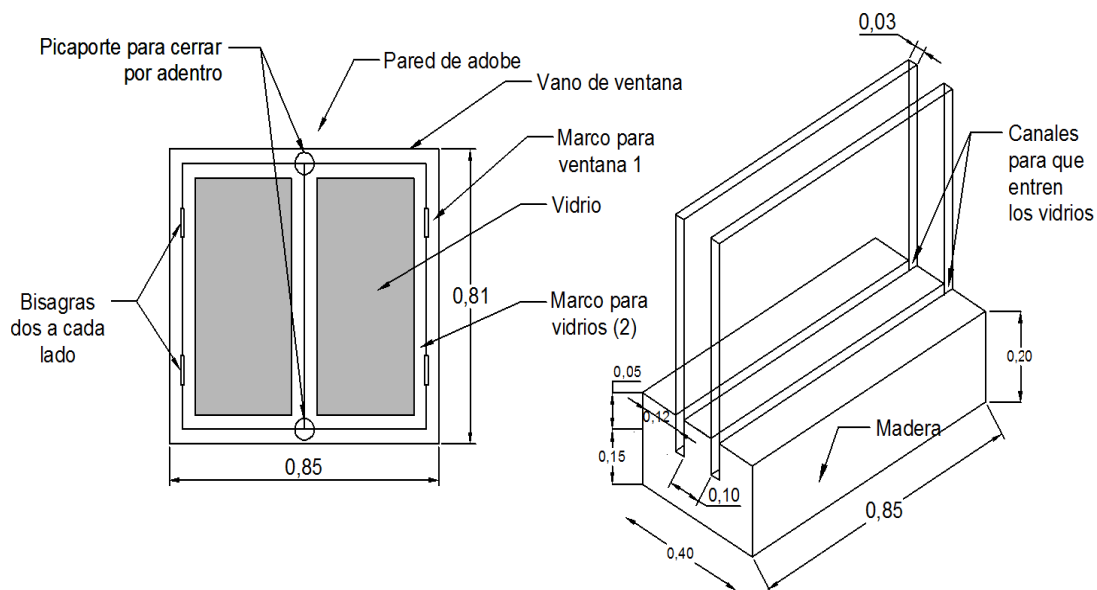


Figura 61. Detalle del diseño de la ventana con doble vidrio separados 1cm y montados sobre marcos de madera de 5cm de espesor. (Espinoza, R., 2014).

PUERTAS

Por ambiente el MEV lleva dos puertas contraplacadas separadas 0.65m lo que conforma una especie de esclusa interior, con esta configuración se evitara enfriamientos súbitos y rápidos, como sucedería cada vez que se abra una puerta.

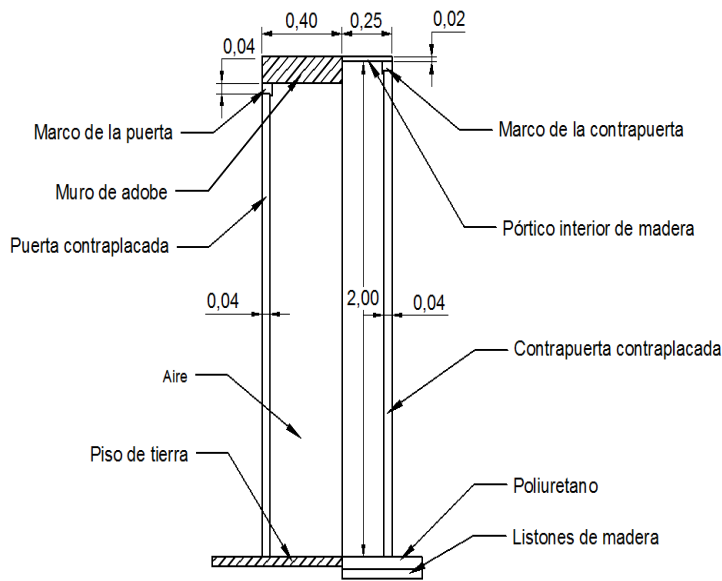


Figura 62. Corte transversal vertical de la esclusa formada por la puerta de la habitación y la contrapuerta del pórtico interior. (Espinoza, R., 2014).

3.5.1.2 Sistemas de calefacción

SISTEMA MURO Y TUBO RADIANTE

Ambos sistemas utilizan la energía solar y el agua como medio de acumulación por calor sensible en el momento de disponibilidad para suministrarla posteriormente cuando la demanda sea mayor que la disponible. Ambos sistemas cuentan con un captador solar (colector) que transforma la energía solar en calor para calentar el fluido caloportador, este calor se transporta y finalmente se transmite hacia los ambientes interiores del MEV.

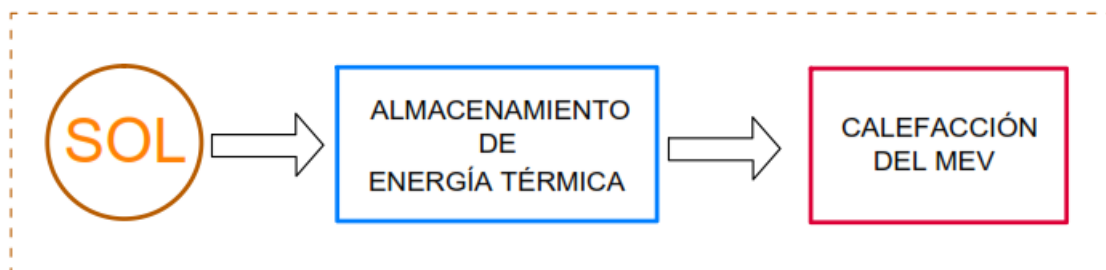


Figura 63. Esquema del sistema de almacenamiento térmico utilizado.

SISTEMA MURO RADIANTE

Se compone de cinco partes principales; a. colector solar (1), b. serpentín (6), c. tablero de control de flujos (4), d. bomba y control (5), e. tuberías de conexión (resto). Se hace notar que la bomba hidráulica instalada es de 220VCA y cuenta con un dispositivo de control automático para su encendido y apagado en función de la diferencia de temperaturas entre el punto más caliente (salida del colector solar) y la temperatura del aire al interior de la habitación. Si la diferencia de temperatura es mayor a 5°C, la bomba se acciona y el fluido caloportador empieza a circular, tal como se puede apreciar en el diagrama de flujo de datos.

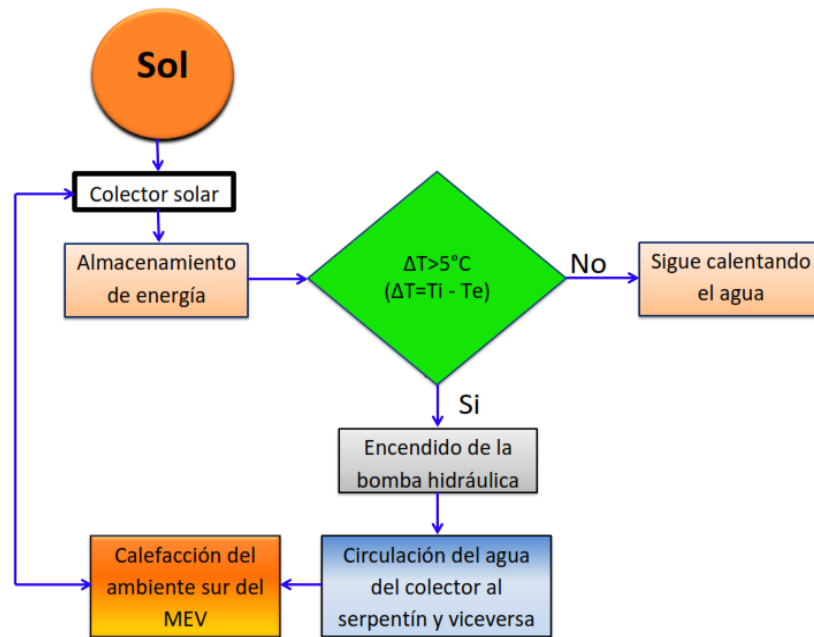


Figura 64. Diagrama de flujo del funcionamiento del sistema muro radiante.

El resto del sistema lo conforman:

- 2 Tubería de retorno del líquido frío
- 3 Tubería de ingreso de agua caliente
- 7 Soporte de bomba
- 8 Elementos del MEV

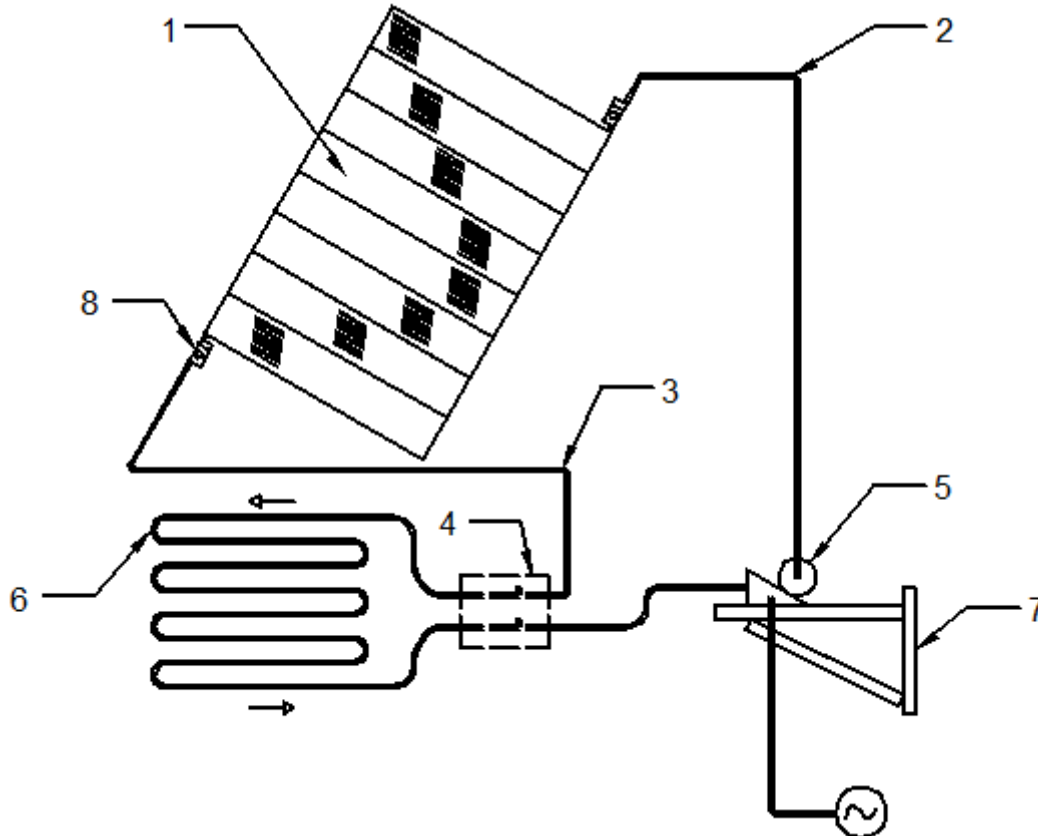


Figura 65. Representación esquemática del sistema de calefacción muro radiante. (Espinoza, R., 2014).

SISTEMA TUBO RADIANTE

Se compone de cinco partes principales: a. colector solar (1), b. tubo radiante (6), c. depósito de vaciado (8), d. sistema de bombeo FV (10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18), e. tuberías de conexión (resto).

El resto está conformado por:

- | | |
|--|-----------------------------------|
| 2 Tubería de suministro y admisión | 13 Regulador de carga |
| 3 Vía de 3 pasos | 14 Cable de alimentación a bomba |
| 4 Tubería de suministro de agua caliente | 15 Cable regulador/batería |
| 5 Tubería de admisión de agua fría | 16 Cable módulo FV/regulador |
| 7 Tubería de desagüe | 17 Caja de correcciones módulo FV |
| 8 Tanque subterráneo de almacenamiento | 18 Módulo FV 50 Wp |
| 9 Tubería de succión | 19 Soporte de módulo |
| 10 Bomba hidráulica | 20 Soporte colector |
| 11 Interruptor termomagnético | 21 Elementos del MEV |
| 12 Batería sellada 12V DC 80Ah | |

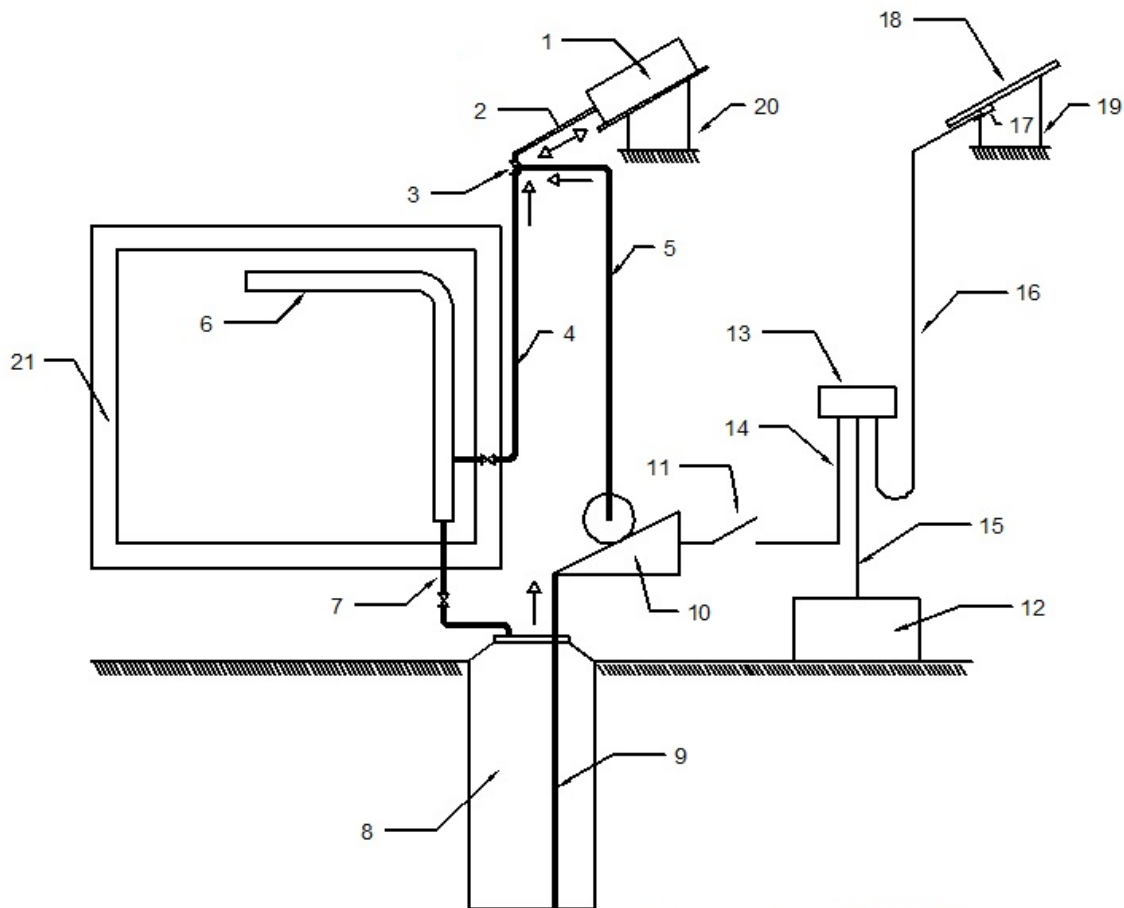


Figura 66. Representación esquemática del sistema de calefacción tubo radiante. (Espinoza, R., 2014).

IV. DESARROLLO EXPERIMENTAL

4.1 Situación del MEV previo al presente trabajo

Como trabajo previo a la experimentación del MEV, se realizó un diagnóstico situacional para constatar el estado en el que se encontraba debido a que estaba inoperativo varios meses. Como resultado del diagnóstico realizado se encontró que las puertas y ventanas estaban dañadas y no encajaban en su marco, no se contaba con fluido eléctrico debido a que había ocurrido un cortocircuito, las conexiones hidráulicas exteriores sobre tierra del tubo radiante estaban inservibles, el cerco de protección contra los animales que se había instalado ya no garantizaba seguridad, había presencia de goteo en partes de las conexiones hidráulicas, y así, entre otras imperfecciones pequeñas encontradas (Se adjunta en anexos el reporte del diagnóstico realizado).

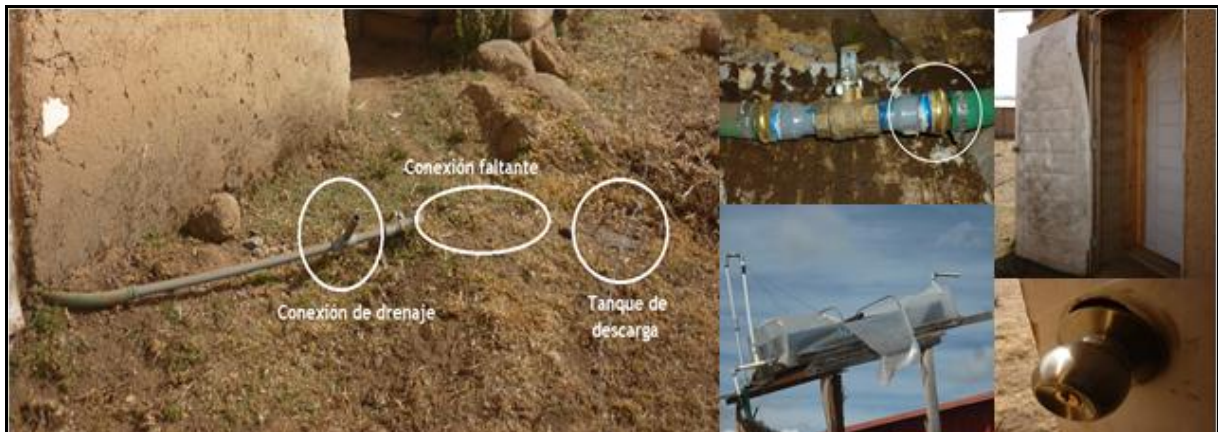


Figura 67. Vistas de las instalaciones del MEV encontradas al inicio de su rehabilitación.

Posteriormente al diagnóstico se realizaron las acciones correctivas y se inició con la toma de datos al interior y exterior del MEV. Fecha de inicio de toma de datos el 05 de julio del 2016 (Se adjunta informe en anexo de acciones correctivas realizadas e instalaciones y lanzamiento de toma de datos).



Figura 68. Vistas de las reparaciones realizadas en ventanas y puertas del MEV.

4.2 Experimentación con el MEV

4.2.1 Instalación de la instrumentación de toma de datos

Los instrumentos utilizados para las mediciones al interior del MEV se realizaron con los Onset Hobo U12-001, data loggers y microestaciones, el hobo es un instrumento electrónico confiable capaz de medir la temperatura del aire y humedad relativa, los data loggers solo miden temperaturas del aire, y las microestaciones temperatura del aire y humedad relativa. Las mediciones térmicas se dieron inicio el 05 de julio hasta el 28 de febrero con intervalos de monitoreo cada media hora, las 24 horas.

Al instalar la instrumentación de registro de datos como los utilizados en el presente estudio, los data logger y sensores de temperatura, estos tienen que estar protegidos de la radiación solar directa y lluvia para que sus registros no sean alterados. En el estudio se protegieron los sensores colocándolos al interior de una caja de paso eléctrica de color blanco de base cuadrada de 0.1m de ancho y largo, y 0.05m de alto, con agujeros para su ventilación. También se utilizó papel de aluminio dándole la forma de un cono en cuyo interior se colocaron los sensores.

Descripción del equipo Hobo U12-001 data loggers

- 12 bit de resolución, posee una alta precisión
- rango de medición de -20°C a 70°C
- precisión $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$ de 0°C a 50°C
- resolución de 0.03°C a 25°C
- tiempo de muestreo: 1s hasta 18 horas, seleccionable por el usuario
- tiempo de respuesta en movimiento de aire de 1 m/s: 6 minutos, típico en 90%
- precisión de la hora: ± 1 minuto por mes a 25°C
- memoria de 64K bytes
- peso de 46g y unas dimensiones de 58x74x22mm

En cada uno de sus canales se utilizó un sensor de medición TMC20-HD que registro la temperatura en interiores, exterior, dentro del agua del tubo radiante y en el fluido del serpentín (agua más anticongelante). El rango de medición de este sensor es de -40°C a 50°C en agua o en tierra y, de -40°C a 100°C en aire, el tiempo de respuesta en el agua es de un minuto y entre dos y tres minutos en el aire. Los equipos usan una interfase USB para descargar la información.

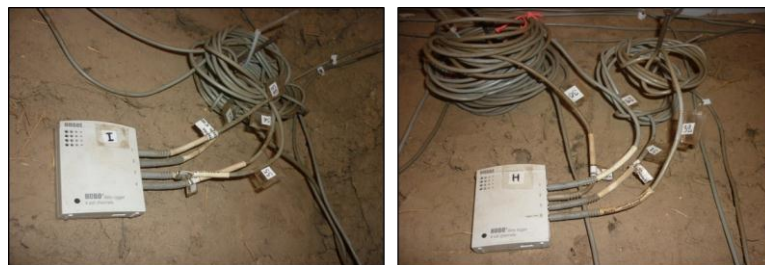


Figura 69. Vistas de los data logger y sensores de temperatura instalados en el MEV.

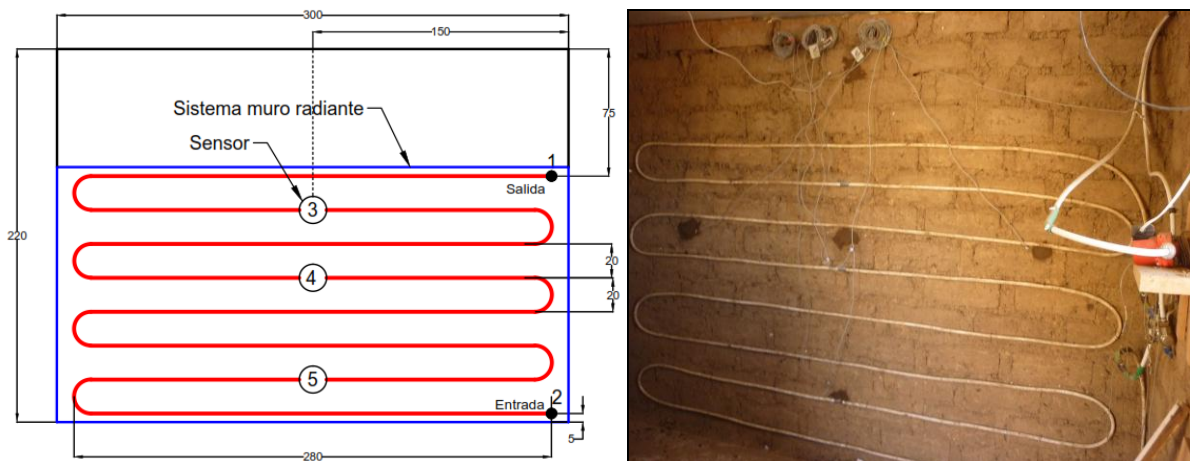


Figura 70. (Izq.) en círculo ubicación de los sensores instalados sobre la superficie del serpentín, (Der.) imagen de dicho esquema.

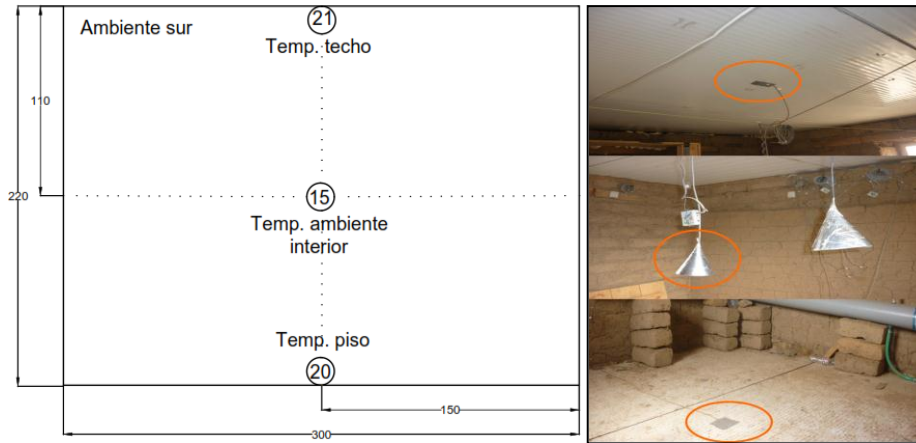


Figura 71. (Izq.) esquema de la ubicación de los sensores en el piso, al centro del ambiente, y techo. (Der.) vista de dichos sensores.

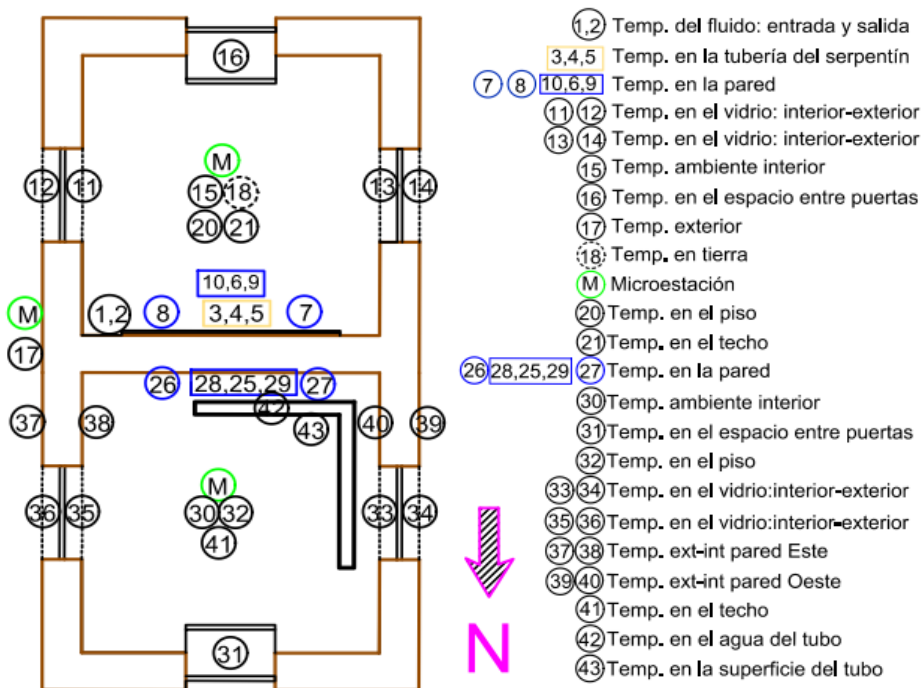


Figura 72. Representación esquemática del MEV y la ubicación del total de sensores instalados.

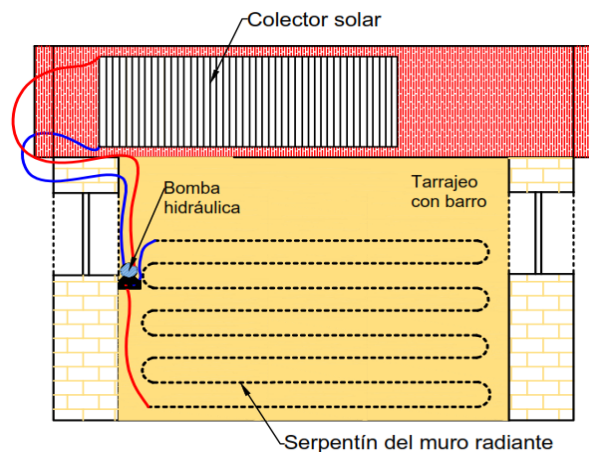


Figura 73. Vista en corte del MEV y muro radiante que utiliza agua como medio de almacenamiento de calor.

4.2.2 Plan de experimentación desarrollado en el MEV

El desarrollo de la presente tesis se basa en una serie de actividades experimentales programadas y llevadas a cabo en campo la cual se ha cumplido según las indicaciones de la tabla 10.

Tabla 10. Plan de configuraciones de medidas en el MEV.

	Configuraciones de medidas	Fecha
1	MEV Sólo con técnicas arquitectónicas de aislamiento pasivo (TAAP) y manejo de contraventanas (CV).	05-29 Jul.
2	MEV con TAAP, manejo de CV y, adición de sistemas de calefacción solar activos (SC).	24Ago-26Sep.
3	MEV con ambientes cerrados las 24h: con TAAP, sin SC, con CV y contrapuertas (CP).	27Sep-11Oct.
4	MEV con TAAP, sin CV, sin CP, y sin SC las 24h: Ambiente Sur (S) y Norte (N).	12-24 Oct.
5	MEV con TAAP, manejo de CV y con SC ambiente S y N; Ambiente S con cocina a gas (CG).	25Oct-6Nov.
6	MEV con TAAP, manejo de CV, y con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas.	7Nov-4Dic.
7	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N.	5-12 Dic.
8	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N; Pernoctación (P) ambiente S.	13-20 Dic.
9	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S.	21-23 Dic.
10	MEV con TAAP, sin CV las 24h, sin CG, con ACS y sin P ambiente S y N. Sólo con SC ambiente S.	24Dic-06Feb.
11	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC, con ACS y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S.	07-23 Feb.
12	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC, con ACS y CG ambiente S y N; P y OH por 5h Ambiente N.	24-28 Feb.

Para las mediciones en campo donde no hubo participación in situ del monitoreo del MEV por parte del autor del presente trabajo, se involucró a la autoridad local (Sr. Jaime Mendoza agente comunal de Raymina), entusiasta y curioso en aprender cómo se desarrollaba la investigación, tal es así que fue el encargado de algunas de las configuraciones de medida como la 1, 2 y 6. Al Sr. Jaime se le capacitó en como operar los sistemas de calefacción, las contraventanas, contrapuertas, la cocina a gas, y además, en la seguridad y cuidado de la instrumentación instalada, todo ello con el propósito de llevar un registro de datos continuos y uniformes a la vez que se transmite conocimientos y aprendizaje a la población local.

En la configuración 9 se colocaron colchonetas de lana de roca por debajo del colector solar tipo piscina para evitar las pérdidas de calor por convección.



Figura 74. (Izq.) sellado de bolsas contenedoras de lana de roca; (Cen.) colchonetas de lana de roca confeccionadas; (Der.) colocación de colchonetas debajo del colector solar tipo piscina.

4.2.3 Simulación del MEV utilizando EnergyPlus

La simulación se inicia utilizando el programa de diseño gráfico en 3D SketchUp en la cual se instalan las herramientas de la interfaz OpenStudio. Se crean las zonas térmicas que para el caso del MEV hay dos (ver figura 75), y se designa un nombre a cada superficie. En el OpenStudio se carga la data climática, crean los materiales y construcciones, y se puede lanzar simulaciones y visualizar sus resultados. El EnergyPlus es el motor de cálculo donde a partir del ingreso adicional de variables de entrada como el control de las infiltraciones o contraventanas, se pueden obtener diferentes variables de salida como el cálculo de la temperatura interior, humedad relativa interior, transmitancias térmicas por ventanas, entre otras. El uso de los programas con la entrada de datos y salida de resultados se verá en la parte V. Resultados experimentales y análisis del desempeño térmico del MEV, punto 5.9 para tres casos de simulación considerados.

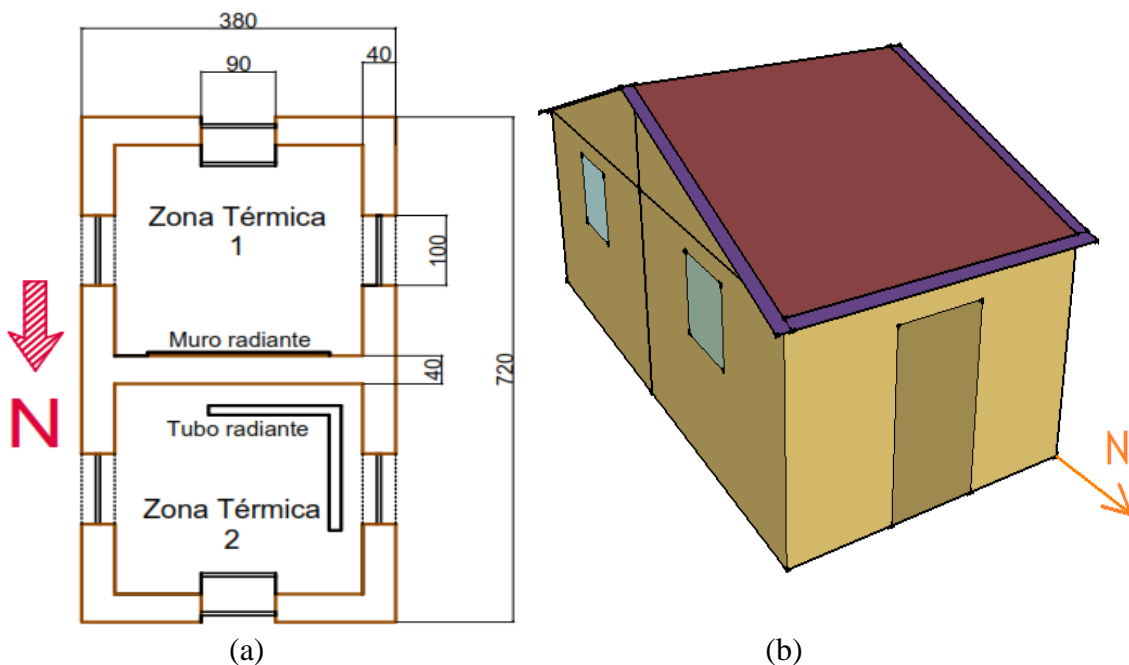


Figura 75. (a) representación de las zonas térmicas. (b) diseño típico en SketchUp del MEV para simulación.

V. RESULTADOS EXPERIMENTALES Y ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DEL MEV

En este capítulo se presentan resultados y análisis de los datos experimentales registrados en el MEV a través de la medición de variables ambientales interiores y exteriores como la temperatura del aire, humedad relativa y radiación solar. La monitorización de estas variables será útil para comprender el comportamiento térmico del MEV desde el punto de vista energético en lo que refiere a ganancias y pérdidas de energía a través de su envolvente, cargas internas, y actividad humana; a la vez, que servirá de referencia para otras investigaciones que involucren el comportamiento térmico de viviendas.

5.1 Condiciones climáticas exteriores

Del tratamiento de datos registrados en San Francisco de Raymina durante la etapa de medida del 05.07.16 al 28.02.17, el promedio de temperatura exterior oscila entre 2.59°C y 16.85°C con una temperatura promedio de 9.34°C, una temperatura mínima horaria que llega hasta -7.09°C a las 6:00am el día 29.08.16 y máxima horaria de 24.12°C alcanzada al medio día el 12.11.16; la humedad relativa oscila entre 42.29% y 86.94% con una humedad relativa promedio de 69.15%; y una Irradiancia solar de promedio diario máximo de 1091.29W/m² con un promedio de 480.68W/m² y energía solar promedio diario de 5.98kWh/(m²día).

Tabla 11. Promedios diarios y horarios de parámetros meteorológicos exteriores de San Francisco de Raymina.

Del 05.07.16 al 28.02.17	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)	Irradiancia Solar (W/m ²)
Promedio diario máximo	16.85	86.94	1091.29
Promedio diario mínimo	2.59	42.29	0.52
Promedio diario	9.34	69.15	480.68
Máximo horario extremo	24.12	93.49	1279.26
Mínimo horario extremo	-7.09	10.23	-----

La gráfica de la figura 76 representa la energía solar acumulada durante toda la etapa de evaluación del MEV que comprendió desde el 05 de julio de 2016 al 28 de febrero de 2017.

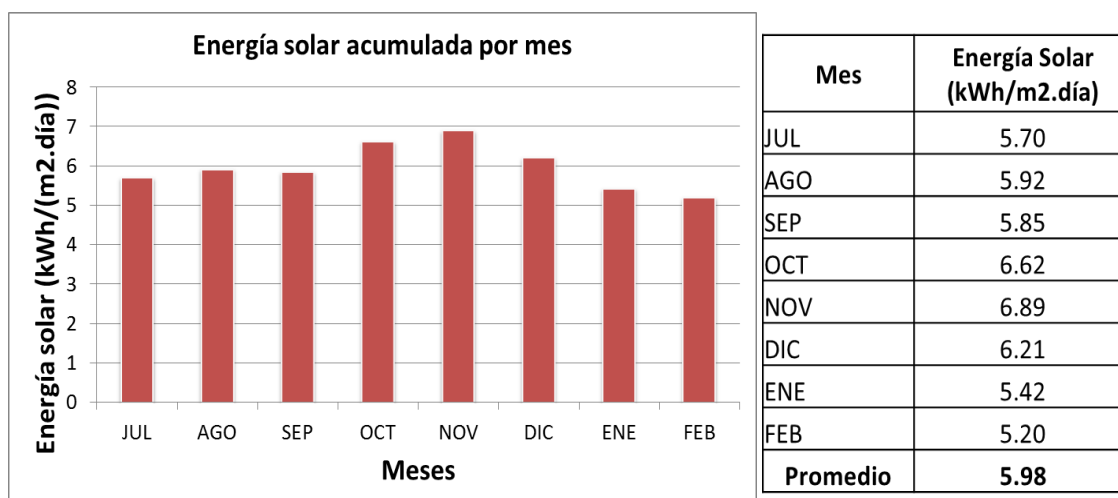


Figura 76. (Izq.) gráfica de energía solar acumulada por mes; (Der.) promedio de energía solar por mes.

Asimismo se tiene la tabla 12 donde se aprecia los valores promedios diarios para cada mes del año desde enero a diciembre del 2016, y de enero a febrero del 2017, la temperatura promedio máxima (T_{prom.Máx.}), temperatura promedio mínima (T_{prom. Mín.}), temperatura media diaria (T_{med.}) y la oscilación térmica. De la tabla se observa que la temperatura máxima promedio diario corresponde al mes de noviembre con 19.32°C, la mínima promedio diario se presenta en julio con -1.86°C, estas temperaturas definen la necesidad de utilizar estrictamente calentamiento para julio y probablemente una muy mínima necesidad de enfriamiento para noviembre. Además, la temperatura media anual es 9.29°C con una oscilación de 15.09°C.

Tabla 12. Temperaturas medias mensuales del aire exterior de San Francisco de Raymina. Desde enero a diciembre del 2016, y de enero a febrero del 2017.

MES	T _{prom.Máx.} (°C)	T _{prom. Mín.} (°C)	T _{med.} (°C)	Oscilación (°C)
Enero	18.56	4.65	11.13	13.91
Febrero	15.86	5.98	10.19	9.88
Marzo	16.56	5.27	10.38	11.30
Abril	16.44	4.34	9.72	12.10
Mayo	16.99	2.13	9.12	14.86
Junio	16.77	-0.10	7.82	16.87
Julio	15.14	-1.86	6.48	17.00
Agosto	17.12	-0.45	8.02	17.56
Septiembre	17.45	0.06	8.69	17.39
Octubre	17.83	1.54	9.56	16.29
Noviembre	19.32	-0.13	10.15	19.44
Diciembre	17.83	3.31	10.22	14.52
Enero	14.83	5.02	9.04	9.81
Febrero	15.37	4.41	9.12	10.95
Promedio				
ANUAL	17.2	2.1	9.29	15.09

A partir de la temperatura exterior media mensual (T_m) se determina la zona de confort para la comunidad de San Francisco de Raymina mediante el cálculo de la temperatura de neutralidad o de confort (T_n) propuesta por el modelo adaptativo de Humphreys. Luego, en base a la temperatura de neutralidad se calcula los límites máximos (ZC_{máx.}) y mínimos (ZC_{mín.}) de la zona de confort térmico.

$$T_n = 0.534 \times T_m + 11.9 \quad (18)$$

Para oscilaciones térmicas altas entre 13 a 15°C como las que se presenta en San Francisco de Raymina, se toma el rango de ±3°C (ver tabla 5) de variabilidad de la temperatura de neutralidad o de confort.

Entonces:

$$ZC_{máx} = T_n + 3 \text{ y } ZC_{mín} = T_n - 3 \quad (19)$$

El resultado de estos cálculos mostrados en la tabla 13 definen la zona de confort térmico. La tabla muestra los valores de la temperatura máxima extrema mensual (T_{Mext}), temperatura mínima extrema mensual (T_{mext}), temperatura máxima promedio mensual (T_{Máxp}), temperatura mínima promedio mensual (T_{mínp}), temperatura media mensual (T_{med}), límite

mínimo de la temperatura de confort (ZCmín), límite máximo de la temperatura de confort (ZCmáx), y la temperatura de neutralidad o de confort térmico (Tn).

Tabla 13. Temperaturas extremas máximas y mínimas, medias, límites máximos y mínimos de temperatura, y temperatura neutra para Raymina.

MESES	TMext (°C)	Tmext (°C)	TMáxp (°C)	Tmínp (°C)	Tmed (°C)	ZCmín (°C)	ZCmáx (°C)	Tn (°C)
ENE.	21.56	0.47	18.56	4.65	11.13	14.84	20.84	17.84
FEB.	19.77	2.10	15.86	5.98	10.19	14.34	20.34	17.34
MAR.	19.08	2.80	16.56	5.27	10.38	14.44	20.44	17.44
ABR.	19.23	1.04	16.44	4.34	9.72	14.09	20.09	17.09
MAY.	19.56	-2.20	16.99	2.13	9.12	13.77	19.77	16.77
JUN.	20.57	-4.19	16.77	-0.10	7.82	13.07	19.07	16.07
JUL.	18.18	-4.23	15.14	-1.86	6.48	12.36	18.36	15.36
AGO.	22.66	-7.09	17.12	-0.45	8.02	13.18	19.18	16.18
SEP.	22.08	-3.96	17.45	0.06	8.69	13.54	19.54	16.54
OCT.	22.35	-1.90	17.83	1.54	9.56	14.00	20.00	17.00
NOV.	24.12	-4.99	19.32	-0.13	10.15	14.32	20.32	17.32
DIC.	23.28	-0.06	17.83	3.31	10.22	14.36	20.36	17.36
ENE.	22.51	2.82	14.83	5.02	9.04	13.73	19.73	16.73
FEB.	20.37	2.34	15.37	4.41	9.12	13.77	19.77	16.77

La figura 77 es la representación gráfica de la tabla13 donde se observa que la temperatura máxima promedio mensual se ubica dentro de la zona de confort mientras que la temperatura media se ubica fuera de ella. Las temperaturas límites máximas para los meses de febrero a mayo están dentro de la zona de confort, mientras que para los demás meses incluido todos los meses de las temperaturas límites mínimas, están fuera de la zona de confort térmico.

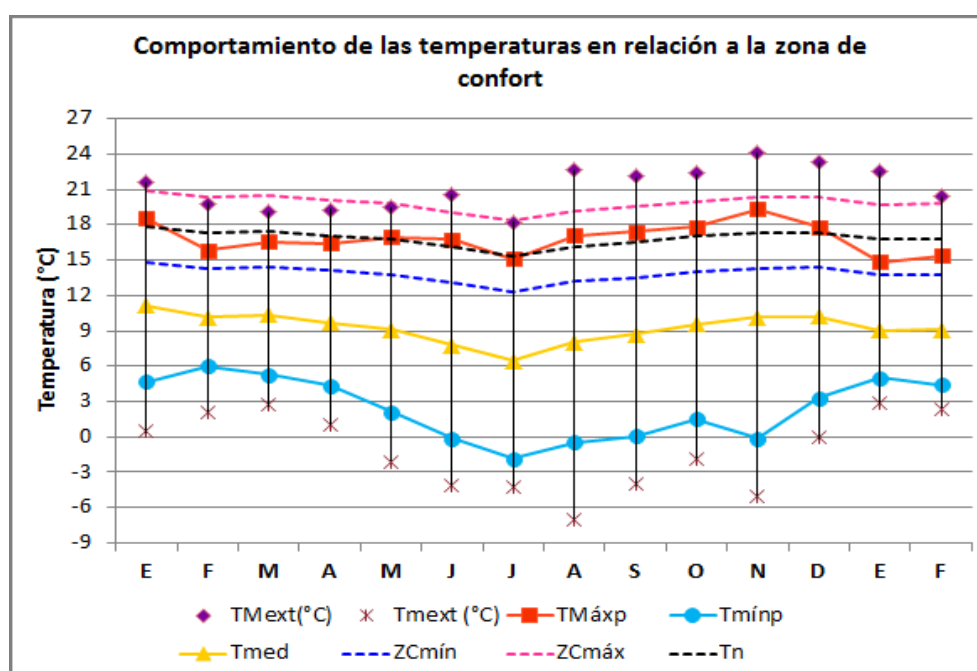


Figura 77. Gráfica de temperaturas máxima promedio (TMáxp), mínima promedio (Tmínp), media (Tmed), máxima extrema (TMext), mínima extrema (Tmext); límites de confort superior (ZCmáx) e inferior (ZCmín), y temperatura neutra (Tn).

5.2 Temperaturas medias diarias interior y exterior

Tabla 14. Temperatura media diaria en los ambientes interiores y exteriores del MEV según etapas de medida.

Configuraciones de medidas		Fecha	Temperatura media diaria (°C)		
			Amb. S	Amb. N	Exterior
1	MEV Sólo con técnicas arquitectónicas de aislamiento pasivo (TAAP) y manejo de contraventanas (CV).	05-29 Jul.	9.22	11.86	6.55
2	MEV con TAAP, manejo de CV y, adición de sistemas de calefacción solar activos (SC).	24Ago-26Sep	12.63	13.77	8.43
3	MEV con ambientes cerrados las 24h: con TAAP, sin SC, con CV y contrapuertas (CP).	27Sep-11Oct	12.37	13.16	9.11
4	MEV con TAAP, sin CV, sin CP, y sin SC las 24h: Ambiente Sur (S) y Norte (N).	12-24 Oct.	13.24	13.71	9.53
5	MEV con TAAP, manejo de CV y con SC ambiente S y N; Ambiente S con cocina a gas (CG).	25Oct-6Nov	16.03	16.01	10.19
6	MEV con TAAP, manejo de CV, y con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas.	7Nov-4Dic	14.90	15.90	10.12
7	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N.	5-12 Dic.	16.70	18.58	10.18
8	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N; Pernoctación (P) ambiente S.	13-20 Dic.	18.80	19.14	10.49
9	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S.	21-23 Dic.	20.02	19.64	10.83
10	MEV con TAAP, sin CV las 24h, sin CG , con ACS y sin P ambiente S y N. Sólo con SC ambiente S.	24Dic-06Feb	14.57	14.12	9.35
11	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC, con ACS y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S.	07-23 Feb.	17.96	16.66	9.06
12	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC, con ACS y CG ambiente S y N; P y OH por 5h Ambiente N.	24-28 Feb.	16.01	17.75	8.30

De acuerdo a la tabla 14, en la configuración 1 y 2, la temperatura en el ambiente sur se incrementa en 3.41°C y el ambiente norte en 1.91°C con un ΔT exterior de 1.88°C . El incremento de temperatura en el ambiente sur es mayor debido a que en la etapa 1 el ambiente norte permaneció cerrado y el sur con el control de las contraventanas. Asimismo la temperatura en la etapa 1 en el ambiente sur es menor que la del norte debido a que inicialmente la capa de barro que cubre al serpentín estaba fresca (recién se había tarrajado).

A simple vista de la tabla 14, la configuración 1 y 2, podría pensarse que el serpentín aporta más calor al ambiente Sur pero esto no es así por lo descrito anteriormente, además, para este análisis de etapas, las temperaturas exteriores no son las mismas ni mucho menos cercanas como para brindar resultado confiables.

En la etapa 3 y 4 no hubo funcionamiento de los sistemas de calefacción, además, en la configuración 3, los ambientes se mantuvieron cerrados las 24 horas, es decir, contrapuertas cerradas y contraventanas colocadas. En la configuración 4, los ambientes permanecieron las 24 horas sin colocación de contraventanas y contrapuertas abiertas. En estos casos, siendo el ΔT exterior para dichas etapas 0.42°C , puede considerarse que dichas etapas están a la misma temperatura exterior, siendo así, preferible, mantener los ambientes como en la configuración 4, dado a que en el día se gana más calor sin la contraventana colocada, que manteniéndola colocada las 24 horas.

En la configuración 5 y 6, dado a que el ΔT exterior es 0.07°C para dichas configuraciones, puede considerarse que ambas configuraciones están a la misma temperatura exterior, además, el consumo de gas por ambiente en dicha configuración de medida son prácticamente los mismos. Con estas aseveraciones, el ambiente Sur pierde 1.13°C que vendría a ser lo que aporta en temperatura el tubo radiante proveniente del ambiente Norte, mientras que, el ambiente norte pierde 0.11°C , que vendría hacer el aporte en temperatura del sistema muro radiante. Esto da a entender que el tubo radiante es el que brinda un mayor aporte térmico en comparación con el muro radiante.

En la configuración 7, se presentan las mismas condiciones para los ambientes interiores, además, de la misma temperatura exterior. De acuerdo a los resultados de las temperaturas interiores alcanzadas en esta etapa, el tubo radiante aporta 1.88°C al ambiente Norte.

En la configuración 8 y 9, dado a que el ΔT exterior es 0.34°C para dichas configuraciones, puede considerarse que ambas configuraciones están a la misma temperatura, entonces, como las configuraciones se diferencian solo en el aislamiento del colector solar, se podría asegurar que dicho aislamiento contribuye en un incremento de temperatura al sistema muro radiante y al agua en sí de 1.22°C . El aislamiento utilizado fue lana de roca de 4cm de espesor.

En la configuración 10, similar configuración de medidas que la configuración 4, la diferencia con dicha configuración es que la contrapuerta está cerrada y el sistema de calefacción muro radiante funcionando. En esta configuración con respecto a la configuración 9, se observa que las temperaturas interiores disminuyen, en el ambiente Sur 5.45°C , y en el ambiente Norte 5.52°C . Dado a que el ΔT exterior es 0.18°C entre la configuración 10 y 4, puede considerarse que dichas configuraciones están a la misma temperatura exterior, entonces, la diferencia de temperaturas en el ambiente sur 1.33°C , es lo que aporta el sistema de calefacción muro radiante y su contrapuerta como elemento aislante, mientras que, en el ambiente norte la diferencia de temperaturas 0.41°C , es la contribución de la contrapuerta como elemento aislante.

En la configuración 11 y 12, la pernoctación y actividad humana por 5 horas, difieren el accionar de los ambientes interiores. En la configuración 11, la diferencia de temperaturas en ambos ambientes es 1.3°C, en la configuración 12, dicha diferencia es 1.74°C, esto debido a que las temperaturas exteriores son distintas, caso contrario el aporte por pernoctación y ocupación humana por 5 horas sería 1.52°C.

La figura 78 grafica el comportamiento de las temperaturas medias diarias interior y exterior del ambiente Sur y Norte. Los números en la gráfica representan cada configuración de medida.

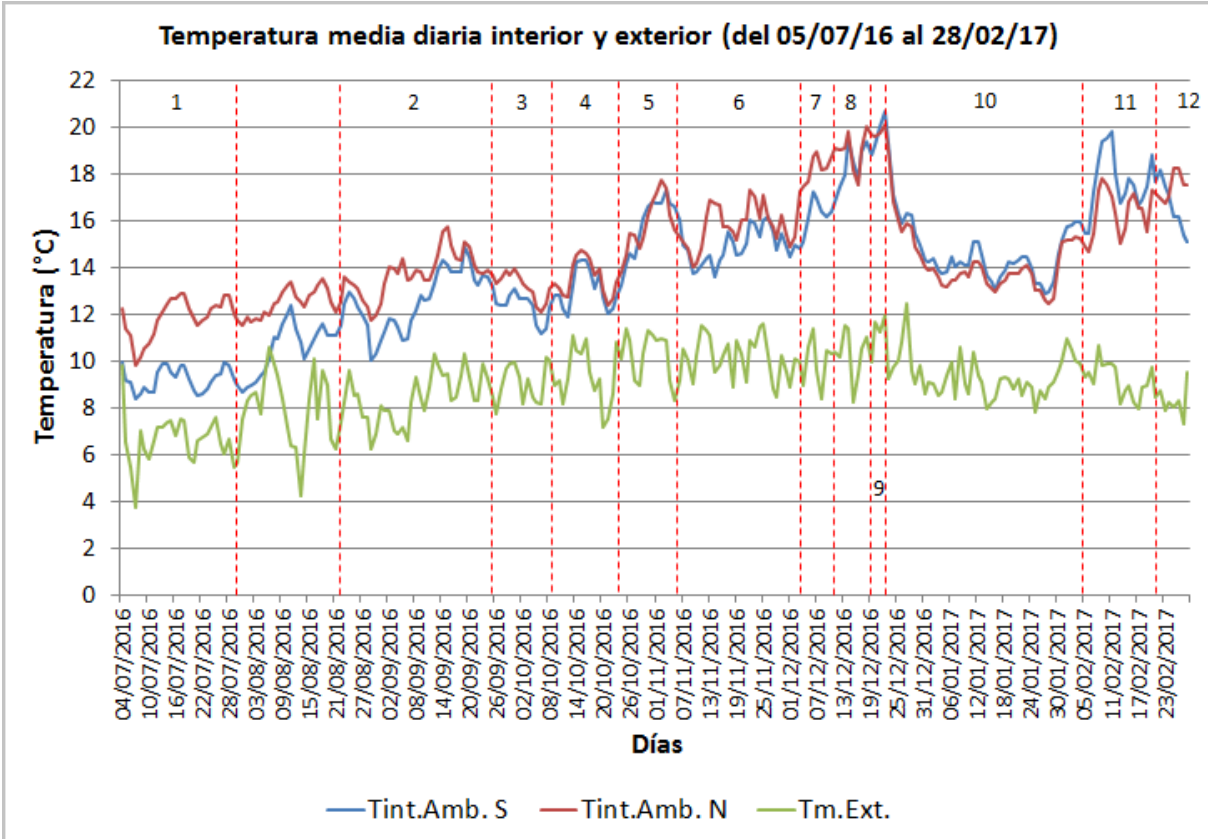


Figura 78. Gráfica de las temperaturas medias interiores y exteriores del MEV para las 12 configuraciones de medida. Tint.Amb.S y Tint.Amb.N, son las temperaturas medias diarias en el ambiente Sur y Norte; Tm.Ext., es la temperatura media diaria exterior.

Asimismo, graficando las temperaturas medias diarias interiores del ambiente Norte y Sur (Tm intS y Tm int N) para todo el rango de configuraciones de medidas con las temperaturas de los límites máximo y mínimo de confort (ZC máx y ZC mín), incluido la temperatura de neutralidad (Tn) obtenemos la gráfica de la figura 79.

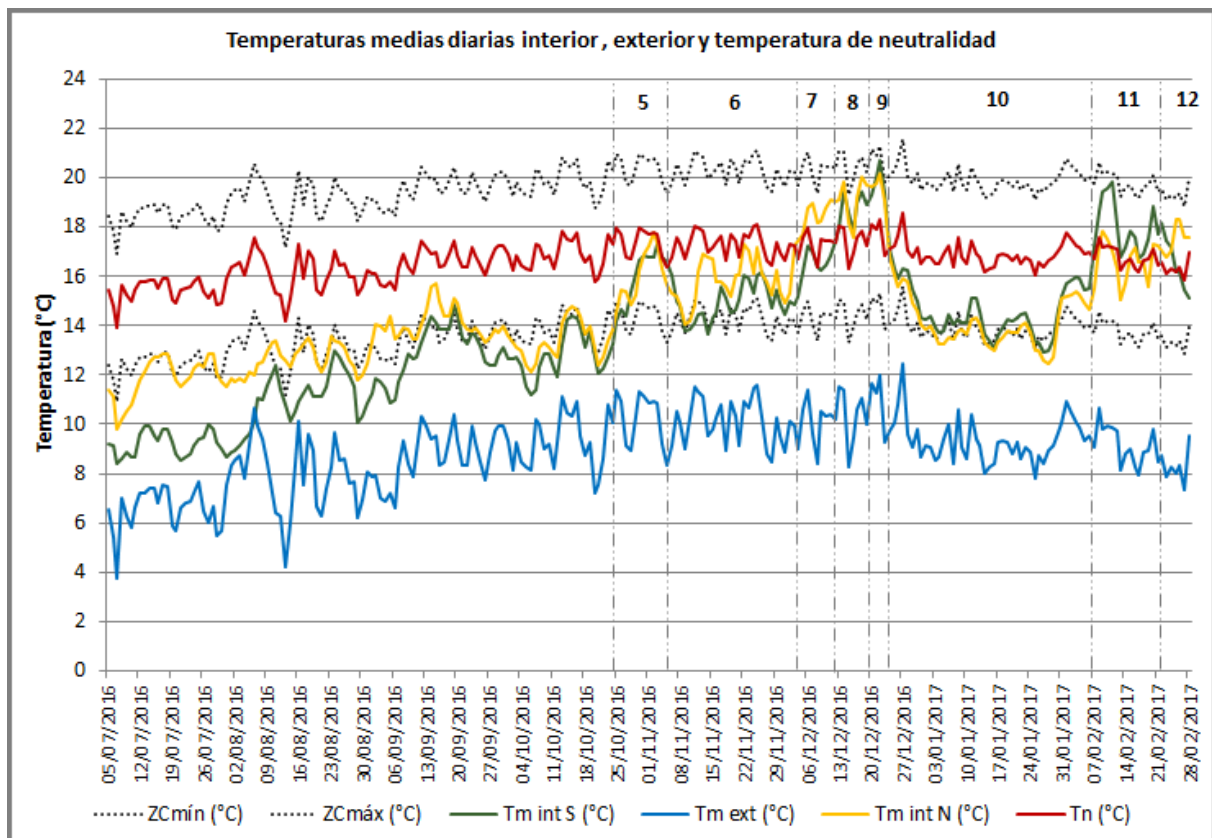


Figura 79. Gráfica de la temperatura media interior ambiente Sur y Norte, exterior, y zona de confort. Los números indican las configuraciones de medida.

De la figura 79, las configuraciones 5, 6, 7, 8, 9, 11 y 12, se ubican dentro de la zona de confort térmico definido para San Francisco de Raymina. En todas estas configuraciones hay un control concienzudo de las contraventanas respecto de las horas que hay que colocarlas (6pm) y retirarlas (6am del día siguiente), y de los sistemas de calefacción solar, en la configuración 5 y 6 además hay uso de una cocina a gas, primero en el ambiente Sur configuración 5, y luego en el ambiente Norte configuración 6. En la 7 hay una cocina en cada ambiente, en estas 3 configuraciones descritas, la temperatura interior está próximo a llegar a la temperatura de confort. En la configuración 8 y 9 a parte de la cocina se incluye la pernoctación y la temperatura interior sobrepasa la temperatura de confort, igualmente en la configuración 11 y 12. La configuración 10 del 24 de diciembre de 2016 al 06 de febrero de 2017 es la que presenta un decaimiento de la temperatura interior dado a que en dicha configuración hubo manejo de las contraventanas, no hubo pernoctación, tampoco se usaron las cocinas, y solo funcionó el sistema de calefacción del ambiente Sur.

En este contexto, se infiere que es posible situarse dentro de la zona de confort e incluso por encima de la temperatura de confort con el solo hecho de manejar adecuadamente las contraventanas, los sistemas de calefacción, uso de las cocinas a gas, y la pernoctación en ambos ambientes del MEV. La cocina a gas se usó una hora por día.

La figura 80 grafica la temperatura diaria interior máxima y mínima de los ambientes norte y sur. La temperatura máxima llega a los 36.04°C por el uso de la cocina a gas, y la mínima a 5.81°C.

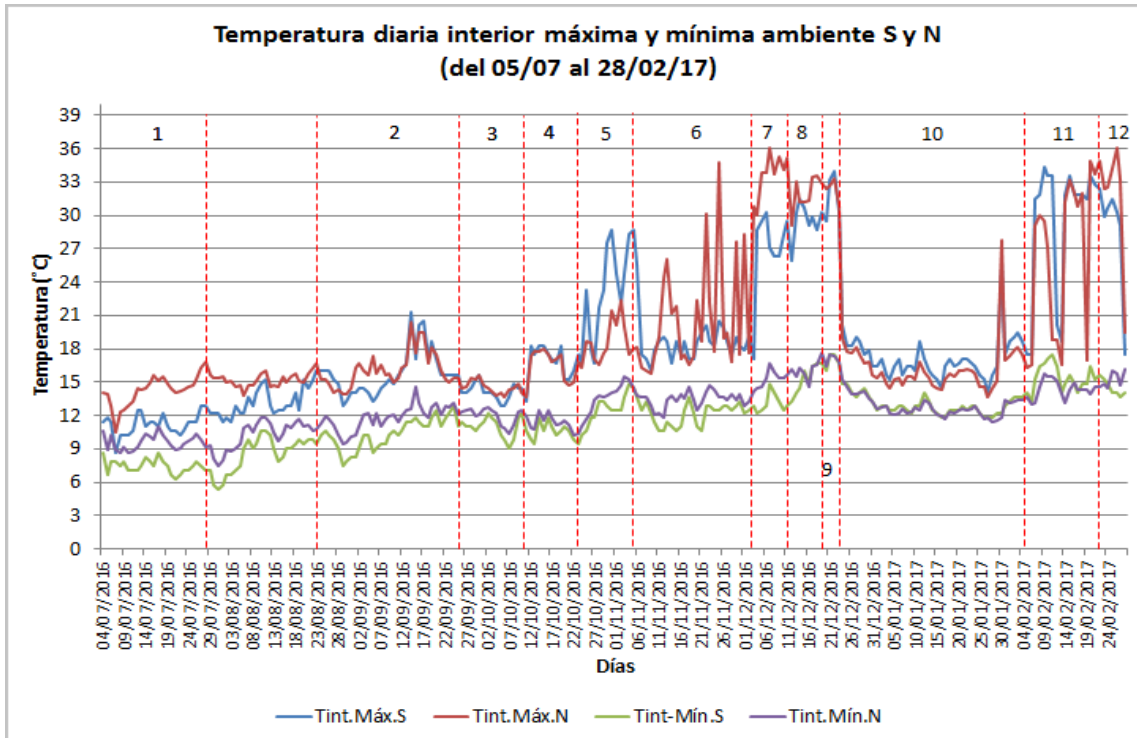


Figura 80. Gráfica de las temperaturas diarias interiores máximas y mínimas para las 12 configuraciones de medidas.

5.3 Oscilaciones de temperaturas medias horarias según configuraciones de medidas

En la configuración 1 la amplitud térmica del aire exterior es de 16°C, y del interior ambiente sur es 3.64°C y norte 4.43°C. La temperatura mínima exterior (-1.17°C) e interior ambiente sur (7.49°C) y norte (9.42°C) se producen a las 6:00am y la máxima exterior a las 2:00pm, las máximas interiores entre las 2:00pm a 4:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 2.67°C en el ambiente sur, y 5.31°C en el ambiente norte.

Configuración 1: del 05/07/16 al 29/07/16			
Temperatura media diaria	Sólo con técnicas de aislamiento (TA)		Exterior
	Amb. Sur	Amb. Norte	
Mín. (°C)	8.39	9.80	3.75
Máx. (°C)	9.97	12.88	7.64
Med. (°C)	9.22	11.86	6.55
Tint-Text. (°C)	2.67	5.31	

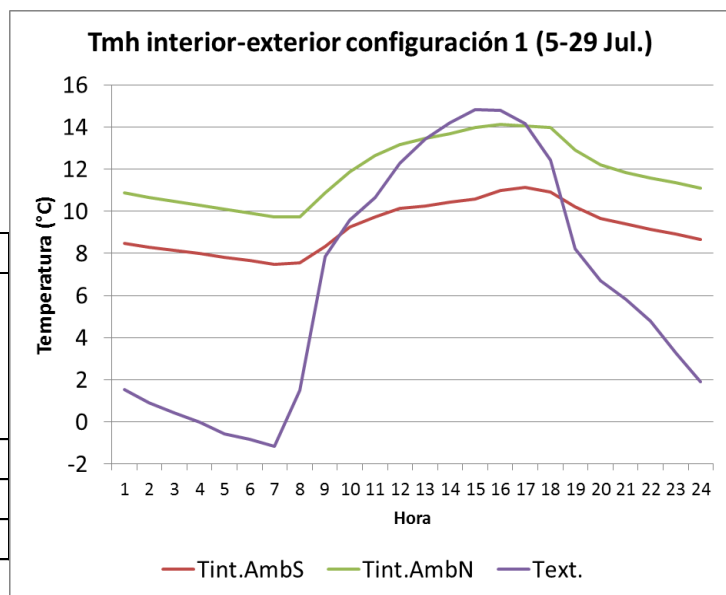


Figura 81. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias diarias máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el exterior, configuración 1. (Der.) Gráfica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 1.

En la configuración 2 la amplitud térmica del aire exterior es de 16.1°C, y del interior

ambiente sur es 4.52°C y norte 3.5°C. La temperatura mínima exterior (0.04°C) e interior ambiente norte (12.09°C) se producen a las 5:00am y en el ambiente sur (10.4°C) a las 6:00am, y la máxima exterior a las 2:00pm, las máximas interiores a las 4:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 4.20°C en el ambiente sur, y 5.34°C en el ambiente norte.

Configuración 2: Del 24/08/16 al 26/09/16			
Temperatura media diaria	TA más sistemas de calefacción (SC)		Exterior
	Amb. Sur	Amb. Norte	
Mín. (°C)	10.07	11.78	6.23
Máx. (°C)	14.87	15.74	10.36
Med. (°C)	12.63	13.77	8.43
Tint-Text. (°C)	4.20	5.34	

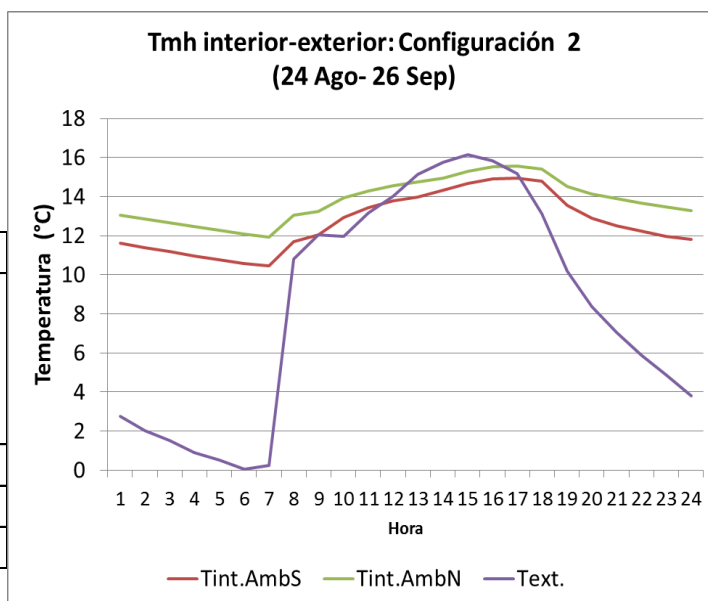


Figura 82. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias diarias máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el exterior, configuración 2. (Der.) Gráfica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 2.

En la configuración 3 la amplitud térmica del aire exterior es de 12.4°C, y del interior ambiente sur es 2.74°C y norte 2.16°C. La temperatura mínima exterior (2.98°C) se producen a las 5:00am, y en el interior ambiente sur (11.1°C) y norte (12.0°C) a las 6:00am; la máxima exterior se produce a las 2:00pm, y las máximas interiores a las 3:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 3.25°C en el ambiente sur, y 4.04°C en el ambiente norte.

Configuración 3: Del 27/09/16 al 11/10/16			
Temperatura media diaria	Ambientes cerrados las 24h y sin SC		Exterior
	Amb. Sur	Amb. Norte	
Mín. (°C)	11.20	12.11	8.16
Máx. (°C)	13.11	13.96	10.17
Med. (°C)	12.37	13.16	9.11
Tint-Text. (°C)	3.25	4.04	

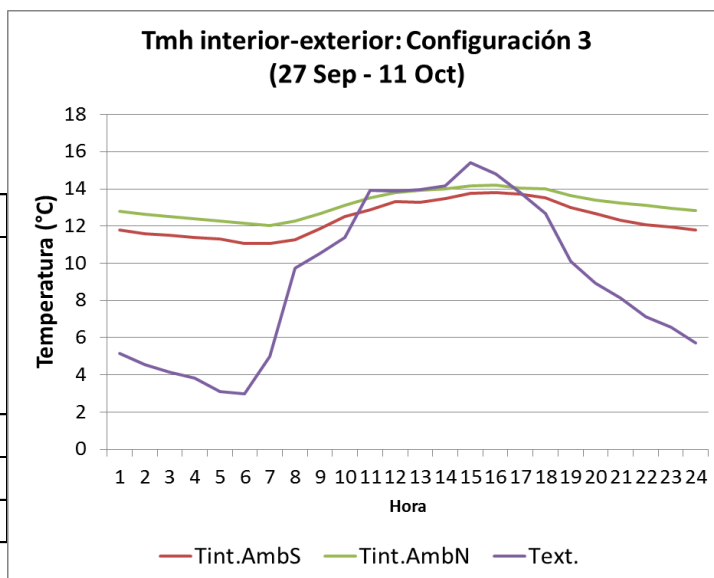


Figura 83. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias diarias máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el exterior, configuración 3. (Der.) Gráfica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 3.

En la configuración 4 la amplitud térmica del aire exterior es de 15.5°C, y del interior ambiente sur es 5.28°C y norte 4.38°C. La temperatura mínima exterior (1.38°C) e interior ambiente sur (10.7°C) y norte (11.5°C) se producen a las 5:00am, la máxima exterior se produce a las 2:00pm, y las máximas interiores ambiente sur y norte a las 4:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 3.71°C en el ambiente sur, y 4.18°C en el ambiente norte.

Configuración 4: Del 12/10/16 al 24/10/16			
Temperatura media diaria	TA sin contraventanas (CV), sin contrapuestas (CP), y sin SC las 24h: Ambiente Sur (S) y Norte (N)		Exterior
	Amb. Sur	Amb. Norte	
Mín. (°C)	11.91	12.41	7.21
Máx. (°C)	14.37	14.75	11.12
Med. (°C)	13.24	13.71	9.53
Tint-Text. (°C)	3.71	4.18	

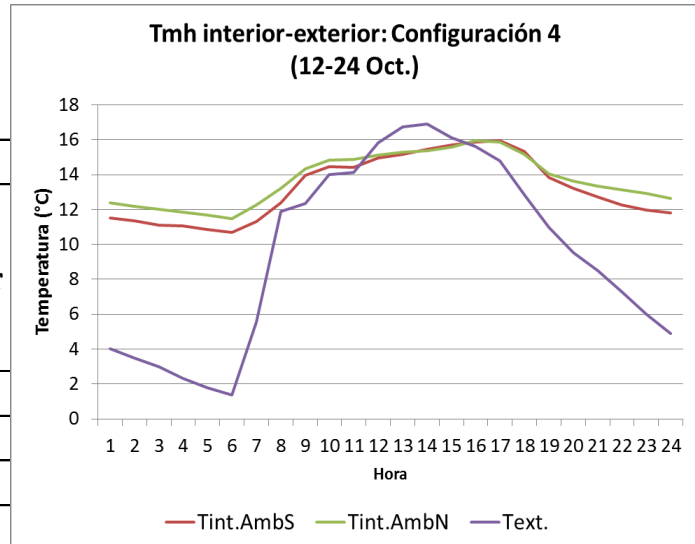


Figura 84. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias diarias máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el exterior, configuración 4. (Der.) Gráfica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 4.

En la configuración 5 la amplitud térmica del aire exterior es de 14.09°C, y del interior ambiente sur es 6.51°C y norte 3.98°C. La temperatura mínima exterior (2.89°C) e interior ambiente sur (13.1°C) se producen a las 5:00am y en el ambiente norte (14.1°C) a las 6:00am, la máxima exterior se produce a las 3:00pm al igual que la máxima interior en el ambiente norte, y la máxima interior ambiente sur a las 6:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 5.84°C en el ambiente sur, y 5.82°C en el ambiente norte.

Configuración 5: Del 25/10/16 al 06/11/16			
Temperatura media diaria	TA con SC ambiente S y N; Ambiente S con cocina a gas (CG)		Exterior
	Amb. Sur	Amb. Norte	
Mín. (°C)	14.15	14.53	8.32
Máx. (°C)	17.31	17.74	11.38
Med. (°C)	16.03	16.01	10.19
Tint-Text. (°C)	5.84	5.82	

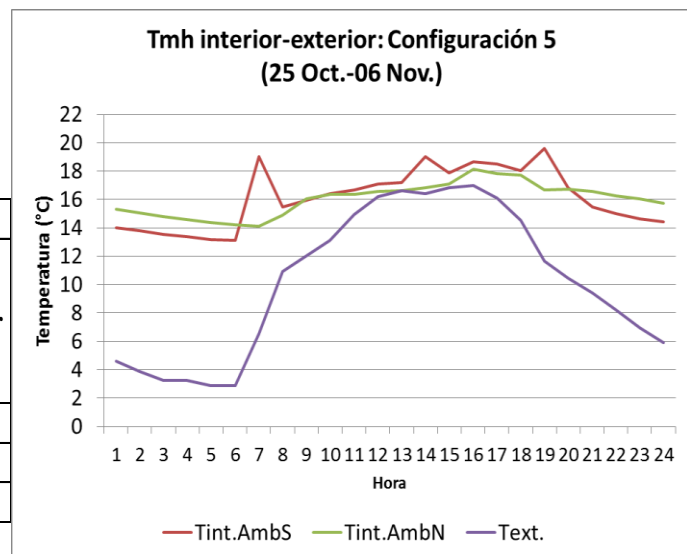


Figura 85. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias diarias, máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el exterior, configuración 5. (Der.) Gráfica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 5.

En la configuración 6 la amplitud térmica del aire exterior es de 17.3°C, y del interior ambiente sur es 5.47°C y norte 3.72°C. La temperatura mínima exterior (0.1°C), mínima interior ambiente sur (12.3°C) y mínima interior ambiente norte (13.7°C), se producen a las 5:00am, la máxima exterior se produce a las 2:00pm y la máxima interior ambiente sur y norte a las 3:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 4.78°C en el ambiente sur, y 5.78°C en el ambiente norte.

Configuración 6: Del 07/11/16 al 04/12/16			
Temperatura media diaria	TA con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas		Exterior
	Amb. Sur	Amb. Norte	
Mín. (°C)	13.63	14.06	8.46
Máx. (°C)	16.16	17.45	11.61
Med. (°C)	14.90	15.90	10.12
Tint-Text. (°C)	4.78	5.78	

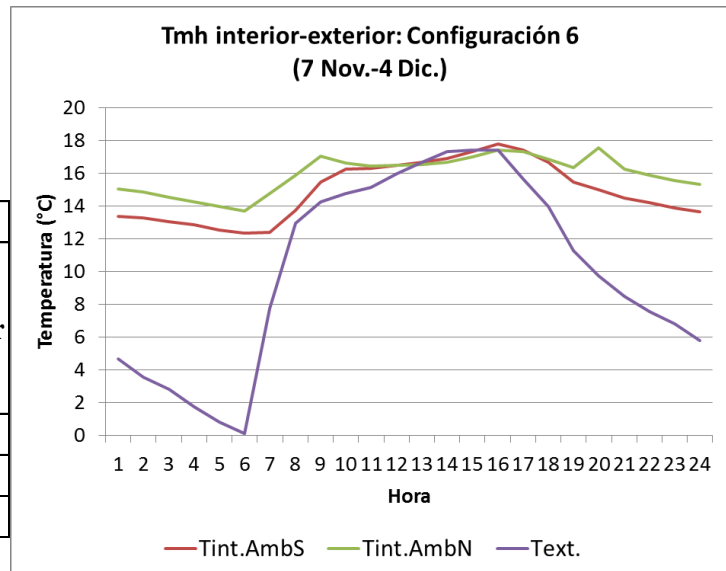


Figura 86. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el exterior, configuración 6. (Der.) Grafica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 6.

En la configuración 7 la amplitud térmica del aire exterior es de 13.3°C, y del interior ambiente sur es 4.77°C y norte 2.59°C. La temperatura mínima exterior (3.41°C), mínima interior ambiente sur (13.7°C) y mínima interior ambiente norte (15.8°C), se producen a las 5:00am, la temperatura máxima exterior se produce a las 2:00pm y la máxima interior ambiente sur y norte a las 3:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 6.52°C en el ambiente sur, y 8.40°C en el ambiente norte.

Configuración 7: Del 05/12/16 al 12/12/16			
Temperatura media diaria	TA con SC y con CG ambiente S y N		Exterior
	Amb. Sur	Amb. Norte	
Mín. (°C)	16.14	17.67	8.39
Máx. (°C)	17.46	19.08	11.42
Med. (°C)	16.70	18.58	10.18
Tint-Text. (°C)	6.52	8.40	

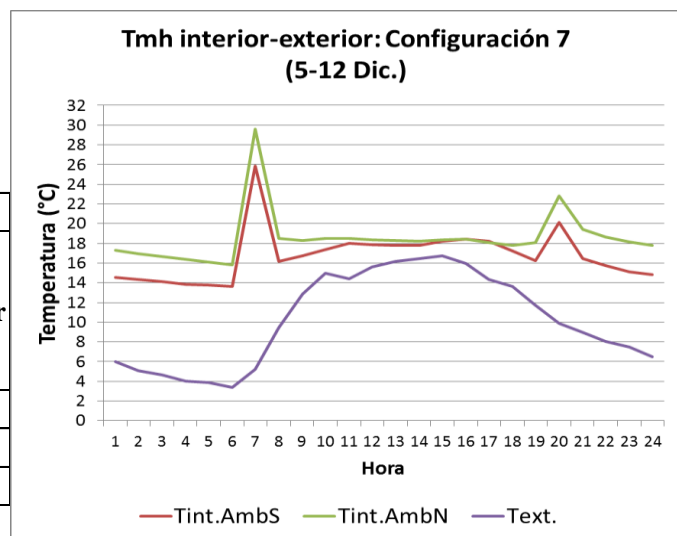


Figura 87. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias diarias máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el exterior, configuración 7. (Der.) Grafica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 7.

En la configuración 8, la amplitud térmica del aire exterior es de 14.2°C, y del interior ambiente sur es 4.62°C y norte 3.09°C. La temperatura mínima exterior (3.25°C), mínima interior ambiente sur (16.0°C) y mínima interior ambiente norte (16.5°C), se producen a las 5:00am, la máxima exterior y máximas interiores en los ambientes sur y norte, se producen a las 3:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 8.30°C en el ambiente sur, y 8.65°C en el ambiente norte.

Configuración 8: Del 13/12/16 al 20/12/16			
Temperatura media diaria	TA con SC y con CG ambiente S y N; Pernoctación (P) ambiente S		Exterior
	Amb. Sur	Amb. Norte	
Mín. (°C)	17.83	17.54	8.24
Máx. (°C)	19.45	20.04	11.65
Med. (°C)	18.80	19.14	10.49
Tint-Text. (°C)	8.30	8.65	

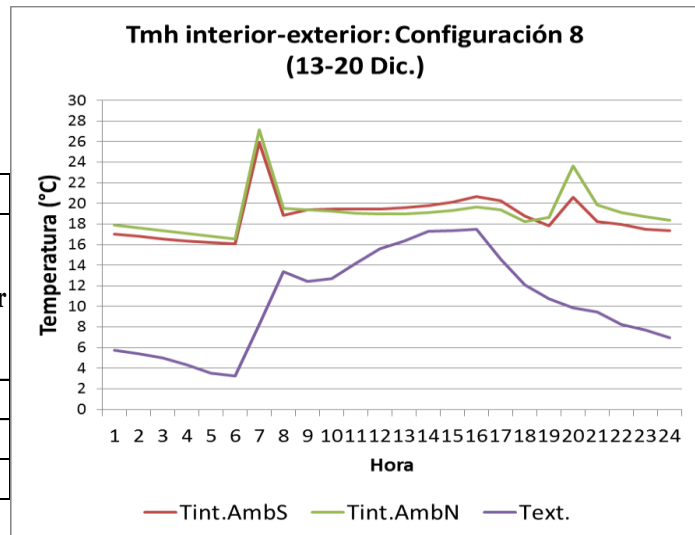


Figura 88. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias diarias máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el ambiente exterior, configuración 8. (Der.) Gráfica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 8.

En la configuración 9, la amplitud térmica del aire exterior es de 11.2°C, y del interior ambiente sur es 3.94°C y norte 2.09°C. La temperatura mínima exterior (5.44°C) se produce a las 4:00am, mínima interior ambiente sur (17.77°C) y norte (17.7°C), se produce a las 5:00am, la temperatura máxima exterior y máxima interior ambiente norte se produce a las 3:00pm, y la máxima interior ambiente sur a las 4:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 9.19°C en el ambiente sur, y 8.81°C en el ambiente norte.

Configuración 9: Del 21/12/16 al 23/12/16			
Temperatura media diaria	TA con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S		Exterior
	Amb. Sur	Amb. Norte	
Mín. (°C)	19.33	19.04	9.28
Máx. (°C)	20.68	20.15	11.97
Med. (°C)	20.02	19.64	10.83
Tint-Text. (°C)	9.19	8.81	

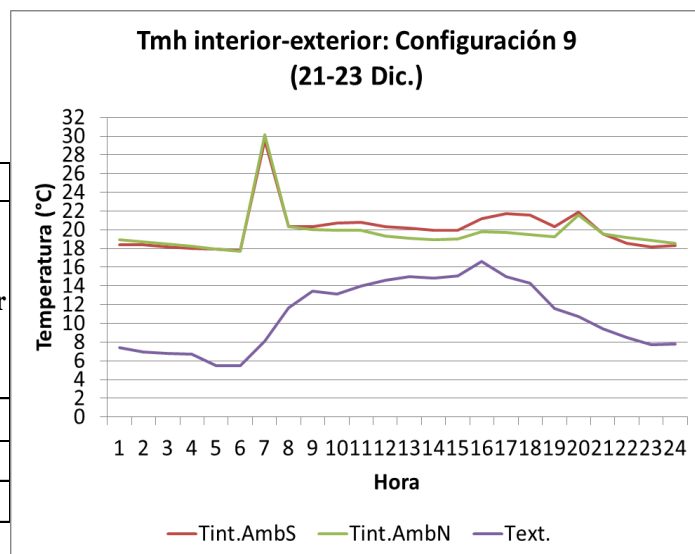


Figura 89. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias diarias máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el exterior, configuración 9. (Der.) Gráfica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 9.

En la configuración 10, la amplitud térmica del aire exterior es de 9.2°C, y del interior ambiente sur es 3.47°C y norte 2.81°C. La temperatura mínima exterior (4.81°C) se produce a las 5:00am, mínima interior ambiente sur (13.1°C) y norte (12.8°C), se produce a las 6:00am, la temperatura máxima exterior se produce a las 3:00pm, y la máxima interior ambiente sur y norte a las 4:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 5.23°C en el ambiente sur, y 4.77°C en el ambiente norte.

Configuración 10: Del 24/12/16 al 06/02/17			
Temperatura media diaria	MEV con TA, sin CV las 24h, sin CG, con ACS y sin P ambiente S y N. Sólo con SC ambiente S		Exterior
	Amb. Sur	Amb. Norte	
Mín. (°C)	12.89	12.48	7.81
Máx. (°C)	17.13	16.80	12.44
Med. (°C)	14.57	14.12	9.35
Tint-Text. (°C)	5.23	4.77	

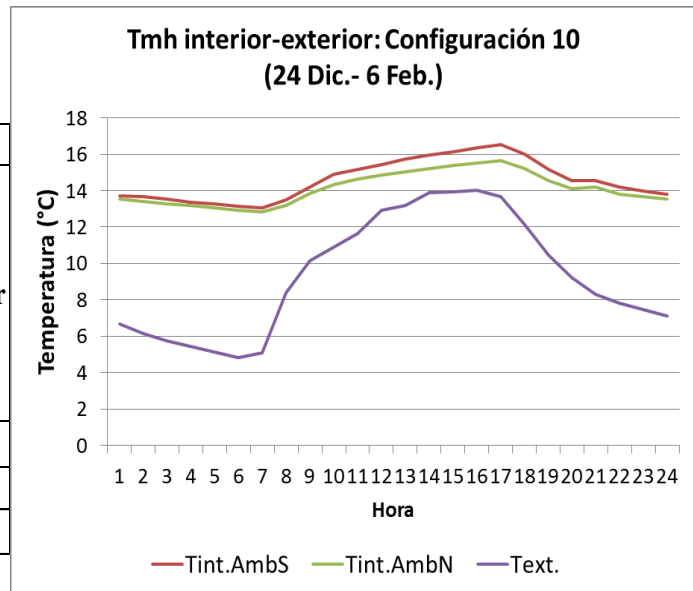


Figura 90. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias diarias máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el exterior, configuración 10. (Der.) Gráfica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 10.

En la configuración 11, la amplitud térmica del aire exterior es de 8.51°C, del interior ambiente sur es 2.08°C y norte 2.05°C. La temperatura mínima exterior (5.19°C) y mínima interior ambiente norte (14.9°C) se produce a las 6:00am, la mínima interior ambiente sur (16.3°C) se produce a las 6:00am, la temperatura máxima exterior se produce a las 2:00pm, y la máxima interior ambiente sur y norte a las 4:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 8.91°C en el ambiente sur, y 7.60°C en el ambiente norte.

Configuración 11: Del 07/02/17 al 23/02/17			
Temperatura media diaria	TA con SC y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S		Exterior
	Amb. Sur	Amb. Norte	
Mín. (°C)	16.72	15.04	7.89
Máx. (°C)	19.81	17.82	10.66
Med. (°C)	17.96	16.66	9.06
Tint-Text. (°C)	8.91	7.60	

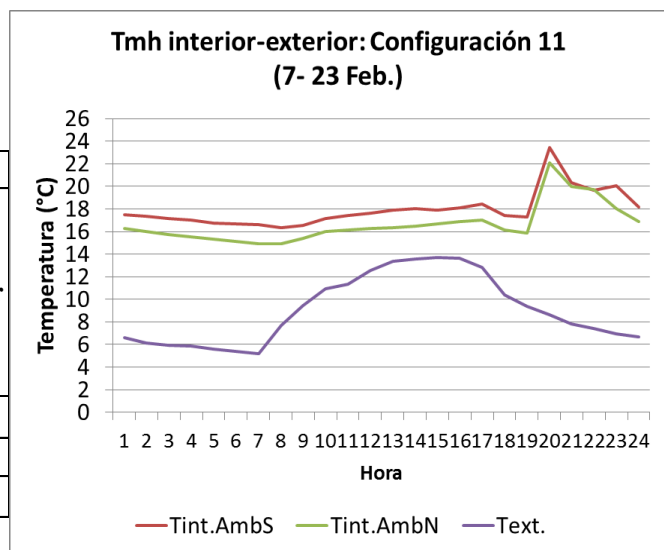


Figura 91. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias diarias máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el exterior, configuración 11. (Der.) Gráfica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 11.

En la configuración 12, la amplitud térmica del aire exterior es de 7.75°C, del interior ambiente sur es 2.29°C y norte 1.23°C. La temperatura mínima exterior (5.08°C) se produce a las 6:00am, y la mínima interior ambiente norte y sur se produce a las 7:00am, la temperatura máxima exterior se produce a las 12:00pm, la máxima interior ambiente sur a las 4:00pm y la máxima interior ambiente norte a las 5:00pm. Con un incremento de temperatura en el interior respecto al exterior de 7.71°C en el ambiente sur, y 9.45°C en el ambiente norte.

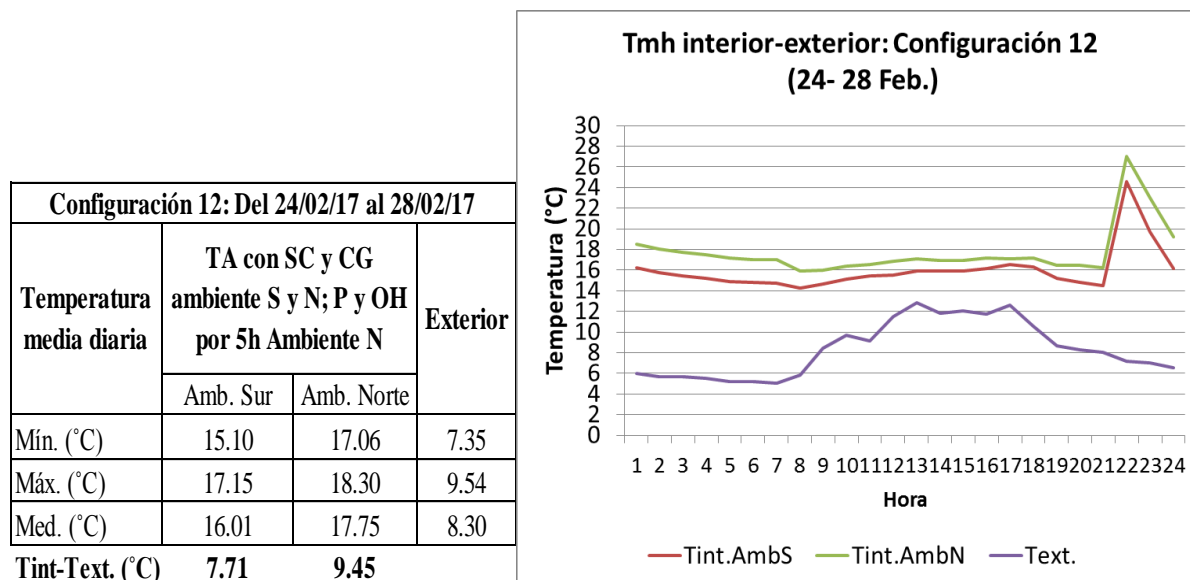


Figura 92. (Izq.) cuadro que representa las temperaturas medias diarias máximas, mínimas y promedio en el ambiente Sur y Norte, y en el exterior, configuración 12. (Der.) Gráfica de la temperatura media horaria (Tmh) de la configuración 12.

A continuación se presenta en resumen los incrementos de temperatura obtenidos por cada configuración de medida.

Tabla 15. Resumen de los incrementos de temperatura según configuraciones de medida.

Configuraciones de medida		Fecha	Incrementos de temperatura (Tint.-Text) (°C)	
			Amb. S	Amb. N
1	MEV Sólo con técnicas arquitectónicas de aislamiento pasivo (TAAP) y manejo de contraventanas (CV).	05-29 Jul.	2.67	5.31
2	MEV con TAAP, manejo de CV y, adición de sistemas de calefacción solar activos (SC).	24Ago-26Sep	4.20	5.34
3	MEV con ambientes cerrados las 24h: con TAAP, sin SC, con CV y contrapuestas (CP).	27Sep-11Oct	3.25	4.04
4	MEV con TAAP, sin CV, sin CP, y sin SC las 24h: Ambiente Sur (S) y Norte (N).	12-24 Oct.	3.71	4.18
5	MEV con TAAP, manejo de CV y con SC ambiente S y N; Ambiente S con cocina a gas (CG).	25Oct-6Nov	5.84	5.82
6	MEV con TAAP, manejo de CV, y con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas.	7Nov-4Dic	4.78	5.78
7	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N.	5-12 Dic.	6.52	8.40

8	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N; Pernoctación (P) ambiente S.	13-20 Dic.	8.30	8.65
9	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S.	21-23 Dic.	9.19	8.81
10	MEV con TAAP, sin CV las 24h, sin CG , con ACS y sin P ambiente S y N. Sólo con SC ambiente S.	24Dic-06Feb	5.23	4.77
11	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC, con ACS y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S.	07-23 Feb.	8.91	7.60
12	MEV con TAAP, manejo de CV, con SC, con ACS y CG ambiente S y N; P y OH por 5h Ambiente N.	24-28 Feb.	7.71	9.45

De la tabla 15 Se puede apreciar como aumentan los incrementos de la temperatura del aire al interior de los ambientes a medida que hay actividad humana, cargas internas y pernoctacion, en el mejor de los casos se alcanza incrementos de temperatura del aire interior respecto al aire exterior de hasta 9.45°C.

5.4 Temperaturas y energía en el sistema muro radiante

Tabla 16. Temperaturas medias diarias de entrada y salida del fluido caloportador en el serpentín, mínimo (Mín.), promedio (Prom.), y máximo (Máx.).

Configuraciones de medida	Fecha	Te (°C)			Ts (°C)			
		Mín.	Prom.	Máx.	Mín.	Prom.	Máx.	
2	MEV con TA más sistemas de calefacción (SC).	24Ago-26Sep	10.49	13.35	15.55	10.27	12.60	14.57
5	MEV con TA, con SC ambiente S y N; Ambiente S con cocina a gas (CG).	25Oct-6Nov	14.43	16.36	17.70	13.82	15.89	17.25
6	MEV con TA, con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas.	7Nov-4Dic	13.70	15.56	17.31	13.60	14.87	16.14
7	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N.	5-12 Dic.	16.41	16.92	17.72	16.02	16.53	17.41
8	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; Pernoctación (P) ambiente S.	13-20 Dic.	17.89	19.00	19.62	17.67	18.66	19.20
9	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S.	21-23 Dic.	19.51	20.42	21.27	19.39	19.87	20.40
10	MEV con TA, sin CV las 24h, sin CG, con ACS y sin P ambiente S y N. Sólo con SC ambiente S.	24Dic-06Feb	13.84	15.52	17.87	12.95	14.57	17.22
11	MEV con TA, con SC, con ACS y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S.	07-23 Feb.	16.57	18.09	20.26	16.56	17.62	19.35
12	MEV con TA, con SC, con ACS y CG ambiente S y N; P y OH por 5h Ambiente N.	24-28 Feb.	15.83	16.65	17.73	15.08	15.89	16.88
Promedio			15.41	16.87	18.34	15.04	16.28	17.60

En la tabla 16 se muestra los valores de temperatura media diaria a la entrada y salida del fluido caloportador en el serpentín. En promedio durante las diversas configuraciones de medida considerando las 24 horas, la temperatura a la entrada alcanza 16.87°C, y a la salida 16.28°C, con un ΔT de 0.59°C.

La tabla 17 muestra la diferencia de temperaturas a la entrada y salida del fluido caloportador en el serpentín durante las horas desde las 8:00am hasta las 5:00pm con un promedio de 1.49°C durante las configuraciones de medida que comprendió el funcionamiento del sistema muro radiante. Este valor es el aporte en temperatura que brinda el sistema muro radiante.

Tabla 17. Promedio diario de la diferencia de temperaturas a la entrada y salida del serpentín desde las 8:00am hasta las 5:00pm.

Configuraciones de medida		Fecha	Te - Ts (°C)		
			Mín.	Prom.	Máx.
2	MEV con TA más sistemas de calefacción (SC).	24Ago-26Sep	0.10	1.73	4.54
5	MEV con TA, con SC ambiente S y N; Ambiente S con cocina a gas (CG).	25Oct-6Nov	0.36	1.35	2.18
6	TA con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas.	7Nov-4Dic	0.12	1.61	3.70
7	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N.	5-12 Dic.	0.40	1.19	1.96
8	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; Pernocación (P) ambiente S.	13-20 Dic.	0.30	1.00	1.96
9	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S.	21-23 Dic.	0.27	1.40	2.19
10	MEV con TA, sin CV las 24h, sin CG, con ACS y sin P ambiente S y N. Sólo con SC ambiente S.	24Dic-06Feb	0.86	2.07	3.53
11	MEV con TA, con SC, con ACS y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S.	07-23 Feb.	0.14	1.22	2.43
12	MEV con TA, con SC, con ACS y CG ambiente S y N; P y OH por 5h Ambiente N.	24-28 Feb.	1.33	1.80	2.36
Promedio			0.43	1.49	2.76

La figura 93 muestra el comportamiento de la media diaria de la temperatura a la entrada y salida del fluido caloportador en el serpentín.

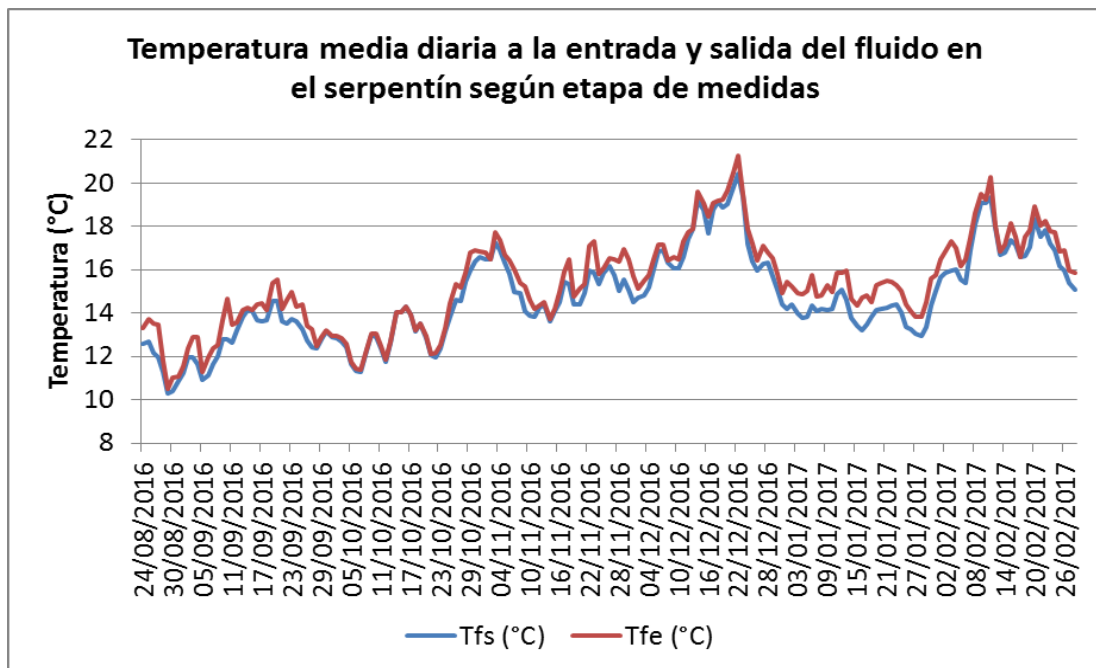


Figura 93. Gráfica de la temperatura media diaria a la entrada y salida del serpentín según etapa de medida.

La figura 94 grafica el comportamiento de la temperatura máxima a la entrada ($T_{m\acute{a}x.Ent.}$) y salida ($T_{m\acute{a}x.Sal.}$), y mínima a la entrada ($T_{m\acute{i}n.Ent.}$) y salida ($T_{m\acute{i}n.Sal.}$) diaria. Con una temperatura media diaria de: $T_{m\acute{a}x.Sal.}$ 27.78°C, $T_{m\acute{i}n.Sal.}$ 8.32°C, $T_{m\acute{a}x.Ent.}$ 35.10°C, y $T_{m\acute{i}n.Ent.}$ 8.30°C.

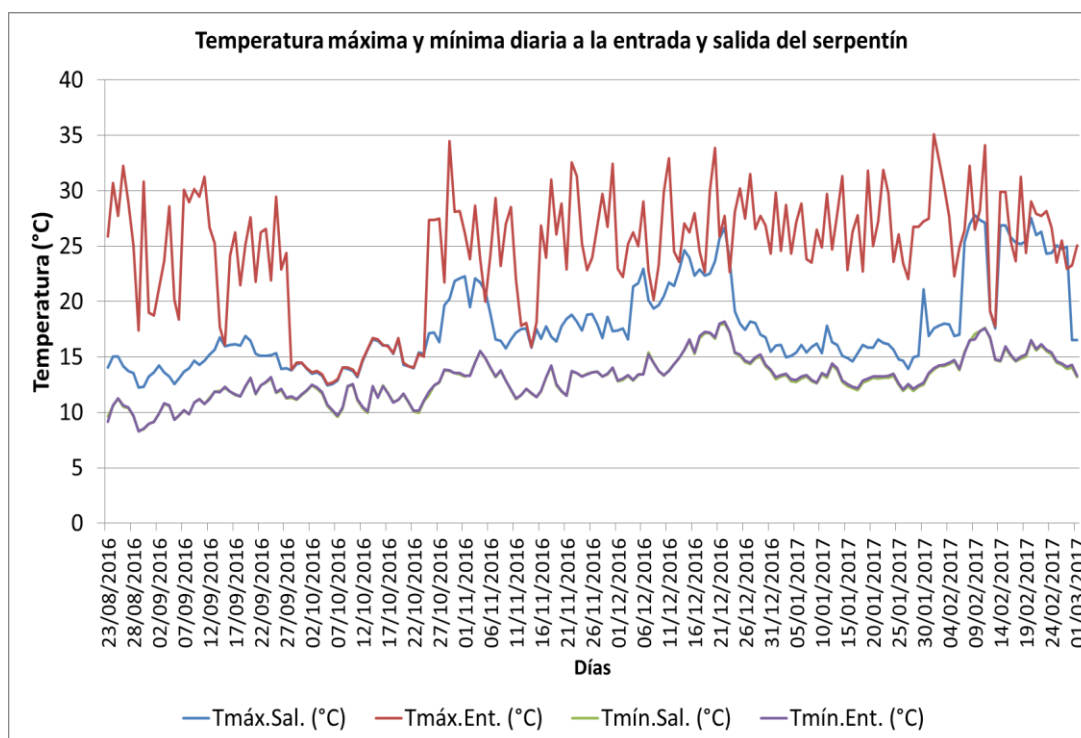


Figura 94. Gráfica de temperatura diaria máxima y mínima a la entrada y salida del serpentín.

La energía que aporta el sistema muro radiante se calcula considerando la temperatura del fluido caloportador a la entrada y salida del serpentín. Para ello se utiliza la siguiente relación:

$$Q_s = P \cdot C_p \cdot (T_e - T_s) \cdot t \quad (20)$$

Dónde:

Q_s : Calor de transferencia del serpentín (kJ)

P : Caudal del fluido caloportador, agua (85%) más glicol (15%).

C_p : Calor específico de la mezcla (kJ/kgK)

T_e : Temperatura de la mezcla a la entrada del serpentín (°C)

T_s : Temperatura de la mezcla a la salida del serpentín (°C)

t : Tiempo de intervalo de medida (s)

Considerando para el cálculo los valores de temperatura desde las 8:00am hasta las 5:00pm se presenta como ejemplo el cálculo para el día 27/08/16.

Tabla 18. Datos para el cálculo del aporte energético del fluido caloportador en el serpentín.

Fecha	Tiempo	Ts (°C)	Te (°C)	Te-Ts (°C)	Qs (kWh)
27/08/2016	08:00	11.42	11.54	0.12	0.01
27/08/2016	08:30	11.93	12.03	0.10	0.01
27/08/2016	09:00	12.36	12.46	0.10	0.01
27/08/2016	09:30	12.27	28.94	16.67	0.91
27/08/2016	10:00	12.80	14.05	1.25	0.07
27/08/2016	10:30	13.06	17.03	3.97	0.22
27/08/2016	11:00	13.16	17.63	4.47	0.24
27/08/2016	11:30	13.21	15.25	2.04	0.11
27/08/2016	12:00	12.99	13.67	0.67	0.04
27/08/2016	12:30	12.87	13.21	0.34	0.02
27/08/2016	13:00	13.02	24.75	11.73	0.64
27/08/2016	13:30	13.47	17.44	3.97	0.22
27/08/2016	14:00	13.57	15.84	2.27	0.12
27/08/2016	14:30	13.38	13.83	0.46	0.03
27/08/2016	15:00	13.26	28.59	15.34	0.84
27/08/2016	15:30	13.71	18.15	4.44	0.24
27/08/2016	16:00	13.45	14.98	1.54	0.08
27/08/2016	16:30	13.11	13.64	0.53	0.03
27/08/2016	17:00	12.22	12.44	0.22	0.01
				3.70	3.85

Con el concepto de cálculo según la ecuación 20 y ejemplo según la tabla 18, se obtiene como resultado la tabla 19 para las diferentes configuraciones de medida que consideraron el funcionamiento del sistema muro radiante.

Tabla 19. Energía aportada por el sistema de calefacción muro radiante.

Configuraciones de medida		Fecha	Energía (kWh)		
			Mín.	Prom.	Máx.
2	MEV con TA más sistemas de calefacción (SC).	24Ago-26Sep	0.12	1.90	4.93
5	MEV con TA, con SC ambiente S y N; Ambiente S con cocina a gas (CG).	25Oct-6Nov	0.10	1.26	2.18
6	TA con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas.	7Nov-4Dic	0.17	1.75	3.87
7	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N.	5-12 Dic.	0.29	1.11	2.07
8	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; Pernoctación (P) ambiente S.	13-20 Dic.	0.17	0.93	2.10
9	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S.	21-23 Dic.	0.19	1.40	2.29
10	MEV con TA, sin CV las 24h, sin CG, con ACS y sin P ambiente S y N. Sólo con SC ambiente S.	24Dic-06Feb	1.01	2.31	3.76
11	MEV con TA, con SC, con ACS y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S.	07-23 Feb.	0.18	1.34	2.52
12	MEV con TA, con SC, con ACS y CG ambiente S y N; P y OH por 5h Ambiente N.	24-28 Feb.	1.62	2.04	2.55
Promedio			0.43	1.56	2.92

De la tabla 19 el aporte energético del sistema de calefacción muro radiante en promedio durante todas las configuraciones que comprendieron su funcionamiento es de 1.56 kWh/día, con un máximo de 2.92 kWh/día, y mínimo de 0.43 kWh/día.

La figura 95 grafica el comportamiento del fluido caloportador en el serpentín para dos días de toma de datos de las temperaturas máximas y mínimas diarias a la entrada y salida del serpentín.

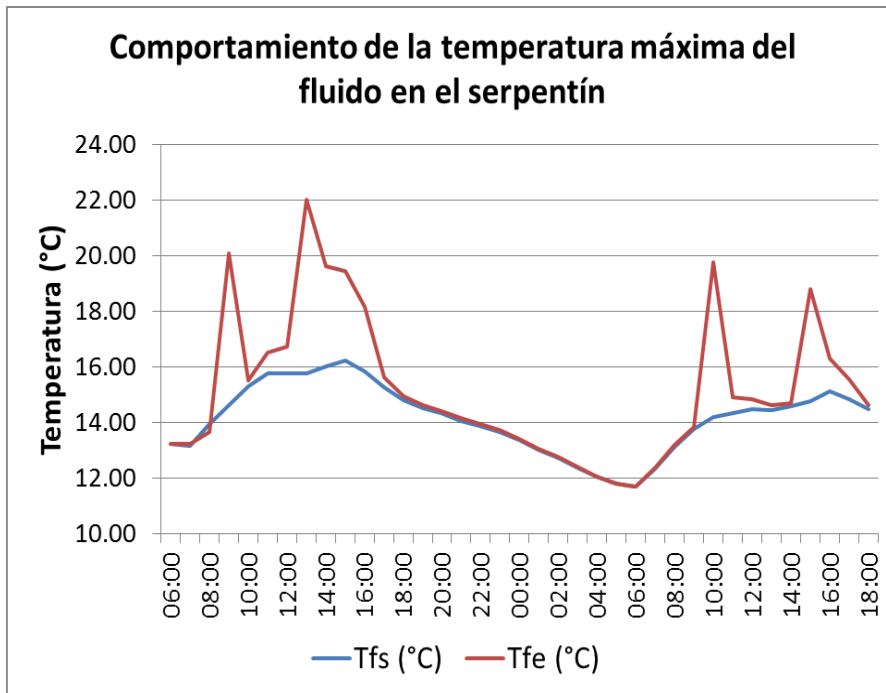


Figura 95. Comportamiento de la temperatura del fluido caloportador para dos días de medida.

5.5 Temperaturas y energía en el tubo radiante

La figura 96 grafica el comportamiento de la temperatura media diaria del agua al interior del tubo y en su superficie. La tabla 20 muestra los valores medios diarios de la diferencia de temperatura entre el agua en el tubo y su superficie exterior, siendo el promedio diario de temperatura durante las configuraciones que comprendió el funcionamiento del sistema tubo radiante 2.58°C , temperatura que aporta dicho sistema al ambiente norte.

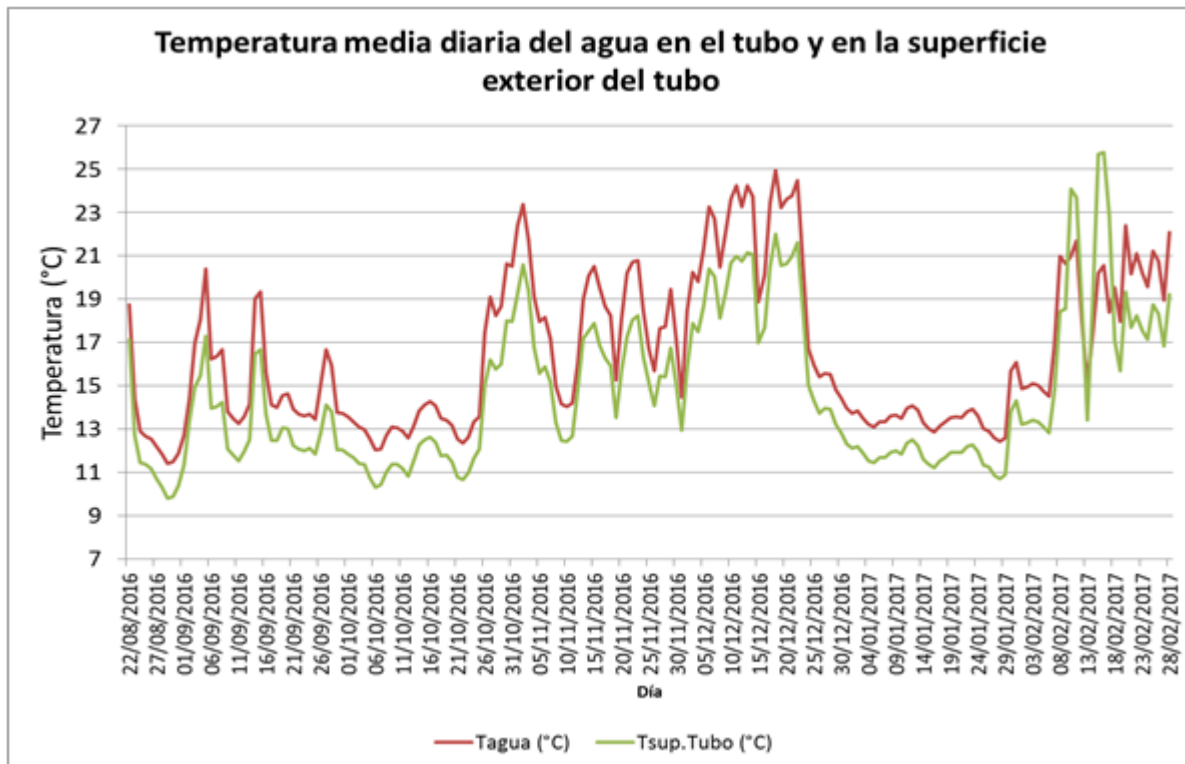


Figura 96. Comportamiento de la temperatura del agua al interior del tubo y en su superficie.

Tabla 20. Temperatura media diaria de la diferencia de temperatura del agua en el tubo y en la superficie exterior del tubo. Mínima, máxima y promedio.

Configuraciones de medida		Fecha	Tagua - Tsup.Tubo (°C)		
			Mín.	Prom.	Máx.
2	MEV con TA más sistemas de calefacción (SC).	24Ago-26Sep	2.05	2.46	3.07
5	MEV con TA, con SC ambiente S y N; Ambiente S con cocina a gas (CG).	25Oct-6Nov	2.28	2.58	3.13
6	TA con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas.	7Nov-4Dic	2.00	2.44	2.93
7	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N.	5-12 Dic.	2.38	2.76	3.23
8	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; Pernoctación (P) ambiente S.	13-20 Dic.	2.40	2.82	3.07
9	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S.	21-23 Dic.	2.14	2.59	2.84
11	MEV con TA, con SC, con ACS y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S.	07-23 Feb.	2.06	2.50	3.04
12	MEV con TA, con SC, con ACS y CG ambiente S y N; P y OH por 5h Ambiente N.	24-28 Feb.	2.12	2.47	2.86
Promedio			2.18	2.58	3.02

La energía que aporta el agua de este sistema se calcula con la siguiente relación:

$$Q = C_p \cdot M \cdot (T_{18} - T_6) \quad (21)$$

Donde:

Q: Calor transferido por el agua en el tubo radiante al ambiente norte (kJ)

C_p: Calor específico del agua (kJ/kgK)

M: Masa total del agua contenida en el tubo radiante (kg)

T₁₈: Temperatura del agua en el tubo radiante a las 18:00pm del día actual (°C)

T₆: Temperatura del agua en el tubo radiante a las 6:00am del día siguiente (°C)

Utilizando la ecuación 21 se obtienen los aportes energéticos proporcionados por el tubo radiante tal como se aprecia en la tabla 22 que se ha considerado como ejemplo el cálculo para dos fechas cualesquiera del conjunto de datos que comprende el uso del sistema de calefacción muro radiante.

Tabla 21. Ejemplo de cálculo de la energía que aporta el agua en el tubo radiante.

Fecha	Tiempo	Tagua (°C)	Fecha	Tiempo	Tagua (°C)
26/10/2016	18:00	34.43	29/10/2016	18:00	30.31
26/10/2016	18:30	33.17	29/10/2016	18:30	29.9
26/10/2016	19:00	31.52	29/10/2016	19:00	29.1
26/10/2016	19:30	29.9	29/10/2016	19:30	27.52
26/10/2016	20:00	28.7	29/10/2016	20:00	26.73
26/10/2016	20:30	27.12	29/10/2016	20:30	25.56
26/10/2016	21:00	25.95	29/10/2016	21:00	24.79
26/10/2016	21:30	25.17	29/10/2016	21:30	24.01
26/10/2016	22:00	24.4	29/10/2016	22:00	23.24
26/10/2016	22:30	23.24	29/10/2016	22:30	22.86
26/10/2016	23:00	22.48	29/10/2016	23:00	22.09
26/10/2016	23:30	22.09	29/10/2016	23:30	21.71
27/10/2016	00:00	21.33	30/10/2016	00:00	20.95
27/10/2016	00:30	20.57	30/10/2016	00:30	20.57
27/10/2016	01:00	20.19	30/10/2016	01:00	20.19
27/10/2016	01:30	19.81	30/10/2016	01:30	19.81
27/10/2016	02:00	19.04	30/10/2016	02:00	19.04
27/10/2016	02:30	18.66	30/10/2016	02:30	18.66
27/10/2016	03:00	18.28	30/10/2016	03:00	18.28
27/10/2016	03:30	17.9	30/10/2016	03:30	17.9
27/10/2016	04:00	17.52	30/10/2016	04:00	17.9
27/10/2016	04:30	17.52	30/10/2016	04:30	17.52
27/10/2016	05:00	17.14	30/10/2016	05:00	17.14
27/10/2016	05:30	16.76	30/10/2016	05:30	17.14
27/10/2016	06:00	16.38	30/10/2016	06:00	14.85
	Q(kWh)	1.37		Q(kWh)	1.17

La tabla 22 muestra los aportes energéticos del sistema de calefacción tubo radiante para las configuraciones de medida donde funcionó dicho sistema, en promedio se puede decir que dicho sistema aporta 1.21kWh al interior del ambiente norte, con un máximo promedio de 1.71kWh y mínimo promedio de 0.62kWh.

Tabla 22. Aporte energético del tubo radiante según configuraciones de medida.

Configuraciones de medida		Fecha	Energía (kWh)		
			Mín.	Prom.	Máx.
2	MEV con TA más sistemas de calefacción (SC).	24Ago-26Sep	0.64	1.20	1.91
5	MEV con TA, con SC ambiente S y N; Ambiente S con cocina a gas (CG).	25Oct-6Nov	0.76	1.41	2.19
6	TA con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas.	7Nov-4Dic	0.35	1.15	1.55
7	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N.	5-12 Dic.	0.53	1.22	1.74
8	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; Pernoctación (P) ambiente S.	13-20 Dic.	0.68	1.26	1.67
9	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S.	21-23 Dic.	1.15	1.39	1.62
11	MEV con TA, con SC, con ACS y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S.	07-23 Feb.	0.46	1.21	1.88
12	MEV con TA, con SC, con ACS y CG ambiente S y N; P y OH por 5h Ambiente N.	24-28 Feb.	0.41	0.88	1.15

Promedio 0.62 1.21 1.71

La figura 97 grafica el comportamiento de las temperaturas diarias máximas (a las 6:00p.m.) y mínimas del agua (6:00a.m. del día siguiente) al interior del tubo radiante, con una temperatura máxima diaria en el agua ($T_{m\acute{a}x.Agua}$) de $44.89^{\circ}C$ (y temperatura máxima en la superficie exterior del tubo de $37^{\circ}C$), y temperatura mínima en el agua ($T_{m\acute{i}n.Agua}$) de $9.42^{\circ}C$ (con una temperatura mínima en la superficie del tubo de $7.83^{\circ}C$).

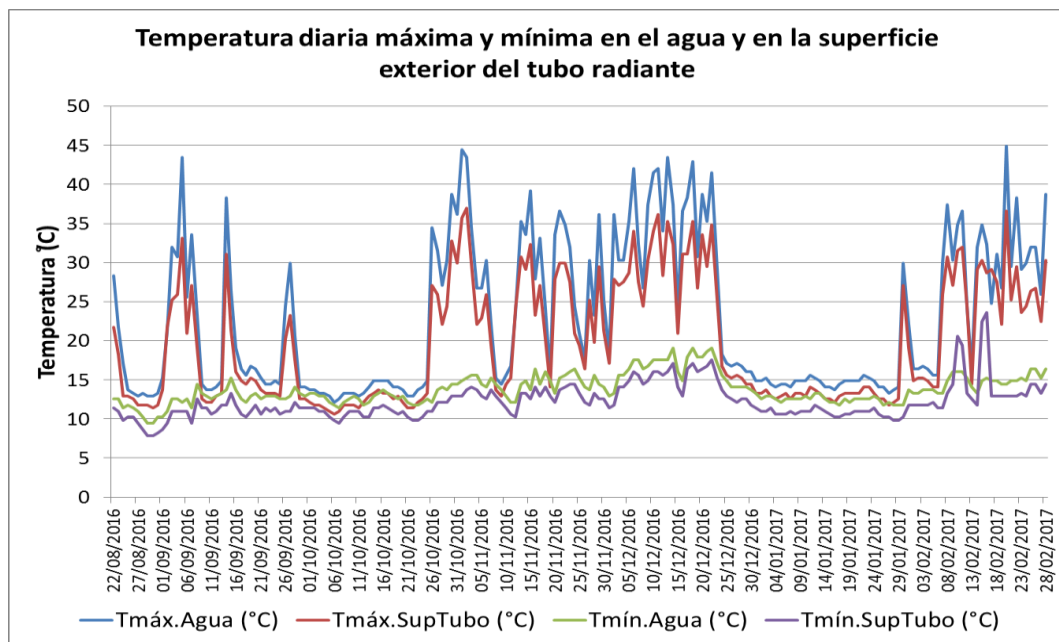


Figura 97. Comportamiento de las temperaturas diarias máxima y mínima en el agua y superficie exterior del tubo radiante.

5.6 Temperaturas piso – interior – techo (cielo raso): Estratificación

Para el análisis de la estratificación de la temperatura del aire en los ambientes interiores del MEV, se realizaron mediciones sobre una misma línea vertical en, el centro del área superficial del piso, el centro del volumen de los ambientes y, en el centro del área superficial del interior del cielo raso. Entre punto de medidas hay un espacio de 1.10m sobre la vertical.

En la figura 98 se aprecia el comportamiento de las temperaturas medias diarias (Tmd) en el piso, ambiente interior y techo, para alturas en el mismo orden de 0.0m, 1.10m y 2.20m.

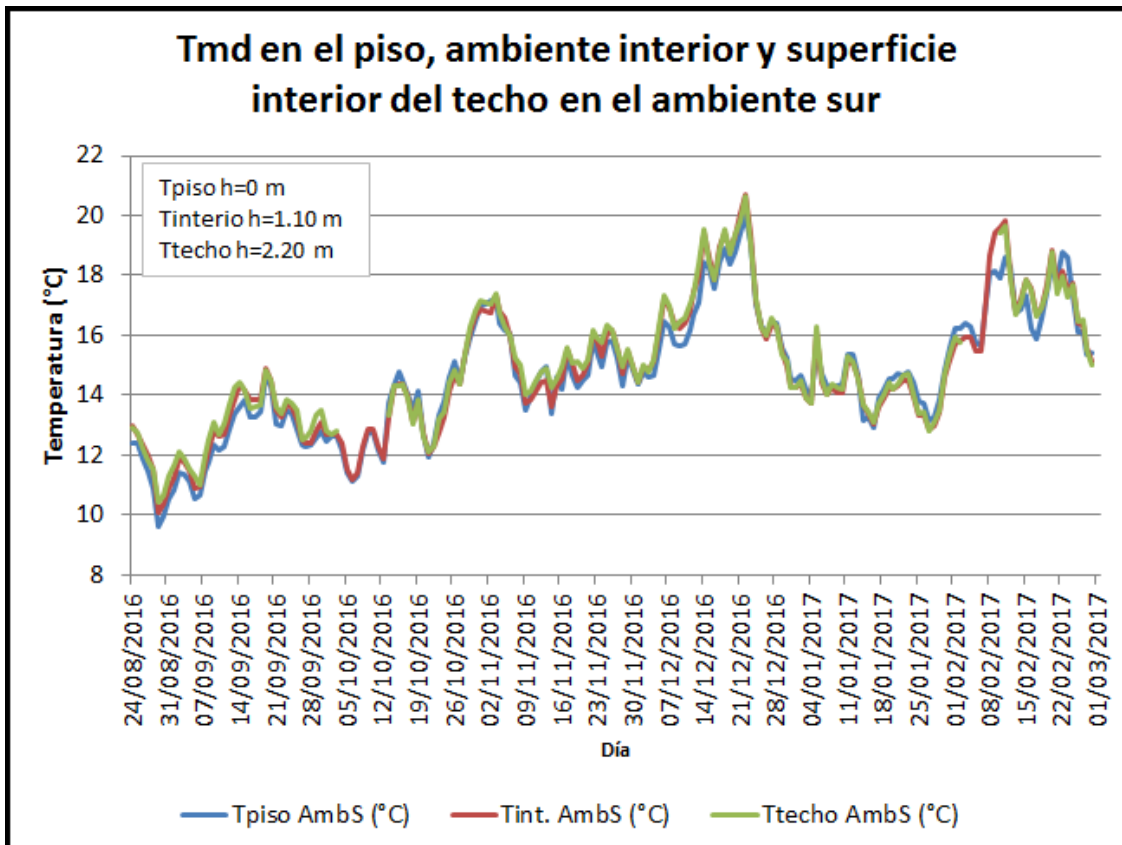


Figura 98. Comportamiento de las temperaturas medias diarias (Tmd) en el ambiente Sur, piso, interior, y techo.

La tabla 23 muestra los promedios de temperaturas medias diarias durante todas las configuraciones de medidas resultando, la Tmd en el piso de 15.54°C, en el interior 15.78°C y en el techo 15.86°C.

Tabla 23. Temperaturas medias diarias en el ambiente Sur, piso, interior y techo.

Configuraciones de medida		Fecha	Temperatura Amb. Sur (°C)		
			Piso	Interior	Techo
1	MEV sólo con técnicas de aislamiento (TA).	05-29 Jul.	No se registraron datos		
2	MEV con TA más sistemas de calefacción (SC).	24Ago-26Sep	12.24	12.63	12.76
3	MEV con ambientes cerrados las 24h y sin SC.	27Sep-11Oct	12.25	12.37	12.94
4	MEV con TA, sin contraventanas (CV), sin contrapuertas (CP), y sin SC las 24h: Ambiente Sur (S) y Norte (N).	12-24 Oct.	13.46	13.24	13.40
5	MEV con TA, con SC ambiente S y N; Ambiente S con cocina a gas (CG).	25Oct-6Nov	16.08	16.03	16.14
6	MEV con TA, con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas.	7Nov-4Dic	14.72	14.90	15.11
7	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N.	5-12 Dic.	16.02	16.70	16.79
8	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; Pernoctación (P) ambiente S.	13-20 Dic.	18.23	18.80	18.84
9	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S.	21-23 Dic.	19.51	20.02	19.85
10	MEV con TA, sin CV las 24h, sin CG, con ACS y sin P ambiente S y N. Sólo con SC ambiente S.	24Dic-06Feb	14.84	14.63	14.60
11	MEV con TA, con SC, con ACS y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S.	07-23 Feb.	17.59	17.98	17.76
12	MEV con TA, con SC, con ACS y CG ambiente S y N; P y OH por 5h Ambiente N.	24-28 Feb.	16.05	16.23	16.25
Promedio (°C)			15.54	15.78	15.86

Para el ambiente norte, los datos se registraron a partir de la configuración 6. La figura 99 representa el comportamiento de las temperaturas medias diarias (Tmd) en piso, interior y techo. De la tabla 24, la Tmd para el piso es 17.01°C, el interior 17.37°C y techo 17.44°C.

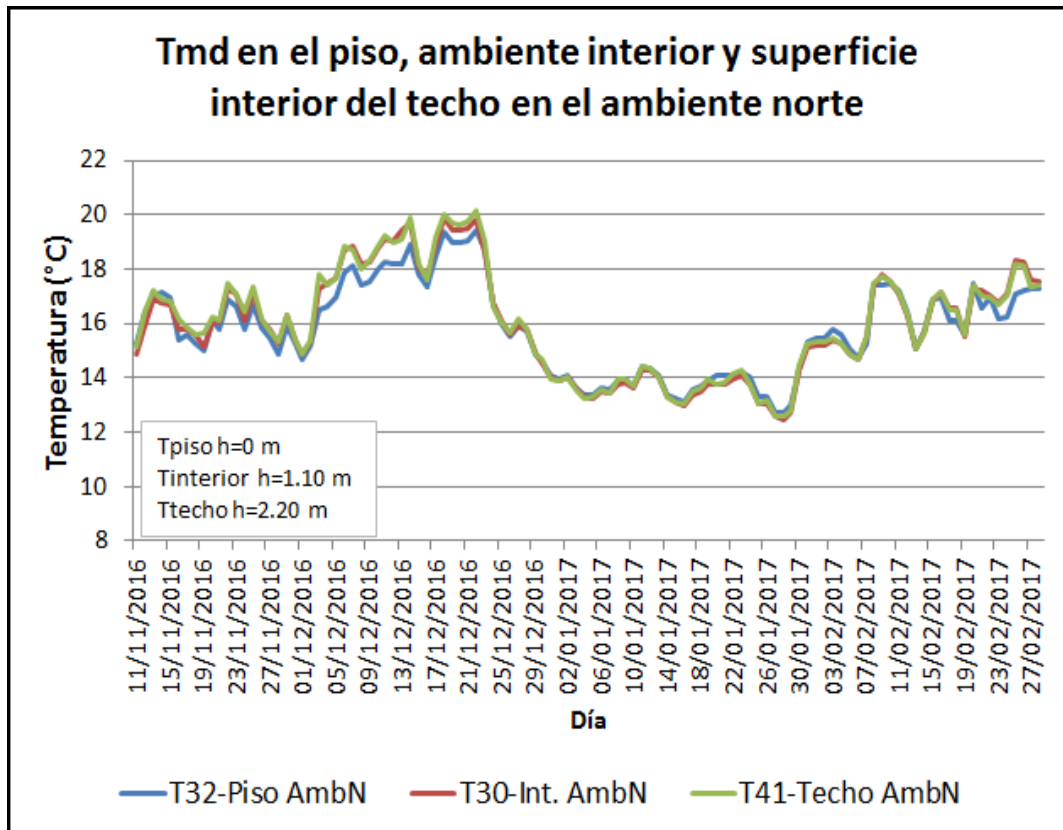


Figura 99. Comportamiento de las temperaturas medias diarias (Tmd) en el ambiente Norte, piso, ambiente interior y techo.

Tabla 24. Temperaturas medias diarias en el ambiente Norte, piso, ambiente interior y cielo raso.

Configuraciones de medida		Fecha	Temperatura Amb. N (°C)		
			Piso	Interior	Techo
6	MEV con TA, con SC ambiente S y N; Ambiente N con cocinas a gas.	7Nov-4Dic	15.93	16.11	16.28
7	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N.	5-12 Dic.	17.80	18.57	18.58
8	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; Pernoctación (P) ambiente S.	13-20 Dic.	18.50	19.06	19.15
9	MEV con TA, con SC y con CG ambiente S y N; P y aislamiento del colector solar (ACS) ambiente S.	21-23 Dic.	19.06	19.33	19.64
10	MEV con TA, sin CV las 24h, sin CG, con ACS y sin P ambiente S y N. Sólo con SC ambiente S.	24Dic-06Feb	14.25	14.12	14.18
11	MEV con TA, con SC, con ACS y con CG ambiente S y N; P y ocupación humana (OH) por 5h Ambiente S.	07-23 Feb.	16.51	16.66	16.65
12	MEV con TA, con SC, con ACS y CG ambiente S y N; P y OH por 5h Ambiente N.	24-28 Feb.	17.02	17.75	17.62
Promedio (°C)			17.01	17.37	17.44

De la figura 98 y 99, se aprecia que a diferentes alturas, las oscilaciones de temperatura son similares. A mayor altura (techo), la temperatura es ligeramente mayor que el resto. El hecho de que las temperaturas interiores sobre una misma línea vertical sean similares, va a implicar que para un modelo de simulación térmica, la aproximación de considerar una sola temperatura interior, puede ser aceptable.

5.7 Transmitancia térmica del MEV según norma EM.110

De acuerdo a la norma EM.110 Confort térmico y Lumínico con Eficiencia Energética en la cual hace referencia a cumplir ciertos valores límites de transmitancia térmica en elementos constructivos de nuevas construcciones como en muro, techo y piso, para 9 zonas bioclimáticas, se ha previsto calcular dicho parámetro físico en el MEV para verificar si sus elementos constructivos de acuerdo a los materiales utilizados en su construcción, cumplen o no con la norma, de no ser el caso, se sugerirá el o los material más idóneos considerando como primordial el costo de la misma y su accesibilidad en el mercado local.

Tabla 25. Valores límites máximos de transmitancia térmica (U) en $W/m^2\text{°C}$. (Norma EM.110, 2014).

Zona Bioclimática	Transmitancia térmica máxima del muro (U_{muro})	Transmitancia térmica máxima del techo (U_{techo})	Transmitancia térmica máxima del piso (U_{piso})
1.Desértico marino	2.36	2.21	2.63
2.Desértico	3.20	2.20	2.63
3.Interandino bajo	2.36	2.21	2.63
4.Mesoandino	2.36	2.21	2.63
5.Altoandino	1.00	0.83	3.26
6.Nevado	0.99	0.80	3.26
7.Ceja de montaña	2.36	2.20	2.63
8.Subtropical húmedo	3.60	2.20	2.63
9.Tropical húmedo	3.60	2.20	2.63

5.7.1 Transmitancia térmica máxima del muro del MEV (U_{muro}) –zona alto andina

El muro del MEV está constituido del exterior al interior por, tarrajeo con barro de espesor 0.02m, la junta de barro de 0.40m espesor para asentar los adobes y, el adobe de espesor de 0.40m. Para el cálculo de la transmitancia térmica de este elemento constructivo, se representa gráficamente las resistencias térmicas en serie y paralelo (ver figura 100), y se calcula la resistencia equivalente (R_{eq}), donde su inversa, es la transmitancia térmica (U).

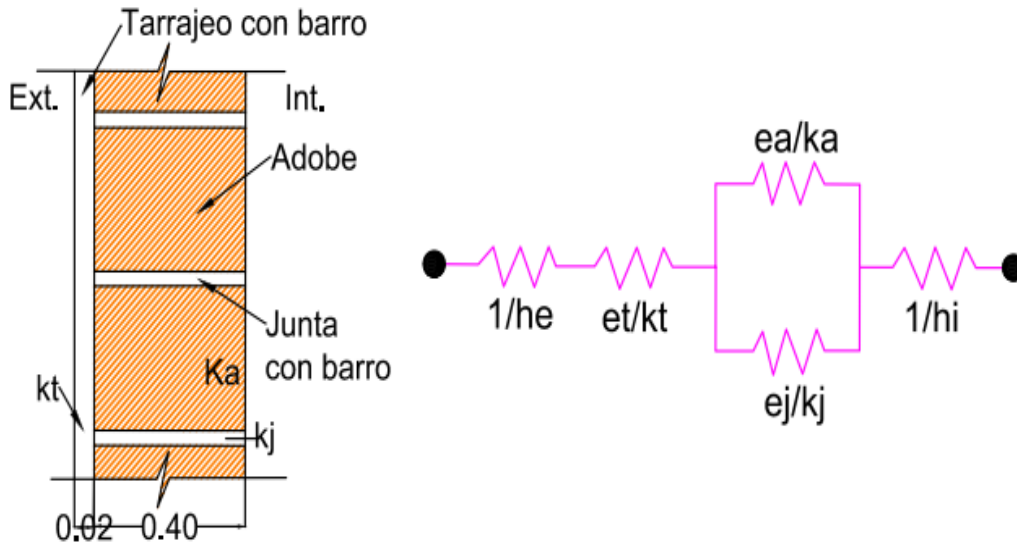


Figura 100. (Izq.) esquema de la composición del muro del MEV; (Der.) representación del circuito térmico del muro del MEV.

Donde, el interior y exterior se representan por Ext. e Int.; k_t , k_a , k_j es la conductividad térmica del tarrajeo con barro, del adobe, y de la junta de barro ($W/m^{\circ}C$); $1/h_i$ y $1/h_e$ son la resistencia térmica superficiales interior y exterior ($m^2^{\circ}C/W$). Los valores de estas propiedades térmicas, han sido tomados de la norma técnica EM.100.

De la representación del circuito térmico de muro del MEV la resistencia equivalente es:

$$R_{eq.} = \frac{1}{h_e} + \frac{e_t}{k_t} + \frac{e_a \times e_j}{e_a \times k_j + e_j \times k_a} + \frac{1}{h_i} = 0.41 \frac{m^2^{\circ}C}{W}$$

$$U = \frac{1}{R_{eq}} = 2.41 \frac{W}{m^2^{\circ}C}$$

$1/h_i + 1/h_e = 0.17$ se ha considerado de la norma técnica EM.110

Tabla 26. Transmitancia térmica del muro del MEV.

Materiales	e (m)	k ($W/m^{\circ}C$)	e/k ($m^2^{\circ}C/W$)	U ($W/m^2^{\circ}C$)
Tarrajeo con barro	0.02	0.9	0.022	
Adobe 40x40x10	0.4	0.9	0.444	
Junta de barro	0.4	0.9	0.444	
$1/h_i + 1/h_e$			0.17	2.41

El valor de U ($W/m^2^{\circ}C$) para el muro del MEV no cumple con la norma técnica EM.110 lo que resulta en un pobre aislamiento térmico de este elemento constructivo. El aislamiento térmico se mejora si se tarrajea por el exterior e interior con una capa de barro de 0.025m de espesor la cual da como resultado $U=2.23W/m^2^{\circ}C$. Que para la zona bioclimática Mesoandina es viable dicha composición de muro, mas no así para la zona alto andina.

Tabla 27. Transmitancia térmica del muro viable para la zona Mesoandina.

Materiales	e (m)	k (W/m°C)	e/k (m ² C/W)	U (W/m ² C)
Tarrajeo con barro	0.025	0.9	0.028	
Adobe 40x40x10	0.4	0.9	0.444	
Junta de barro	0.4	0.9	0.444	
Tarrajeo con barro	0.025	0.9	0.028	
1/hi+1/he			0.17	2.23

Si se tarrajea el muro por el exterior e interior utilizando una capa de yeso de 0.03m de espesor, se mejora aún más el aislamiento térmico del muro resultando para ello $U=1.69\text{W/m}^2\text{C}$. A pesar de ello, aún no se cumple con el valor de U recomendado por la norma técnica EM.110 para zona alto andina pero, es la idea de cálculo de dicho parámetro la de buscar alternativas en cuanto a la elección de materiales que justifiquen su cumplimiento, partiendo con el uso de materiales locales y complementando con otros de carácter industrial para lograr el objetivo.

Tabla 28. Transmitancia térmica del muro viable para zona Mesoandina.

Materiales	e (m)	k (W/m°C)	e/k (m ² C/W)	U (W/m ² C)
Tarrajeo con yeso	0.03	0.3	0.100	
Adobe 40x40x10	0.4	0.9	0.444	
Junta de barro	0.4	0.9	0.444	
Tarrajeo con yeso	0.03	0.3	0.100	
1/hi+1/he			0.17	1.69

5.7.2 Transmitancia térmica máxima del techo del MEV (U_{techo}) –zona alto andina

El techo del MEV está conformado por planchas de metal aluzinc a dos aguas, cuenta con un cielo raso de planchas de poliuretano expandido de 0.04m de espesor. Entre el techo y cielo raso hay aire, una especie de ático. Se calcula su transmitancia térmica U de acuerdo a los datos de la tabla 29. Se ha considerado la resistencia de la cámara de aire $0.16\text{m}^2\text{C/W}$ y resistencias superficiales interiores y exteriores $1/hi+1/he=0.14\text{m}^2\text{C/W}$ según recomendación de la norma EM.110.

Tabla 29. Transmitancia térmica del techo del MEV.

Materiales	e (m)	k (W/m°C)	e/k (m ² C/W)	U (W/m ² C)
Metal Aluzinc	0.0005	125.5	3.98E-06	
Aire			0.16	
Metal Aluzinc	0.0005	125.5	3.98E-06	
Poliuretano	0.04	0.033	1.21	
Metal Aluzinc	0.0005	125.5	3.98E-06	
1/hi+1/he			0.14	0.66

El valor de transmitancia calculado para el techo cumple con la norma. El poliuretano expandido tiene una afinidad aisladora elevada que es lo que le confiere al techo del MEV un carácter bajo de transmitancia térmica a pesar de ser el techo de metal. La cámara de aire también contribuye con esa afinidad de aislamiento térmico.

Otra alternativa de cálculo para este tipo de configuración de techo inclinado con cámara de aire tipo ático y cielo raso, se registra en el libro Heating and Cooling of Buildings de Cengel Y., cap. 16, donde la configuración del techo representativa se muestra en la figura 101 y el cálculo de la resistencia térmica para una combinación techo-ático-cielo raso de dos aguas para el caso de un ático sin ventilación se puede calcular como:

$$R = R_{\text{cieloraso}} + R_{\text{techo}} \left(\frac{A_{\text{cieloraso}}}{A_{\text{techo}}} \right) \quad (22)$$

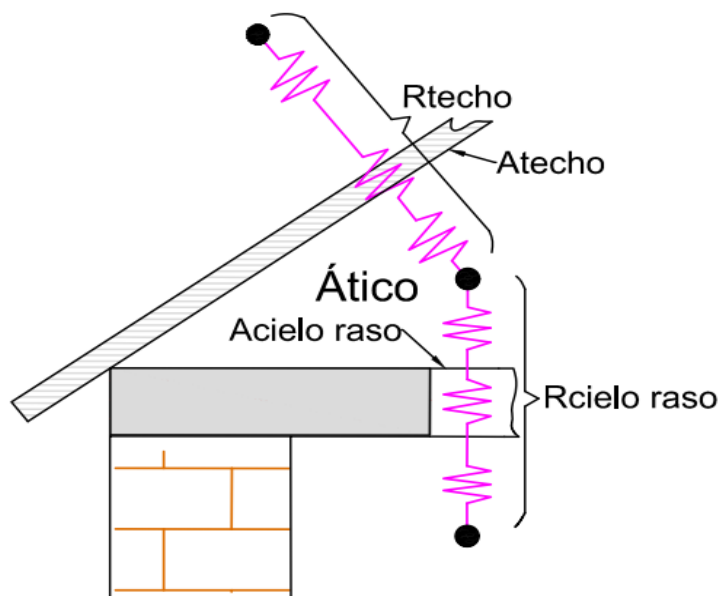


Figura 101. Esquema del techo con su representación de circuito térmico.

Donde, $A_{\text{techo}}=28.4\text{m}^2$, $A_{\text{cielo raso}}=9\text{m}^2$, entonces:

$$R = \frac{0.0005\text{m}}{209\text{W}/\text{m}^2\text{°C}} + \frac{0.04\text{m}}{0.023\text{W}/\text{m}^2\text{°C}} + \frac{0.0005\text{m}}{209\text{W}/\text{m}^2\text{°C}} + \frac{0.0005\text{m}}{209\text{W}/\text{m}^2\text{°C}} \times \left(\frac{9\text{m}^2}{28.4\text{m}^2} \right)$$

$$R = 1.74 \frac{\text{m}^2\text{°C}}{\text{W}}$$

$$U = 0.57 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{°C}}$$

Cumple con la norma EM.110. La desventaja de utilizar el poliuretano expandido como cielo raso es su elevado costo de adquisición para un poblador asentado en una zona alto andina. Tal vez podría ser viable en programas de masificación de aislamiento de viviendas donde por la envergadura de los proyectos los costos se aminoran pero va más por la responsabilidad del estado.

5.7.3 Transmitancia térmica máxima del piso del MEV (U_{piso}) –zona alto andina

La composición del piso del MEV lleva, tierra apisonada y nivelada, plástico de polietileno,

entramado de madera con espacio de aire y, planchas de poliuretano expandido.

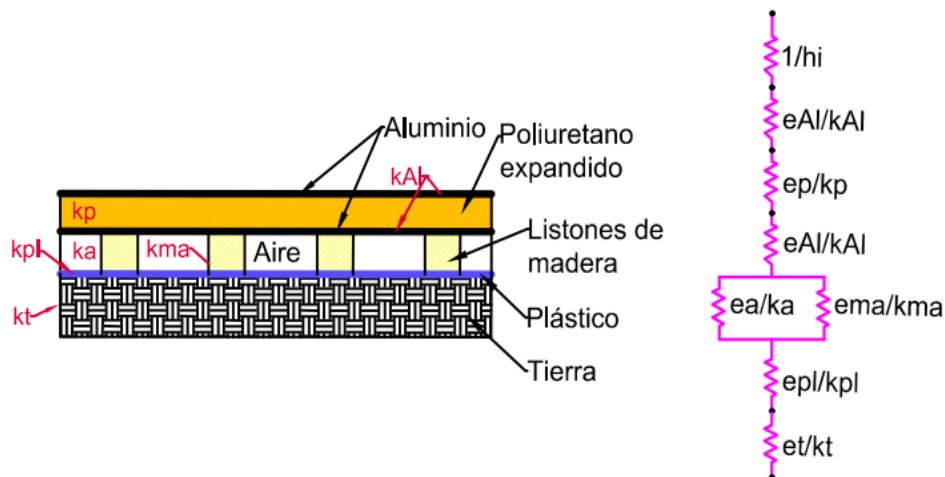


Figura 102. (Izq.) representación de la conformación del piso; (Der.) circuito térmico del piso.

Tabla 30. Transmitancia térmica del piso del MEV.

Materiales	e (m)	k (W/m°C)	e/k (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)
Metal Aluzinc	0.0005	125.5	4.0E-06	
Poliuretano	0.04	0.033	1.21	
Metal Aluzinc	0.0005	125.5	4.0E-06	
Aire	0.05		0.16	
Madera	0.05	0.18	0.28	
Plástico	0.0002	0.33	6.1E-04	
Tierra	0.05	0.52	0.10	
1/hi+1/he			0.22	0.61

El piso del MEV cumple con la norma EM.110 para zona Mesoandina y Alto Andina. La alta afinidad de aislamiento del poliuretano expandido le confiere el valor bajo de transmitancia térmica al piso, además del espacio de aire.

5.7.4 Transmitancias térmicas de otros elementos que componen la envolvente del MEV

De los cálculos de transmitancia térmica realizados para piso, techos y muro, de forma similar se calcula las transmitancias térmicas para los otros elementos que componen la envolvente del MEV tal como se muestran en la tabla 31.

5.8 Análisis térmico en la envolvente y cerramientos del MEV

A continuación se presentan los análisis cuantitativos realizados para el cálculo de U.A (W/°C) de los diversos componentes de la envolvente y cerramiento del MEV. Como el objetivo es alcanzar el confort térmico partiendo de un diseño adecuado, uso de materiales idóneos, y aprovechamiento de la climatología del lugar para con el MEV, partimos con la premisa de reducir las pérdidas de calor e incrementar la temperatura interior dada la clasificación climática de la provincia de Vilcashuamán en Ayacucho donde se ubica la comunidad de San Francisco de Raymina según su altitud.

Tabla 31. Resumen de valores U.A (W/°C) de los elementos constructivos del MEV.

Construcción	Material	e (m)	k (W/m°C)	e/k (m ² °C/W)	U (W/m ² °C)	UA (W/°C)
Muro de adobe						
	Tarrajeo barro	0.020	0.90	0.022		
	Junta de barro	0.400	0.90	0.444		
	Adobe	0.400	0.90	0.444		
	1/hi+1/he			0.170	2.41	64.21
Ventana						
	Vidrio simple	0.003	0.8	0.0038		
	Cámara de aire	0.010	-	0.1400		
	Vidrio simple	0.003	0.8	0.0038		
	Cámara de aire	0.100	-	0.1600		
	Hoja de madera	0.020	0.18	0.1111		
	1/hi+1/he			0.1700	1.70	1.78
Marco ventana						
	Madera	0.050	0.18	0.278		
	1/hi+1/he			0.170	2.23	0.74
Puerta						
	Triplay	0.004	0.14	0.029		
	Cámara de aire	0.032	-	0.170		
	Triplay	0.004	0.14	0.029		
	Cámara de aire	0.650	-	0.160		
	Triplay	0.004	0.14	0.029		
	Cámara de aire	0.032	-	0.170		
	Triplay	0.004	0.14	0.029		
	1/hi+1/he	-	-	0.170	1.28	2.42
Piso						
	Suelo de tierra	0.050	0.52	0.096		
	Polietileno	0.0002	0.33	6.06E-04		
	Cámara de aire	0.050	-	0.160		
	Entablado de madera	0.050	0.18	0.278		
	Aluzinc	0.0005	125.5	3.98E-06		
	Poliuretano expandido	0.040	0.033	1.212		
	Aluzinc	0.0005	125.5	3.98E-06		
	1/hi+1/he	-	-	0.22	0.61	5.52
Techo						
	Aluzinc	0.0005	125.5	3.98E-06		
	Aire	-	-	0.160		
	Aluzinc	0.0005	125.5	3.98E-06		
	Poliuretano expandido	0.040	0.033	1.212		
	Aluzinc	0.0005	125.5	3.98E-06		
	1/hi+1/he	-	-	0.140	0.66	9.39

e: espesor del material, k: conductividad térmica del material, e/k: resistencia térmica del material, y U: transmitancia térmica del elemento constructivo.

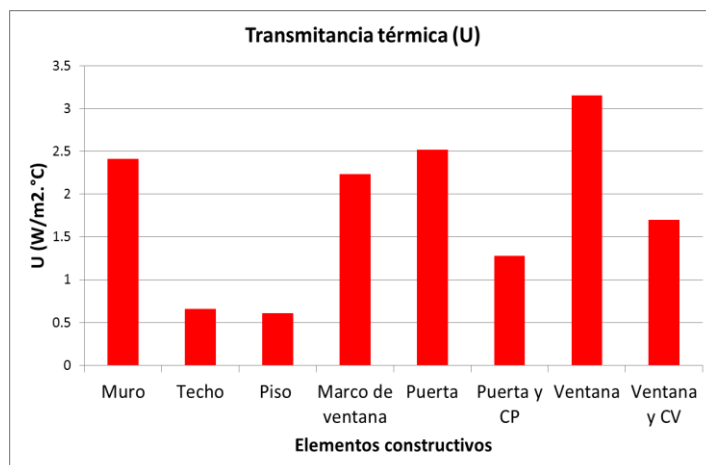


Figura 103. Transmitancias térmicas para cada uno de los elementos constructivos que conforman el MEV.

5.8.1 Pérdidas y ganancias de energía con el MEV sin control de contraventanas, sin sistemas de calefacción, y sin pernoctación ni actividad humana.

Las pérdidas y ganancias de calor o energía que se generan en el MEV son por calor sensible y transmisión de calor a través de los cerramientos, muros, techo, piso, ventanas, puertas marco de ventanas y renovaciones de aire. El signo negativo en los valores da entender las pérdidas de energía que se producen por cada uno de los elementos constructivos del MEV.

5.8.1.1 Pérdidas de energía en el ambiente Sur

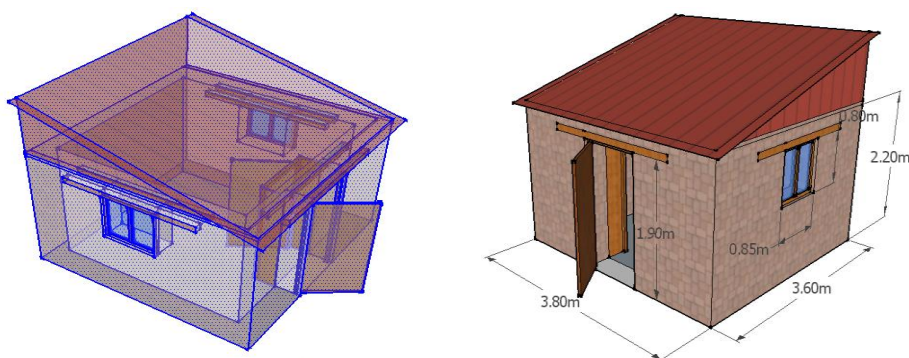


Figura 104. Vistas gráficas del ambiente Sur del MEV.

La tabla 32 es el resultado de calcular la velocidad de transferencia de calor para cada elemento constructivo que conforma la envolvente del MEV. Las mayores pérdidas de calor se ocurren por los muros, techo y renovaciones de aire. El resultado de los muros 269.13W era de esperarse dado al poco aislamiento que lleva su configuración y se corrobora con el cálculo de su transmitancia térmica que incumple la norma técnica EM.110 por estar muy por encima del valor sugerido en ella. Los otros elementos comparados con el muro presentan valores de promedios de pérdidas de calor mucho menores, el techo 55.06W, las renovaciones de aire de 25.89W, las ventanas 19.39W, el piso 19.15W, las puertas 14.20W, y los marcos de ventanas 4.31W.

La figura 105 representa la velocidad de transferencia de calor promedio horaria para todas las configuraciones de medidas desde el 5 de julio de 2016 al 28 de febrero del 2017. Se aprecian picos de caída en todas las configuraciones de medidas a partir de las 6:00am hasta las 7:00am donde se producen las mayores velocidades de transferencia de calor del interior al

exterior (pérdidas), debido al descenso de temperatura en estas horas críticas de la mañana que dura alrededor de una hora. Las mayores pérdidas de velocidad de transferencia de calor se producen en las configuraciones 9, 11, 12 y 8, que son las configuraciones que presentan altos incrementos de temperatura, esto da entender que se tiene que trabajar en el tema de mejorar el aislamiento térmico y las infiltraciones de aire principalmente en las puertas.

Tabla 32. Promedio diario de pérdida de velocidad de transferencia de calor por configuraciones de medida (W).

Medidas	Muros	Puertas	Marco Vent.	Techo	Piso	Ventanas	Renov. Aire	TOTAL
	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
Configuración 1	-117.97	-6.51	-1.98	-25.25	-	-8.89	-11.87	-172.47
Configuración 2	-193.57	-10.30	-3.13	-39.92	-10.67	-14.06	-18.77	-290.42
Configuración 3	-146.96	-7.81	-2.37	-30.27	-5.78	-10.66	-14.23	-218.09
Configuración 4	-167.17	-8.83	-2.68	-34.24	-10.18	-12.06	-16.10	-251.26
Configuración 5	-273.93	-14.37	-4.36	-55.69	-24.37	-19.61	-26.19	-418.52
Configuración 6	-218.39	-11.59	-3.52	-44.92	-14.42	-15.82	-21.12	-329.78
Configuración 7	-298.01	-15.86	-4.82	-61.47	-22.66	-21.65	-28.90	-453.35
Configuración 8	-380.53	-20.02	-6.08	-77.60	-32.27	-27.33	-36.49	-580.31
Configuración 9	-426.97	-22.36	-6.79	-86.68	-39.19	-30.53	-40.76	-653.29
Configuración 10	-242.66	-12.68	-3.85	-49.15	-8.38	-17.31	-23.11	-357.15
Configuración 11	-414.66	-21.60	-6.56	-83.74	-27.57	-29.49	-39.38	-623.00
Configuración 12	-348.72	-18.51	-5.62	-71.77	-15.14	-25.27	-33.75	-518.79
Promedio	-269.13	-14.20	-4.31	-55.06	-19.15	-19.39	-25.89	-405.54

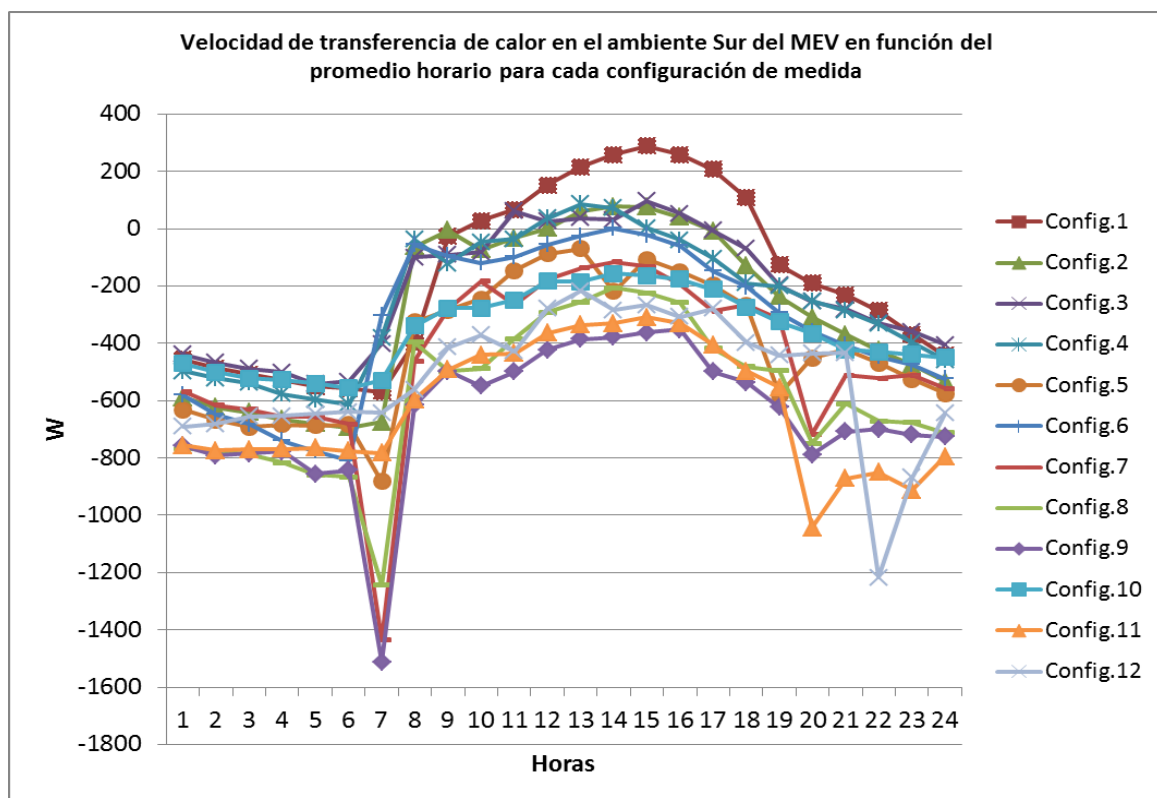


Figura 105. Velocidad de transferencia de calor por configuración de medida en el ambiente Sur del MEV.

La tabla 33 muestra los valores de las pérdidas de energía acumulada por elemento constructivo que conforman la envolvente del MEV por configuraciones de medida donde, el total pérdidas durante los 8 meses de evaluación resulta 1678.20kWh, siendo en promedio la pérdida diaria para los meses con presencia de heladas y frío extremo de julio a octubre de 5.97kWh/día (etapa del 1 al 5). Las mayores pérdidas ocurren en la configuración 10 donde se presenta el mejor comportamiento térmico del MEV, esto da entender que hay que hacer alguna intervención sobre algún elemento constructivo para evitar que el calor se fugue y principalmente son en las infiltraciones que existen en los vanos de las puertas y contrapuestas, y ampliación de los aleros del techo (miden 15cm) dado a que esto contribuye a que las lluvias caigan de lleno sobre las superficies de las paredes y las mantenga húmedas.

Tabla 33. Pérdidas de energía acumulada por configuraciones de medida en el ambiente Sur del MEV.

Medidas	Muros	Puertas	Marco	Techo	Piso	Ventanas	Renov. Aire	TOTAL	TOTAL/día
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh] /día
Config. 1 (25 días)	-63.02	-3.49	-1.06	-13.54	-	-4.77	-6.37	-92.25	-3.52
Config. 2 (34 días)	-144.86	-7.71	-2.34	-29.89	-8.52	-10.53	-14.05	-217.90	-6.41
Config. 3 (15 días)	-47.96	-2.55	-0.77	-9.88	-2.03	-3.48	-4.65	-71.33	-4.76
Config. 4 (13 días)	-47.86	-2.53	-0.77	-9.80	-3.16	-3.45	-4.61	-72.18	-5.55
Config. 5 (13 días)	-80.15	-4.20	-1.28	-16.29	-7.43	-5.74	-7.66	-122.73	-9.44
Config. 6 (28 días)	-136.18	-7.23	-2.19	-28.01	-9.50	-9.87	-13.17	-206.15	-7.36
Config. 7 (8 días)	-54.16	-2.88	-0.88	-11.17	-4.26	-3.93	-5.25	-82.54	-10.32
Config. 8 (8 días)	-69.09	-3.63	-1.10	-14.09	-6.01	-4.96	-6.62	-105.50	-13.18
Config. 9 (3 días)	-29.26	-1.53	-0.47	-5.94	-2.73	-2.09	-2.79	-44.81	-14.94
Config. 10 (45 días)	-246.33	-12.87	-3.91	-49.89	-8.86	-17.57	-23.46	-362.89	-8.06
Config. 11 (17 días)	-160.33	-8.35	-2.54	-32.38	-10.79	-11.40	-15.22	-241.01	-14.18
Config. 12 (5 días)	-39.59	-2.10	-0.64	-8.15	-1.74	-2.87	-3.83	-58.92	-11.78
								TOTAL -1678.20	Prom. -9.14

La figura 106 es la representación gráfica de las pérdidas de energía acumuladas por configuraciones de medida en el ambiente Sur del MEV en los principales elementos constructivos que se comportan como sumideros de calor, muro, techo e infiltraciones de aire (se está considerando una renovación por hora). Las mayores pérdidas se producen por los muros dado a que no cuentan con suficiente aislamiento como se vio en el cálculo de su transmitancia térmica.

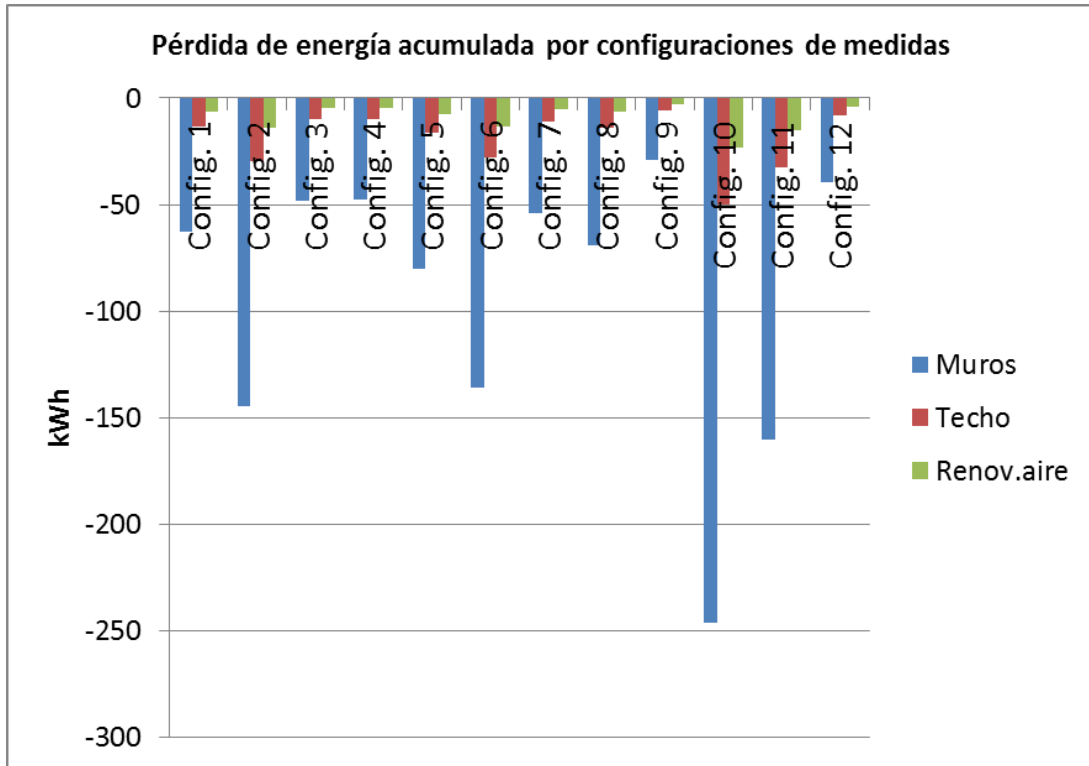


Figura 106. Gráfica de la pérdida de energía por configuraciones de medida en muros, techo y piso del ambiente Sur del MEV.

La figura 107 corrobora lo mencionado anteriormente de las pérdidas de energía por elementos constructivos en forma porcentual donde los muros presentan el 67% de pérdidas seguido del techo con 14% y las renovaciones de aire o infiltraciones 6%.

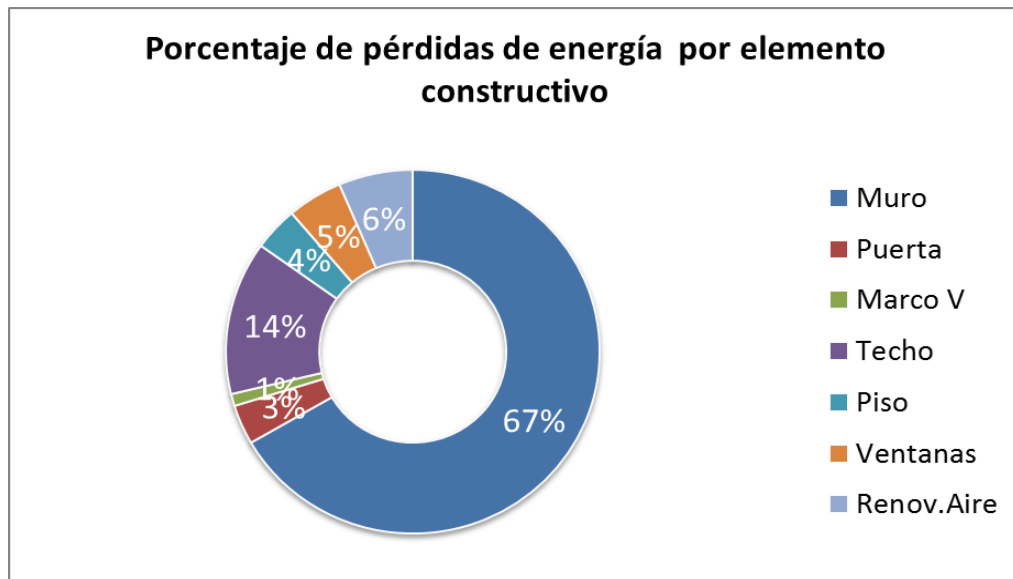


Figura 107. Representación porcentual de las pérdidas de energía por elemento constructivo del ambiente Sur del MEV.

La tabla 34 muestra los valores acumulados por configuraciones de medida de las pérdidas de energía en los muros que conforman el ambiente Sur. Las mayores pérdidas se dan por los muros Este (E) y Oeste (O), seguido del muro Sur (S), y en vez de perder, en la mayoría de

etapas el muro Norte (N, muro interior común con el ambiente Norte), esta ganando energía. En los casos que pierde es porque a recibido energía adicional como la etapa 5 donde se instaló una cocina a gas solo en el ambiente Sur, en la etapa 9 se aisló el colector solar tipo piscina que alimenta de energía al muro radiante y además en esta etapa hubo pernoctación, en la etapa 10 funcionó el muro radiante mas no el tubo radiante, y en la etapa 11 se pernoctó en el ambiente Sur.

Tabla 34. Pérdidas de energía acumulada por muros del ambiente Sur del MEV.

Medidas	Muro E	Muro O	Muro N	Muro S
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Configuración 1	-23.66	-23.66	3.53	-19.24
Configuración 2	-52.22	-52.22	2.05	-42.47
Configuración 3	-17.27	-17.27	0.62	-14.04
Configuración 4	-17.13	-17.13	0.33	-13.93
Configuración 5	-28.45	-28.45	-0.10	-23.14
Configuración 6	-48.94	-48.94	1.51	-39.80
Configuración 7	-19.52	-19.52	0.74	-15.87
Configuración 8	-24.61	-24.61	0.15	-20.02
Configuración 9	-10.38	-10.38	-0.07	-8.44
Configuración 10	-87.17	-87.17	-1.10	-70.89
Configuración 11	-56.57	-56.57	-1.19	-46.00
Configuración 12	-14.24	-14.24	0.45	-11.58
TOTAL	-400.15	-400.15	6.94	-325.42

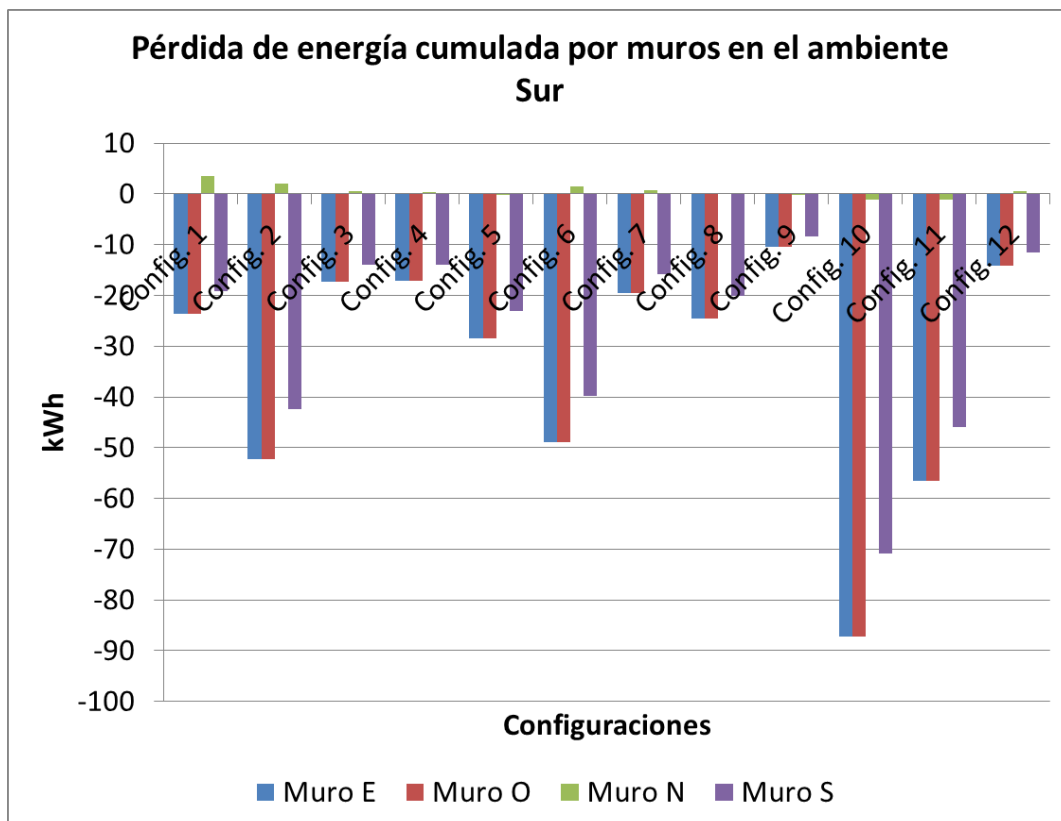


Figura 108. Gráfica de pérdidas de energía acumulada por muros en el ambiente Sur.

La figura 109 representa el comportamiento sólo del muro Norte interior del ambiente Sur. En vez de pérdidas en la mayoría de las etapas de medida presenta ganancias, esto se debe a que dicho muro esta recibiendo energía de parte del serpentín adosado a el, o energía proveniente del ambiente Norte como resultado del funcionamiento del tubo radiante.

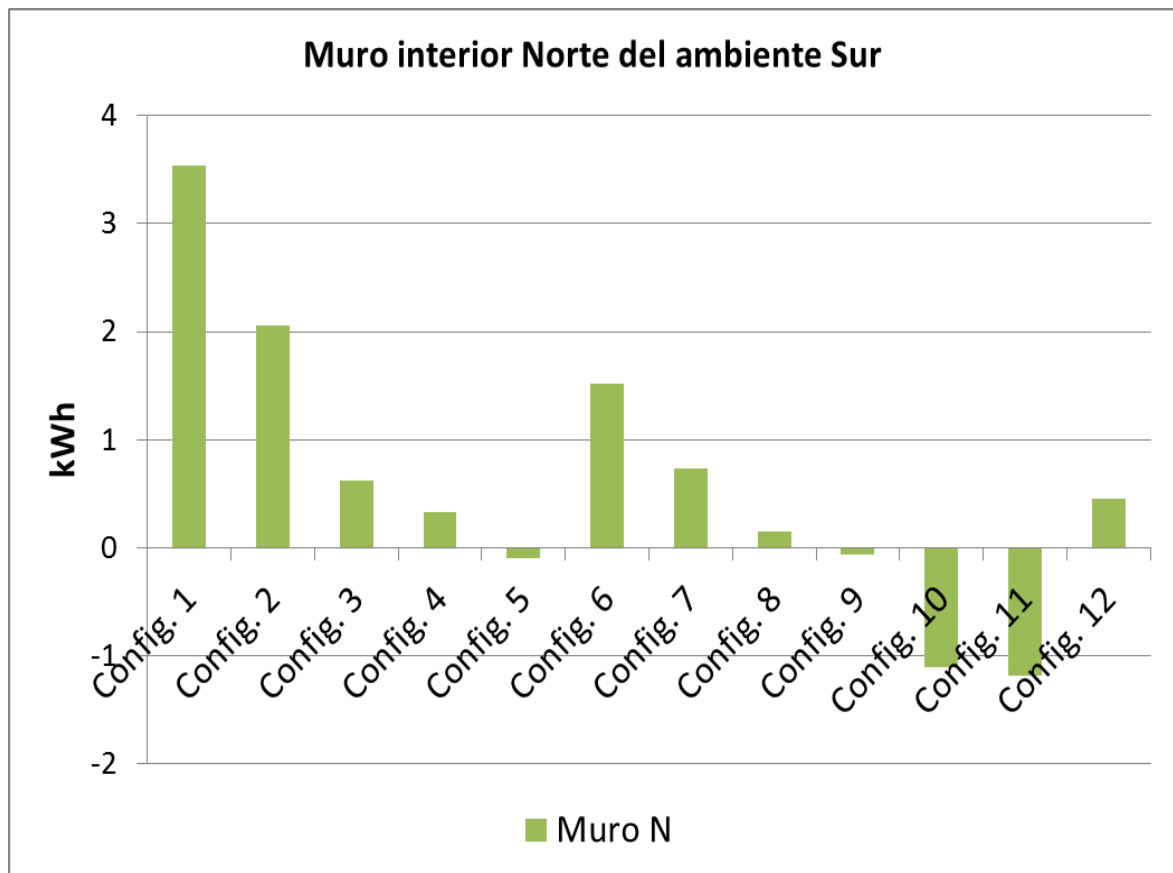


Figura 109. Pérdida de energía por el muro interior, del ambiente Sur (S) hacia el ambiente Norte (N).

5.8.1.2 Ganancia de energía en el ambiente Sur

La tabla 35 muestra los valores acumulados de ganancia de energía por radiación solar en elementos constructivos como techos, paredes y ventanas. Se infiere de la tabla que la configuración 10 es la que presenta mayores ganancias pero a la vez es la que presenta mayores pérdidas especialmente por los muros. La configuración 9 presenta pérdidas dado a que el comportamiento del ambiente Sur en dicha configuración alcanzó su mejor comportamiento térmico frente al exterior y ambiente Norte. Debido al aislamiento del colector solar tipo piscina que alimenta de energía al sistema muro radiante y además, se pernoctó en dicho ambiente Sur.

En total para todas las configuraciones de medida hubo una ganancia de energía acumulada de 2357.22kWh, siendo la ganancia diaria para los meses con presencia de heladas y frío extremo de julio a octubre de 13.75kWh/día (configuración del 1 al 5).

Tabla 35. Ganancia de energía acumulada por configuración de medida en el ambiente Sur del MEV.

Medidas	Muros	Techo	Ventanas	TOTAL	TOTAL/día
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh] /día
Config. 1 (25 días)	227.78	54.59	61.21	343.59	13.74
Config. 2 (34 días)	249.96	65.39	79.91	395.26	11.63
Config. 3 (15 días)	169.64	39.82	46.45	255.91	17.06
Config. 4 (13 días)	111.64	27.24	32.78	171.66	13.20
Config. 5 (13 días)	107.84	27.52	35.47	170.84	13.14
Config. 6 (28 días)	244.27	57.76	66.59	368.62	13.16
Config. 7 (8 días)	63.93	13.92	18.82	96.67	12.08
Config. 8 (8 días)	34.93	9.00	15.44	59.37	7.42
Config. 9 (3 días)	-3.48	0.93	3.02	0.47	0.16
Config. 10 (45 días)	263.22	72.46	86.39	422.07	9.38
Config. 11 (17 días)	4.09	9.80	25.85	39.74	2.34
Config. 12 (5 días)	18.33	5.14	9.54	33.02	6.60
				TOTAL 2357.22	Promedio 10.00

En la tabla 36 se aprecia que para las configuraciones 9, 11 y 12, las ganancias son mínimas, esto se debe a que en dichas configuraciones la energía solar acumulada fue baja.

Tabla 36. Energía solar acumulada por configuraciones de medida.

Medidas	Energía Solar acumulada [kWh/m²]
Configuración 1	140.94
Configuración 2	198.64
Configuración 3	108.20
Configuración 4	77.59
Configuración 5	95.59
Configuración 6	183.04
Configuración 7	53.86
Configuración 8	48.53
Configuración 9	13.42
Configuración 10	252.81
Configuración 11	84.52
Configuración 12	27.23

La figura 110 grafica el comportamiento de las pérdidas de energías acumuladas para los muros, techo y ventanas del ambiente Sur.

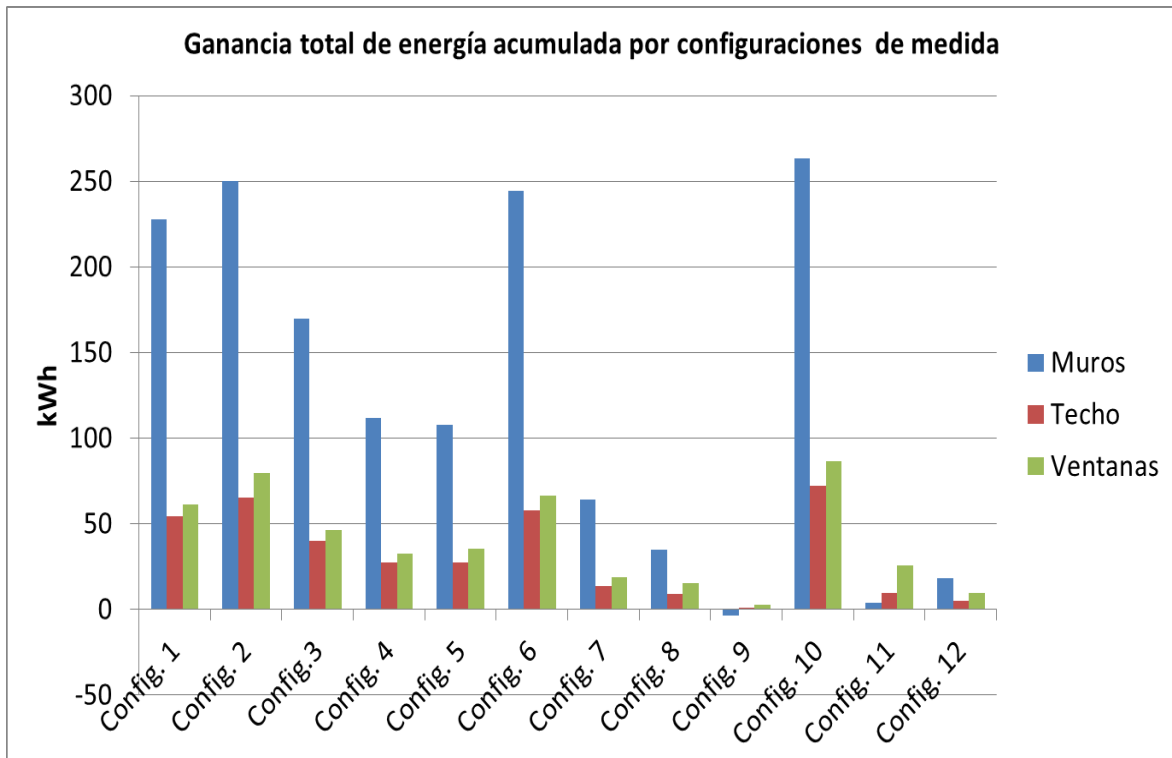


Figura 110. Ganancias de energía por muros, techo y ventanas en el ambiente Sur del MEV.

La figura 111 es la representación porcentual de las ganancias de energía por muros, techo y ventanas en el ambiente Sur.

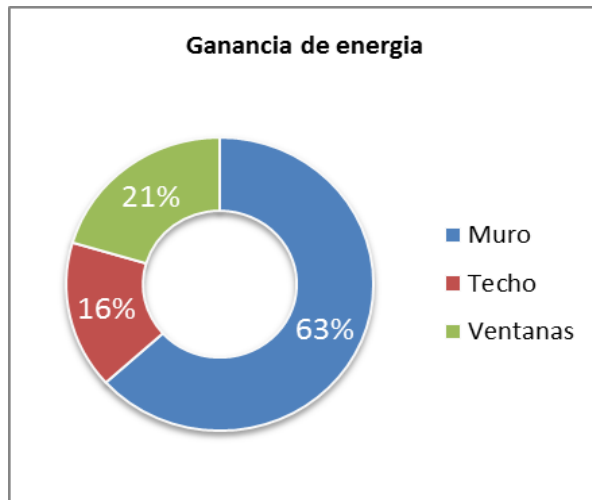


Figura 111. Representación porcentual de las ganancias de energía por muros, techo y ventanas en el ambiente Sur del MEV.

Sumando las pérdidas y ganancias de energía en el ambiente Sur para todas las configuraciones de medidas se obtiene 679.02kWh, esto da a entender que en promedio el ambiente Sur del MEV se está calentando. Si se hace el cálculo de la energía pérdida y ganada según la cantidad de días que tomo cada configuración de medida se obtiene la tabla 37 donde, desde la configuración 1 hasta la configuración 7 y configuración 9, el ambiente Sur se está calentando, en las configuraciones 8, 9, 11 y 12, el ambiente se está enfriando, en estas últimas configuraciones hay más pérdidas dado a que también el incremento de temperatura entre el interior y exterior también es mayor.

Tabla 37. Pérdidas y ganancias diarias de energía acumulada por configuraciones de medida.

Medidas	Pérdidas/día	Ganancias/día
	[kWh/día]	[kWh/día]
Configuración 1	-3.52	13.74
Configuración 2	-6.41	11.63
Configuración 3	-4.76	17.06
Configuración 4	-5.55	13.20
Configuración 5	-9.44	13.14
Configuración 6	-7.36	13.17
Configuración 7	-10.32	12.08
Configuración 8	-13.19	7.42
Configuración 9	-14.94	0.16
Configuración 10	-8.06	9.38
Configuración 11	-14.18	2.34
Configuración 12	-11.78	6.60

La figura 112 representa graficamente los resultados de las tabla 37 de pérdidas y ganancias de energía por día.

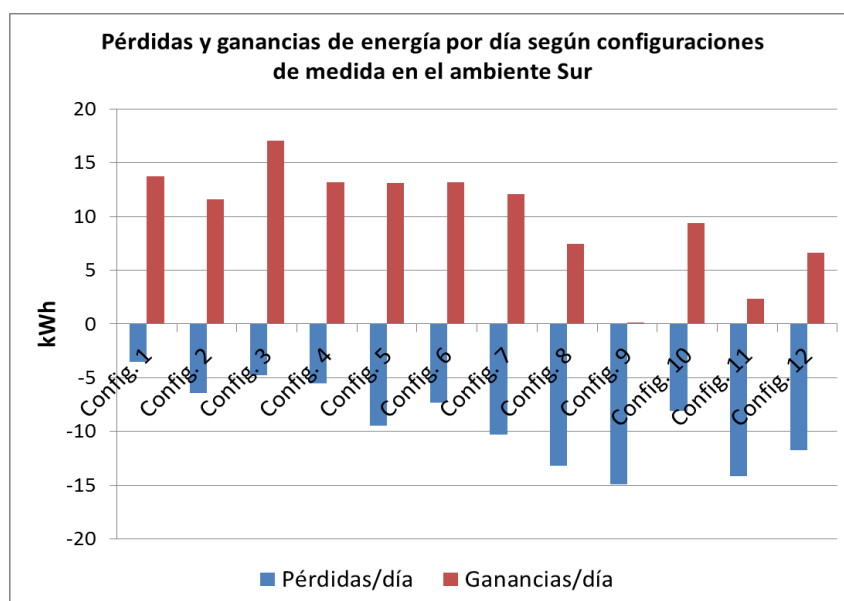


Figura 112. Pérdidas y ganancias de energía por día en el ambiente Sur del MEV.

5.8.1.3 Pérdidas de energía en el ambiente Norte

La tabla 38 es el resultado de calcular la velocidad de transferencia de calor para cada elemento constructivo que conforma la envolvente del MEV. Las mayores pérdidas de calor ocurren por los muros, techo y renovaciones de aire. El resultado de los muros 336.57W era de esperarse dado al poco aislamiento que lleva su configuración y se corrobora con el cálculo de su transmitancia térmica que incumple la norma técnica EM.110 por estar muy por encima del valor sugerido en ella. Los otros elementos comparados con el muro presentan valores promedios de pérdidas de calor mucho menores, el techo 61.15W, las renovaciones de aire de 28.75W, las ventanas 21.53W, el piso 21.73W, las puertas 15.77W, y los marcos de ventanas 4.79W.

Tabla 38. Promedios diarios de pérdida de la velocidad de transferencia de calor por configuración de medida (W).

Medidas	Muros	Puertas	Marco Vent.	Techo	Piso	Ventanas	Renov. Aire	TOTAL
	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]	[W]
Config. 1	-307.58	-12.90	-3.92	-50.02	-	-17.61	-23.52	-415.55
Config. 2	-288.27	-13.07	-3.97	-50.68	-16.99	-17.85	-23.83	-414.67
Config. 3	-213.16	-9.71	-2.95	-37.65	-10.12	-13.26	-17.70	-304.55
Config. 4	-214.99	-10.02	-3.04	-38.84	-12.89	-13.68	-18.26	-311.72
Config. 5	-292.29	-14.17	-4.30	-54.94	-23.93	-19.35	-25.83	-434.82
Config. 6	-308.11	-14.11	-4.29	-54.69	-20.16	-19.26	-25.72	-446.34
Config. 7	-444.58	-20.16	-6.12	-78.14	-32.45	-27.52	-36.74	-645.71
Config. 8	-439.90	-20.96	-6.36	-81.24	-34.41	-28.61	-38.20	-649.67
Config. 9	-437.95	-21.43	-6.51	-83.08	-37.07	-29.26	-39.06	-654.37
Config. 10	-232.58	-11.57	-3.51	-44.85	-5.85	-15.80	-21.09	-335.25
Config. 11	-361.81	-18.44	-5.60	-71.47	-20.36	-25.17	-33.61	-536.46
Config. 12	-497.66	-22.74	-6.91	-88.16	-24.77	-31.05	-41.45	-712.74
Promedio	-336.57	-15.77	-4.79	-61.15	-21.73	-21.53	-28.75	-488.49

La figura 113 representa la velocidad total horaria de transferencia de calor para todas las configuraciones de medidas desde el 5 de julio de 2016 al 28 de febrero del 2017

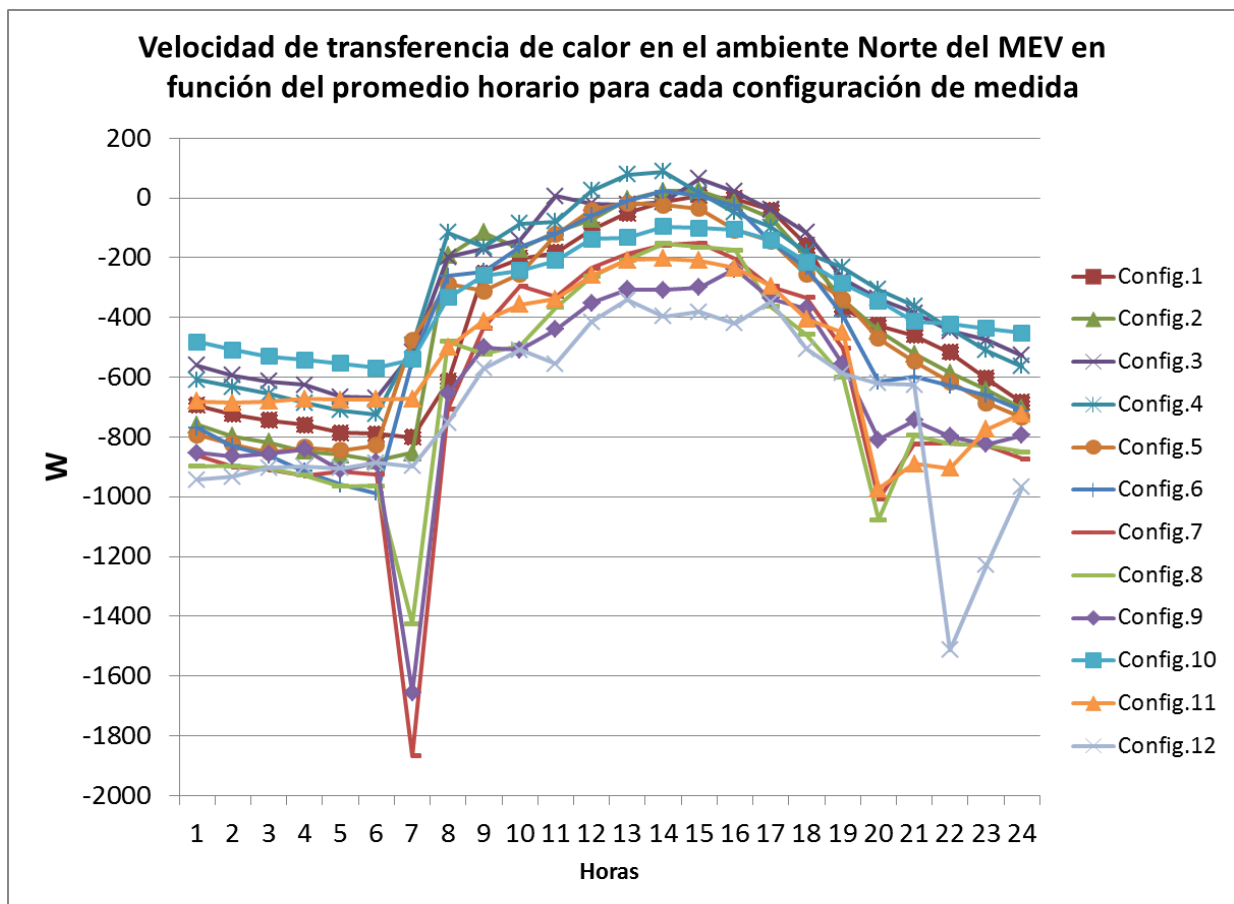


Figura 113. Velocidad horaria de transferencia de calor por configuraciones de medida en el ambiente Norte del MEV.

La tabla 39 muestra los valores de las pérdidas de energía acumulada por elemento constructivo que conforman la envolvente del ambiente Norte MEV por configuraciones de medida donde, el total pérdidas durante los 8 meses de evaluación resulta 2047.51kWh, siendo en promedio la pérdida diaria para los meses con presencia de heladas y frío extremo de julio a octubre de 8.35kWh/día (etapa del 1 al 5). Las mayores pérdidas ocurren en la configuración 10 donde se presenta el mejor comportamiento térmico del MEV, esto da entender que hay que hacer alguna intervención sobre algún elemento constructivo para evitar que el calor se fugue y principalmente son en las infiltraciones que existen en los vanos de las puertas y contrapuestas, y ampliación de los aleros del techo (miden 15cm) dado a que esto contribuye a que las lluvias caigan de lleno sobre las superficies de las paredes y las mantenga húmedas.

Tabla 39. Pérdidas de energía acumulada por configuraciones de medida en el ambiente Norte del MEV.

Medidas	Muros	Puertas	Marco	Techo	Piso	Ventanas	Renov. Aire	Total	TOTAL/día
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/día]
Config.1	-172.02	-7.18	-2.18	-27.84	-	-9.80	-13.09	-232.12	-9.28
Config.2	-217.61	-9.85	-2.99	-38.20	-13.41	-13.45	-17.96	-313.48	-9.22
Config.3	-70.23	-3.19	-0.97	-12.38	-3.50	-4.36	-5.82	-100.46	-6.70
Config.4	-61.66	-2.87	-0.87	-11.14	-3.94	-3.92	-5.24	-89.64	-6.90
Config.5	-84.24	-4.10	-1.24	-15.89	-7.19	-5.60	-7.47	-125.73	-9.67
Config.6	-192.39	-8.81	-2.68	-34.14	-13.10	-12.02	-16.05	-279.19	-9.97
Config.7	-80.47	-3.65	-1.11	-14.15	-6.01	-4.98	-6.65	-117.04	-14.63
Config.8	-79.61	-3.80	-1.15	-14.71	-6.38	-5.18	-6.92	-117.74	-14.72
Config.9	-29.84	-1.46	-0.44	-5.67	-2.57	-2.00	-2.66	-44.64	-14.88
Config.10	-235.45	-11.72	-3.56	-45.44	-6.25	-16.00	-21.36	-339.78	-7.55
Config.11	-139.46	-7.11	-2.16	-27.57	-7.97	-9.71	-12.96	-206.95	-12.17
Config.12	-56.37	-2.58	-0.78	-9.99	-2.82	-3.52	-4.70	-80.75	-16.15
								TOTAL	Promedio
								-2047.51	-11.00

La figura 114 es la representación gráfica de las pérdidas de energía acumuladas por configuraciones de medida en el ambiente Norte del MEV en los principales elementos constructivos que se comportan como sumideros de calor, muro, techo e infiltraciones de aire (se está considerando una renovación por hora). Las mayores pérdidas se producen por los muros dado a que no cuentan con suficiente aislamiento como se vio en el cálculo de su transmitancia térmica.

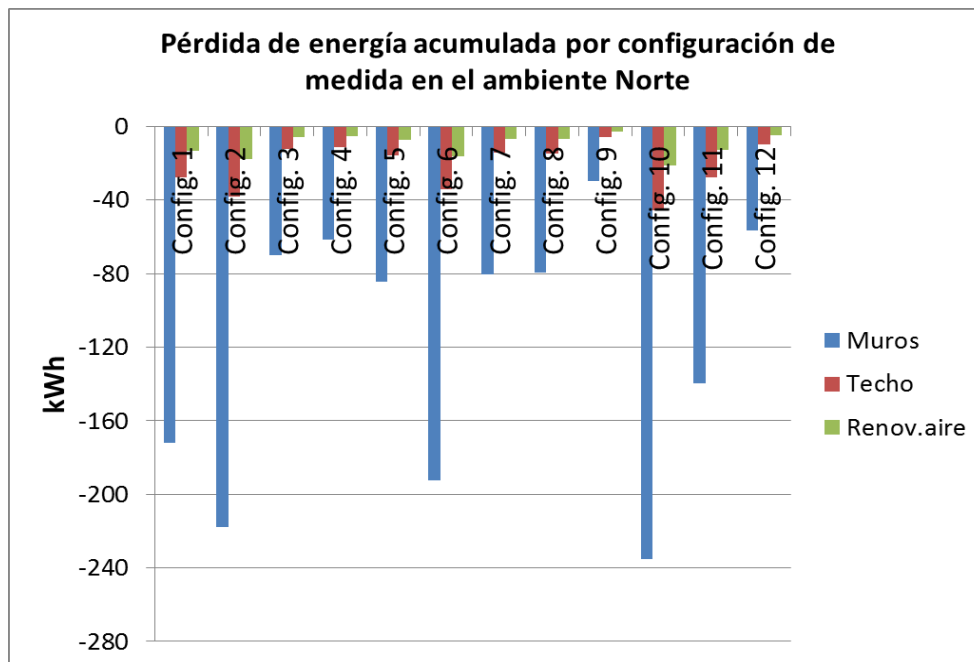


Figura 114. Pérdidas de energía acumulada por configuraciones de medida en muros, techo y piso del ambiente Norte del MEV.

La figura 115 corrobora lo mencionado anteriormente de las pérdidas de energía por elementos constructivos en forma porcentual donde los muros presentan el 69% de pérdidas seguido del techo con 13% y las renovaciones de aire o infiltraciones 6%.

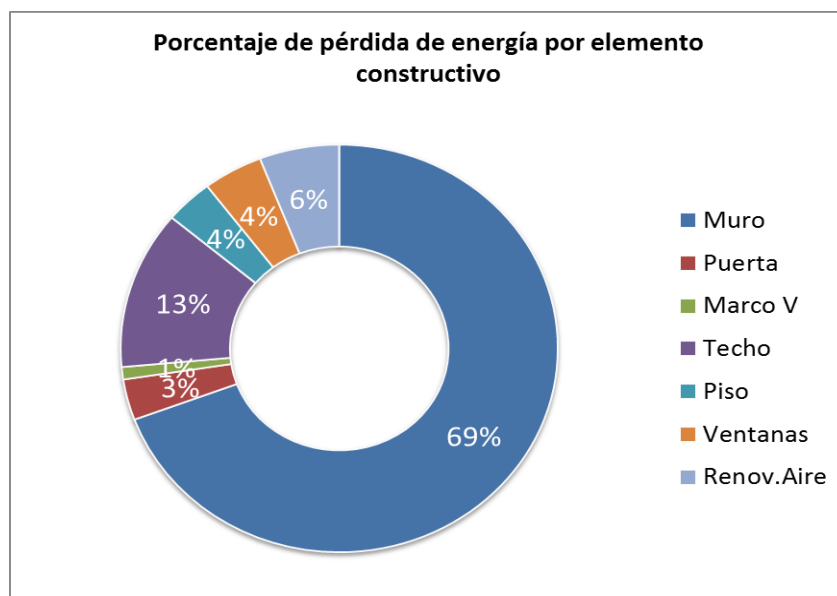


Figura 115. Representación porcentual de las pérdidas de energía por elemento constructivo del ambiente Norte del MEV.

La tabla 40 muestra los valores acumulados por configuraciones de medida de las pérdidas de energía en los muros que conforman el ambiente Norte. Las mayores pérdidas se dan por los muros Este (E) y Oeste (O), seguido del muro Norte (N), y en la mayoría de las configuraciones el muro Sur (S) que es el muro interior común con el ambiente Sur, esta perdiendo energía. En la configuración 10 el muro Sur gana energía debido a que solo funcionó el sistema muro radiante y en la etapa 11 se pernoctó y hubo actividad humana.

Tabla 40. Pérdidas de energía acumulada por los muros del ambiente Norte del MEV.

Medidas	Muro E	Muro O	Muro N	Muro S
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]
Configuración 1	-48.64	-48.64	-51.43	-23.31
Configuración 2	-66.74	-66.74	-70.58	-13.55
Configuración 3	-21.64	-21.64	-22.88	-4.08
Configuración 4	-19.46	-19.46	-20.57	-2.17
Configuración 5	-27.76	-27.76	-29.36	0.65
Configuración 6	-59.65	-59.65	-63.08	-9.99
Configuración 7	-24.73	-24.73	-26.15	-4.86
Configuración 8	-25.70	-25.70	-27.18	-1.02
Configuración 9	-9.90	-9.90	-10.47	0.44
Configuración 10	-79.38	-79.38	-83.95	7.26
Configuración 11	-48.17	-48.17	-50.94	7.83
Configuración 12	-17.45	-17.45	-18.46	-3.00
TOTAL	-449.24	-449.24	-475.06	-45.80

La figura 116 representa el comportamiento sólo del muro interior Sur del ambiente Norte. En vez de pérdidas en la mayoría de las configuraciones de medida presenta ganancias, esto se debe a que dicho muro esta recibiendo energía de parte del serpentín adosado a el, o energía proveniente del ambiente Norte como resultado del funcionamiento del tubo radiante.

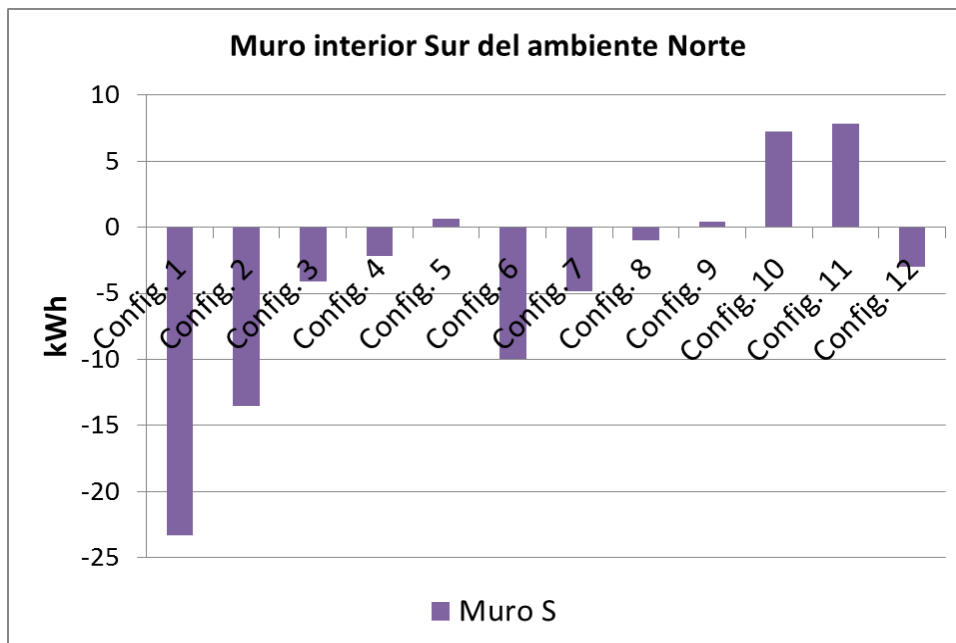


Figura 116. Pérdidas de energía por el muro interior Sur (S) del ambiente Norte.

La tabla 41 y figura 117 representan el comportamiento del muro interior del MEV en relación a las pérdidas de energía que ocurren sobre este elemento. De esta tabla podemos asegurar que el calor se traslada del ambiente Norte al ambiente Sur dado a que estando en el ambiente Norte, este pierde energía y solo gana energía como en la etapa 5 debido a que en el ambiente Sur funcionó una cocina a gas, o en la configuración 10 que solo funcionó el sistema muro radiante, y configuración 11 que hubo pernoctación y ocupación humana.

Tabla 41. Pérdidas de energía acumulada en el muro interior, de Sur a Norte y viceversa.

Medidas	AmbN:muro S	AmbS:muro N
Configuración 1	-23.31	3.53
Configuración 2	-13.55	2.05
Configuración 3	-4.08	0.62
Configuración 4	-2.17	0.33
Configuración 5	0.65	-0.10
Configuración 6	-9.99	1.51
Configuración 7	-4.86	0.74
Configuración 8	-1.02	0.15
Configuración 9	0.44	-0.07
Configuración 10	7.26	-1.10
Configuración 11	7.83	-1.19
Configuración 12	-3.00	0.45

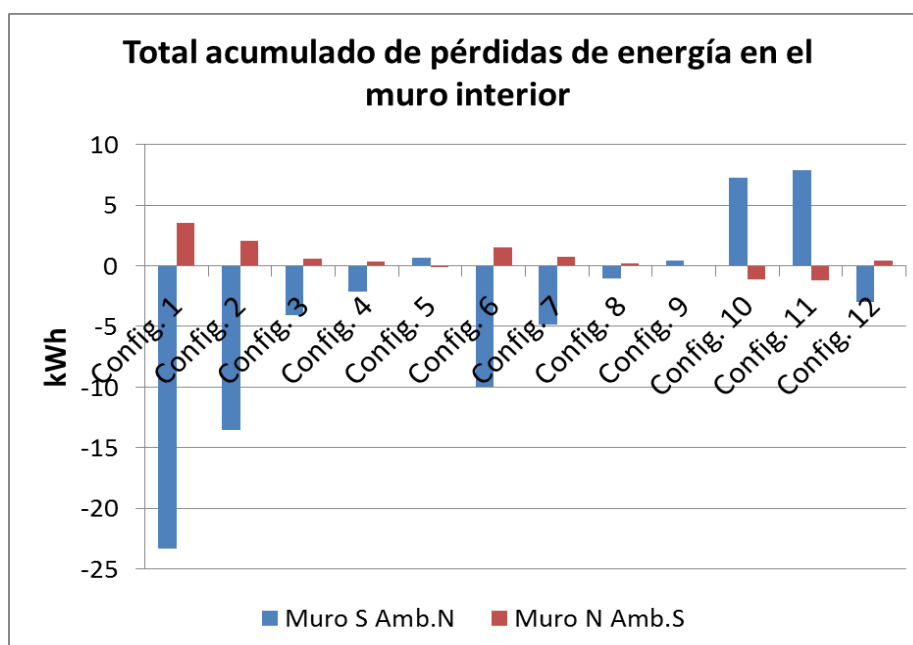


Figura 117. Gráfica del comportamiento del muro interior respecto a las pérdidas de energía de Sur a Norte y viceversa.

5.8.1.4 Ganancias de energía en el ambiente Norte

La tabla 42 muestra los valores acumulados de ganancia de energía por radiación solar en elementos constructivos como techos, paredes y ventanas. Se infiere de la tabla que la configuración 10 es la que presenta mayores ganancias pero a la vez es la que presenta mayores pérdidas especialmente por los muros. La configuración 9 presenta pérdidas dado a que el comportamiento del ambiente Sur en dicha etapa alcanzó su mejor comportamiento térmico frente al exterior y ambiente Norte, debido al aislamiento del colector solar tipo piscina que alimenta de energía al sistema muro radiante y además, se pernoctó y hubo actividad humana en dicho ambiente Sur.

En total para todas las configuraciones de medida hubo una ganancia de energía acumulada de 1981.61kWh, siendo la ganancia diaria para los meses con presencia de heladas y frío extremo de julio a octubre de 12.26kWh/día (configuración del 1 al 5).

Tabla 42. Ganancias de energía acumulada por configuración de medida en el ambiente Norte del MEV.

Medidas	Muros	Techo	Ventanas	Total	TOTAL/día
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/día]
Configuración 1	278.80	40.29	29.96	349.05	13.96
Configuración 2	269.43	57.08	40.68	367.19	10.80
Configuración 3	164.88	37.32	18.61	220.81	14.72
Configuración 4	99.55	25.91	16.17	141.62	10.89
Configuración 5	98.94	27.92	15.33	142.19	10.94
Configuración 6	149.66	51.63	33.03	234.31	8.37
Configuración 7	22.72	10.94	8.66	42.32	5.29
Configuración 8	13.12	8.38	8.56	30.06	3.76
Configuración 9	-6.14	1.20	3.18	-1.76	-0.59
Configuración 10	248.51	76.92	54.57	380.00	8.44
Configuración 11	32.65	14.61	18.85	66.10	3.89
Configuración 12	1.21	3.30	5.21	9.73	1.95
	TOTAL			1981.61	Promedio
					7.70

La figura 118 grafica el comportamiento de las ganancias de energías acumuladas para los muros, techo y ventanas del ambiente Norte. Se aprecia que para las configuraciones 9, 11 y 12, las ganancias son mínimas, esto se debe a que en dichas configuraciones la energía solar acumulada fue baja.

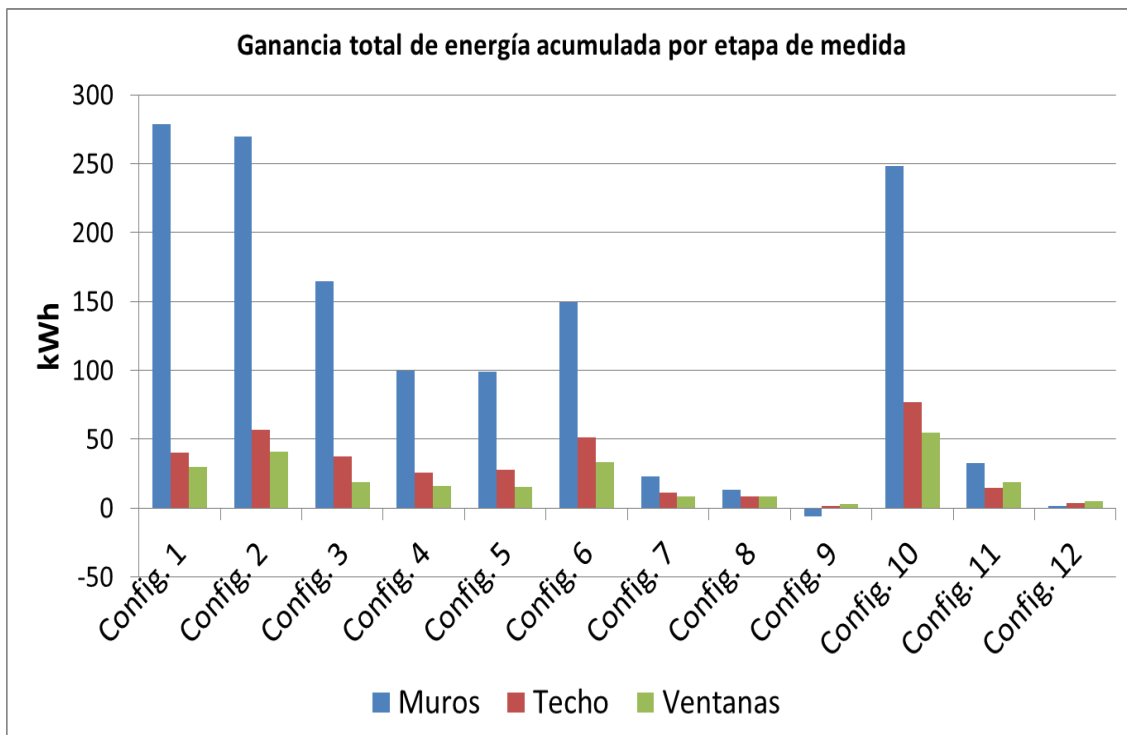


Figura 118. Ganancias de energía por muros, techo y ventanas en el ambiente Norte del MEV.

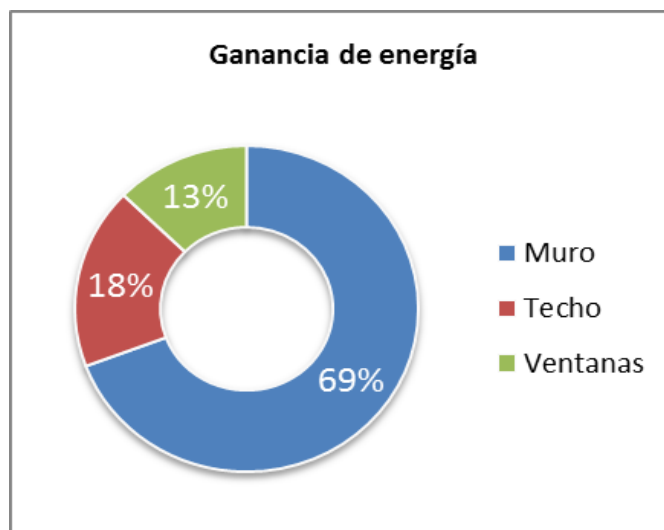


Figura 119. Representación porcentual de las ganancias de energía por muros, techo y ventanas del ambiente Norte del MEV.

Sumando las pérdidas y ganancias de energía en el ambiente Norte para todas las configuraciones de medidas se obtiene 65.90kWh con signo negativo, esto da a entender que en promedio el ambiente Norte del MEV se está enfriando. Si se hace el cálculo de la energía pérdida y ganada según la cantidad de días que tomo cada configuración de medida se obtiene la tabla 43 donde, desde la configuración 1 hasta la configuración 5 el ambiente Norte se está calentando, de la configuración 6 a 12 el ambiente se está enfriando, en estas últimas configuraciones hay más pérdidas dado a que también el incremento de temperatura entre el interior y exterior también es mayor.

Tabla 43. Pérdidas y ganancias de energía acumulada por configuración de medida en el ambiente Norte.

Medidas	Pérdidas/día [kWh/día]	Ganancias/día [kWh/día]
Configuración 1	-9.28	13.96
Configuración 2	-9.22	10.80
Configuración 3	-6.70	14.72
Configuración 4	-6.90	10.89
Configuración 5	-9.67	10.94
Configuración 6	-9.97	8.37
Configuración 7	-14.63	5.29
Configuración 8	-14.72	3.76
Configuración 9	-14.88	-0.59
Configuración 10	-7.55	8.44
Configuración 11	-12.17	3.89
Configuración 12	-16.15	1.95

La figura 120 representa graficamente los resultados de las tabla 43 de pérdidas y ganancias de energía por día.

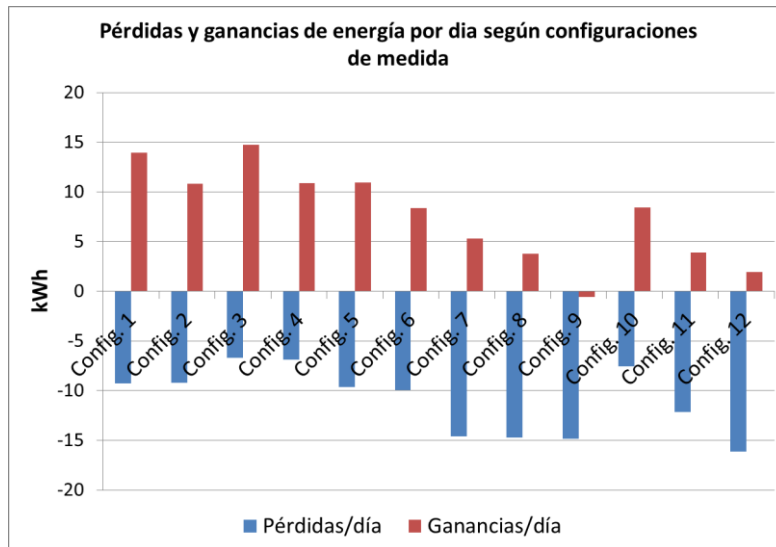


Figura 120. Pérdidas y ganancias de energía por día en el ambiente Norte del MEV.

5.8.2 Pérdidas y ganancias de energía en el MEV con manejo de CV, cargas internas y sistemas de calefacción

En esta parte del cálculo se considera tal cual se realizó la operatividad del MEV en las diferentes configuraciones de medida.

5.8.2.1 Pérdidas de energía en el ambiente Sur

La tabla 44 muestra los resultados de las pérdidas de energía por cada elemento constructivo del ambiente Sur. En este análisis térmico está considerado el manejo de las contraventanas colocándolas a las 6pm y retirándolas a las 6am del día siguiente, además de no usar la contrapuerta en la configuración 4. La energía total acumulada de pérdida es 1657.95kWh para el total de configuraciones de medidas. Siendo el promedio diario de energía acumulada por pérdidas de 5.91kWh/día para las configuraciones del 1 al 5 (periodos de heladas y frío extremo).

Tabla 44. Pérdida de energía acumulada por componentes constructivos en el ambiente Sur.

Medidas	Muros	Puertas	Marco	Techo	Piso	Ventanas	Renov. Aire	TOTAL	Epérd. /día
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/día]
Config. 1	-63.02	-3.49	-1.06	-13.54	-	-2.35	-6.37	-89.84	-3.59
Config. 2	-144.86	-7.71	-2.34	-29.89	-8.52	-5.76	-14.05	-213.13	-6.27
Config. 3	-47.96	-2.55	-0.77	-9.88	-2.03	-1.87	-4.65	-69.72	-4.65
Config. 4	-47.86	-4.94	-0.77	-9.80	-3.16	-3.32	-4.61	-74.45	-5.73
Config. 5	-80.15	-4.20	-1.28	-16.29	-7.43	-3.76	-7.66	-120.76	-9.29
Config. 6	-136.18	-7.23	-2.19	-28.01	-9.50	-5.90	-13.17	-202.18	-7.22
Config. 7	-54.16	-2.88	-0.88	-11.17	-4.26	-2.58	-5.25	-81.18	-10.15
Config. 8	-69.09	-3.63	-1.10	-14.09	-6.01	-3.40	-6.62	-103.94	-12.99
Config. 9	-29.26	-1.53	-0.47	-5.94	-2.73	-1.48	-2.79	-44.20	-14.73
Config. 10	-246.33	-12.87	-3.91	-49.89	-8.86	-17.45	-23.46	-362.77	-8.06
Config. 11	-160.33	-8.35	-2.54	-32.38	-10.79	-8.11	-15.22	-237.71	-13.98
Config. 12	-39.59	-2.10	-0.64	-8.15	-1.74	-2.02	-3.83	-58.07	-11.61
								TOTAL	Promedio
								-1657.95	-9.02

La figura 121 representa las pérdidas de energía acumulada de los principales elementos constructivos que se comportan como sumideros de calor en el ambiente Sur, muros y techo, además de las renovaciones de aire o infiltraciones en ese orden de pérdidas. La figura 122 grafica las pérdidas porcentuales de dichos elementos constructivos.

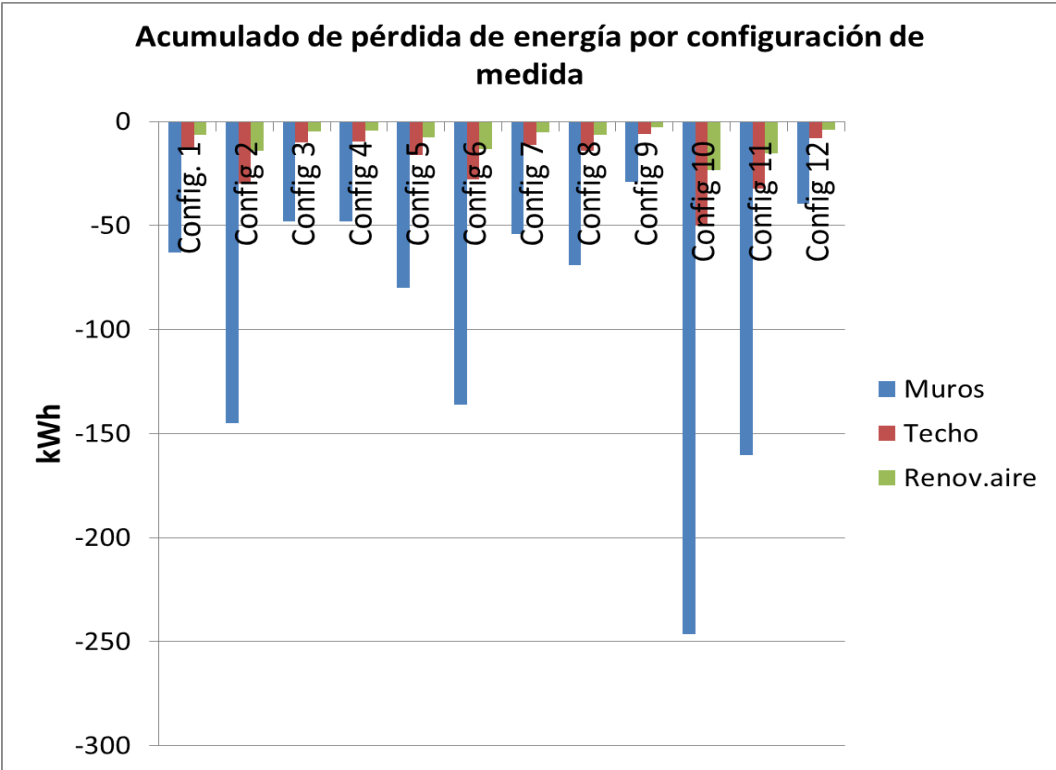


Figura 121. Pérdidas de energía acumulada por muros, techo y renovaciones de aire en el ambiente Sur del MEV.

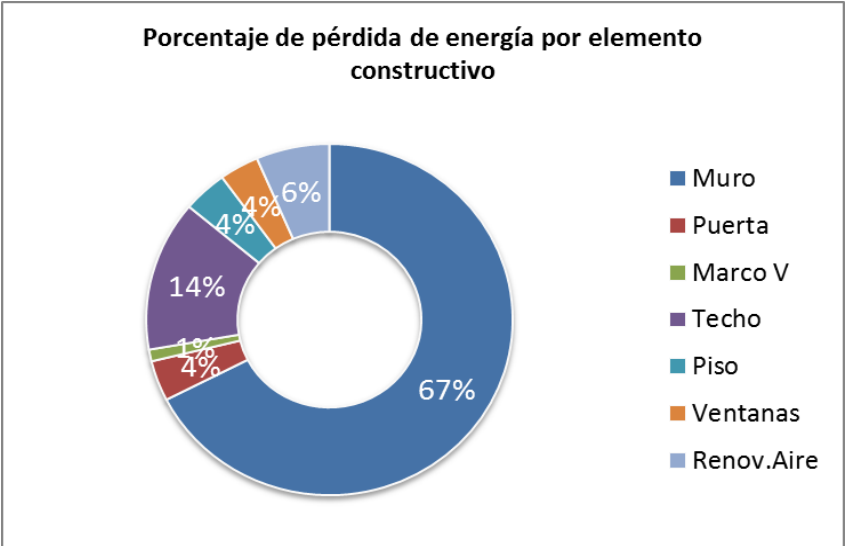


Figura 122. Representación porcentual de las pérdidas de energía acumulada en el ambiente Sur.

Dado a que en esta parte hay manejo u operatividad de las contraventanas, se compara con la configuración sin contraventanas (punto 5.8.1.1) para determinar el aporte en la reducción de la velocidad de transferencia de calor referente a las pérdidas del interior al exterior en el ambiente Sur. La comparación se realiza entre las configuraciones 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 11 y 12

donde hubo manejo de las contraventanas. La tabla 45 muestra los resultados de dicha comparación. Se infiere de la tabla que mediante el uso de la contraventana se logra reducir la velocidad de transferencia de calor en 7.36W como promedio diario.

Tabla 45. Promedio diario de la velocidad de transferencia de calor para las pérdidas por configuraciones de medida.

Medidas	Sin uso de CV	Uso de CV
	[W]	[W]
Configuración 1	-8.89	-4.43
Configuración 2	-14.06	-7.68
Configuración 5	-19.61	-12.73
Configuración 6	-15.82	-9.39
Configuración 7	-21.65	-14.06
Configuración 8	-27.33	-18.49
Configuración 9	-30.53	-21.40
Configuración 11	-29.49	-20.72
Configuración 12	-25.27	-17.56

Asimismo, la figura 123 grafica la reducción en la velocidad de transferencia de calor con el uso de la contraventana en las horas nocturnas para evitar que parte del calor almacenado en el interior del MEV durante el día, se pierda por el vidrio.

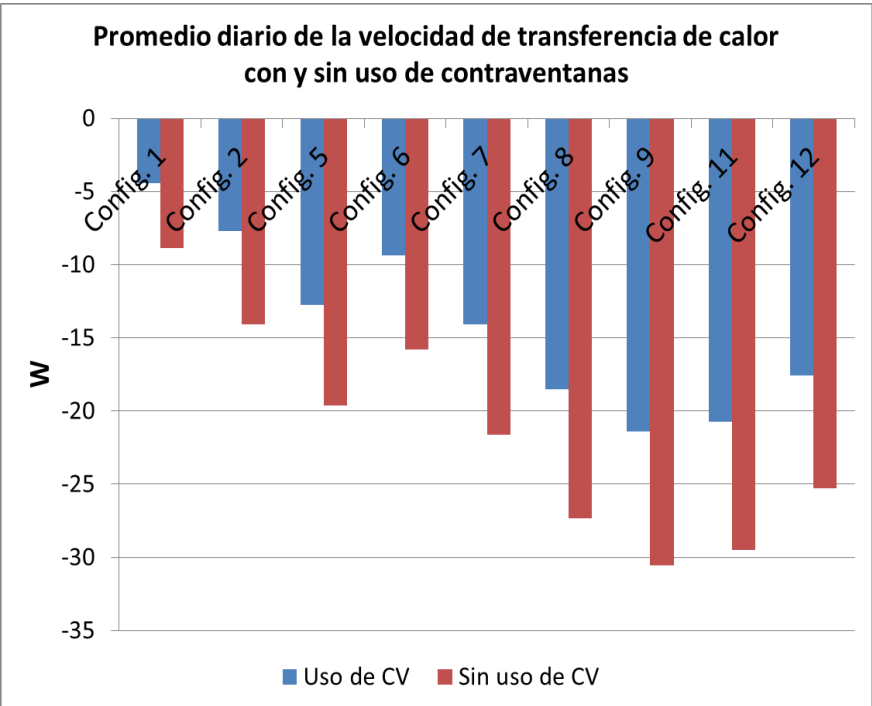


Figura 123. Velocidad de transferencia de calor con y sin el uso de contraventanas en el ambiente Sur del MEV.

La figura 124 representa los valores porcentuales de la reducción de pérdidas de la velocidad de transferencia de calor por ventanas según configuraciones de medidas con el uso de las contraventanas. En promedio se logra reducir 11% la velocidad de transferencia de calor.

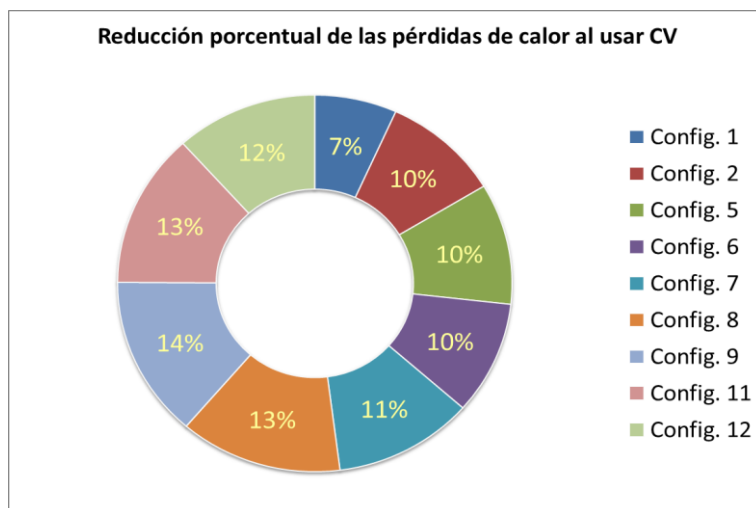


Figura 124. Gráfica porcentual de la reducción de la velocidad de transferencia de calor según configuraciones de medida al usar contraventanas (CV) en el ambiente Sur del MEV.

5.8.2.2 Ganancias de energía en el ambiente Sur

La tabla 46 muestra los resultados acumulados de las ganancias de energía por paredes y techos opacos, acristalamientos, y cargas internas para las configuraciones que comprendieron su medida y/o funcionamiento. El total acumulado de energía ganada es 2781.04kWh. En la configuración 10 se alcanzan las mayores ganancias de energía acumulada dado a que dicha configuración comprendió los mayores días de medida (45 días), la configuración 2 con 34 días de medida y la configuración 6 con 28 días de medidas. El promedio diario para las configuraciones del 1 al 5 (épocas de helada y frío extremo), es de 14.65kWh/día. La pernoctación la realizaron 2 adultos y un niño, se consideró 72W para la realización de dicha actividad por cada persona. Para la actividad humana se consideró 126W realizando trabajo de oficina. La laptop es de 62W de potencia y la cocina a gas utilizándola una hora al día aporta 1400W.

Tabla 46. Energía acumulada ganada en el ambiente Sur.

Medidas	Muros	Techo	Vent.	Pern.	Act. Hum.	Laptop	Coc. Gas	Muro Rad.	Total	Eg/día
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/día]
Config. 1	227.78	54.59	64.36	-	-	-	-	-	346.73	13.87
Config. 2	249.96	65.39	84.77	-	-	-	-	61.41	461.53	13.57
Config. 3	169.64	39.82	38.19	-	-	-	-	-	247.66	16.51
Config. 4	111.64	27.24	32.69	-	-	-	-	-	171.56	13.20
Config. 5	107.84	27.52	37.23	-	-	-	18.20	18.24	209.03	16.08
Config. 6	244.27	57.76	70.56	-	-	-	-	47.26	419.85	14.99
Config. 7	63.93	13.92	19.98	-	-	-	11.20	9.94	118.97	14.87
Config. 8	34.93	9.00	17.62	5.76	-	-	11.20	8.33	86.84	10.86
Config. 9	-3.48	0.93	3.57	2.38	-	-	4.20	4.38	11.98	3.99
Config. 10	263.22	72.46	86.42	-	-	-	-	97.62	519.71	11.55
Config. 11	4.09	9.80	29.00	32.22	10.71	5.53	23.80	21.66	131.80	8.05
Config. 12	18.33	5.14	10.50	-	-	-	7.00	9.39	50.37	10.07
									TOTAL	Promedio
									2781.04	12.30

Vent.: Ventanas, Pern.: Pernoctación, Act. Hum: Actividad Humana, Coc. Gas: Cocinas a Gas, Eg: Energía ganada.

La figura 125 es la gráfica de los principales elementos constructivos por donde se gana la mayor energía. El acumulado de energía para todas las configuraciones de medida y elementos constructivos principales como los muros es 1492.17kWh, ventanas 494.88kWh, y techo 383.57kWh.

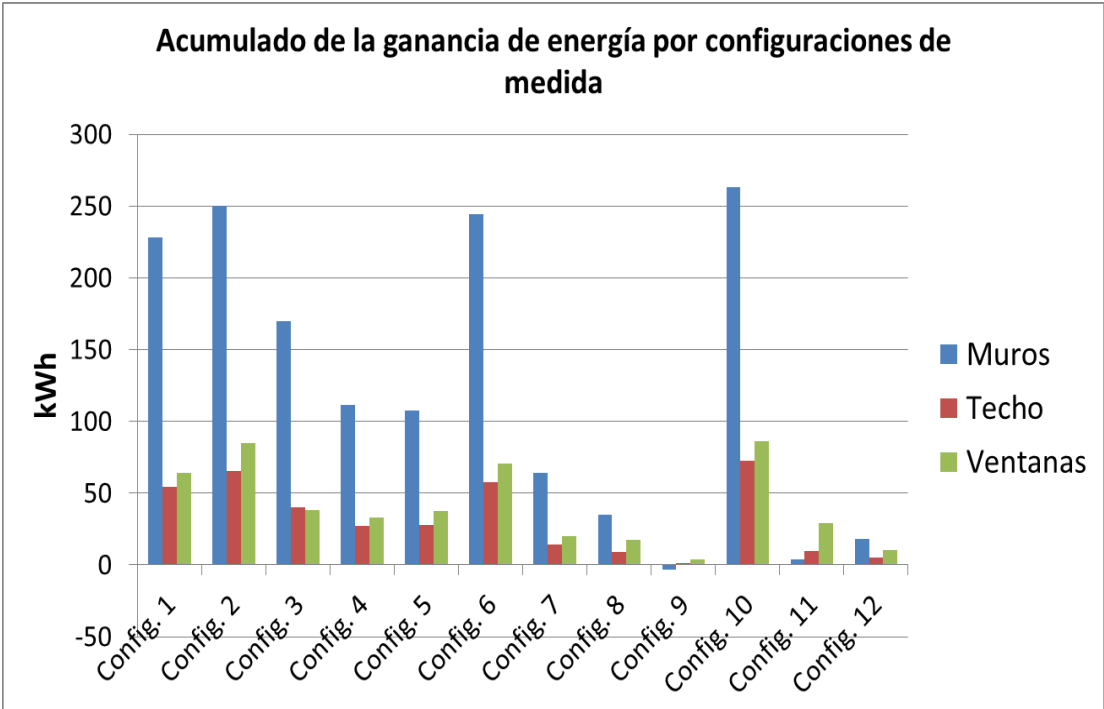


Figura 125. Ganancia de energía por elementos constructivos del ambiente Sur.

La figura 126 es la representación porcentual de las ganancias de energía acumuladas por día por los elementos constructivos opacos (muro y techo), acristalamiento, personas, cocina a gas y muro radiante. Se gana el 54% por muros, 18% por las ventanas, 14% por techos, 10% por el sistema muro radiante, 3% por la cocina a gas y 1% por pernoctación.

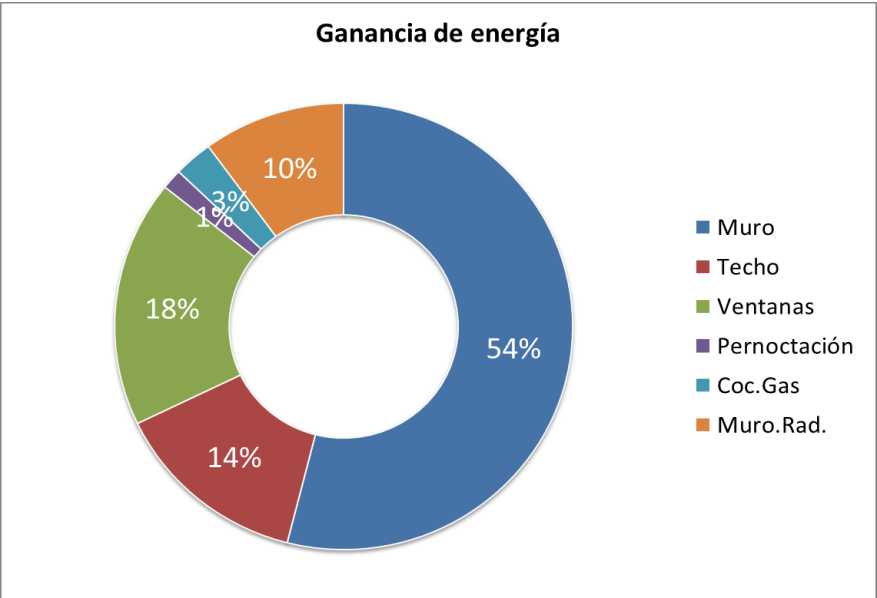


Figura 126. Representación porcentual de las ganancias de energía en el ambiente Sur.

Las ganancias de la velocidad de transferencia de calor con el uso de las contraventanas se registran en la tabla 47 y figura 127. En promedio existe una ganancia de calor de 11%, este porcentaje es lo mismo que se evita perder cuando se maneja las contraventanas.

Tabla 47. Velocidad de transferencia de calor con y sin uso de contraventana.

Medidas	Sin uso de CV	Con uso de CV
	[W]	[W]
Configuración 1	105.86	110.55
Configuración 2	101.59	108.09
Configuración 5	118.21	124.24
Configuración 6	102.90	109.33
Configuración 7	102.01	108.51
Configuración 8	83.57	95.83
Configuración 9	43.56	51.88
Configuración 11	65.77	74.16
Configuración 12	82.62	91.34

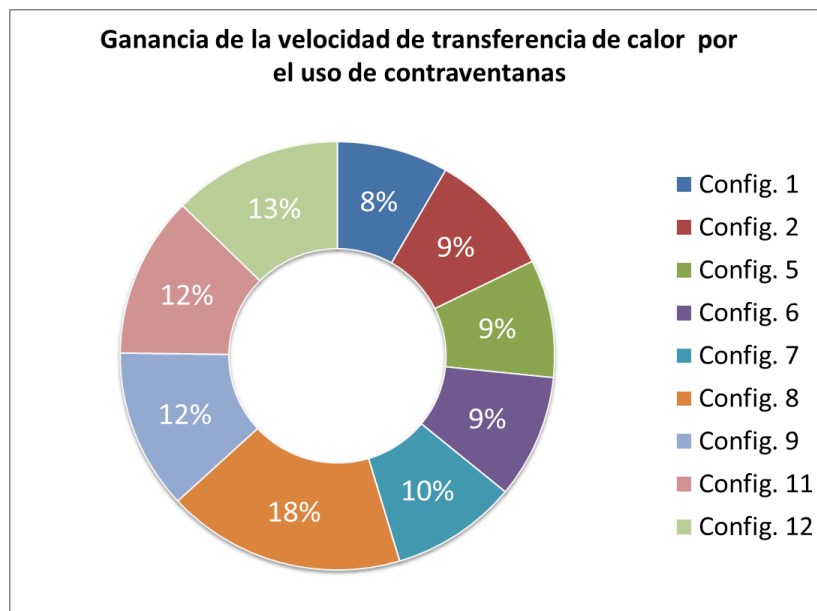


Figura 127. Gráfica porcentual de las ganancias de la velocidad de transferencia de calor por configuraciones de medida en el ambiente Sur utilizando contraventanas.

5.8.2.3 Pérdidas de energía en el ambiente Norte

La tabla 48 muestra los resultados de las pérdidas de energía por cada elemento constructivo del ambiente Norte. En este análisis térmico está considerado el manejo de las contraventanas colocándolas a las 6:00pm y retirándolas a las 6:00am del día siguiente, además de no usar la contrapuerta en la configuración 4. La energía total acumulada de pérdida es 2023.34kWh para el total de configuraciones de medidas. Siendo el promedio diario de energía acumulada por pérdidas de 8.27kWh/día para las configuraciones del 1 al 5 (periodos de heladas y frío extremo).

Tabla 48. Pérdidas de energía acumulada por componentes constructivos en el ambiente Norte.

Medidas	Muros	Puertas	Marco Vent.	Techo	Piso	Ventanas	Renov. Aire	Total	Epérd. /día
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/día]
Config. 1	-172.02	-7.18	-2.18	-27.84	-	-5.56	-13.09	-227.87	-9.11
Config. 2	-217.61	-9.85	-2.99	-38.20	-13.41	-7.85	-17.96	-307.88	-9.06
Config. 3	-70.23	-3.19	-0.97	-12.38	-3.50	-2.35	-5.82	-98.45	-6.56
Config. 4	-61.66	-5.53	-0.87	-11.14	-3.94	-3.82	-5.24	-92.18	-7.06
Config. 5	-84.24	-4.22	-1.24	-15.89	-7.19	-3.58	-7.47	-123.84	-9.53
Config. 6	-192.39	-8.81	-2.68	-34.14	-13.10	-7.24	-16.05	-274.41	-9.80
Config. 7	-80.47	-3.65	-1.11	-14.15	-6.01	-3.26	-6.65	-115.31	-14.41
Config. 8	-79.61	-3.80	-1.15	-14.71	-6.38	-3.46	-6.92	-116.03	-14.50
Config. 9	-29.84	-1.46	-0.44	-5.67	-2.57	-1.38	-2.66	-44.02	-14.67
Config. 10	-235.45	-11.72	-3.56	-45.44	-6.25	-15.88	-21.36	-339.65	-7.55
Config. 11	-139.46	-7.11	-2.16	-27.57	-7.97	-6.75	-12.96	-203.99	-12.00
Config. 12	-56.37	-2.58	-0.78	-9.99	-2.82	-2.47	-4.70	-79.70	-15.94
								TOTAL -2023.34	Prom. -10.85

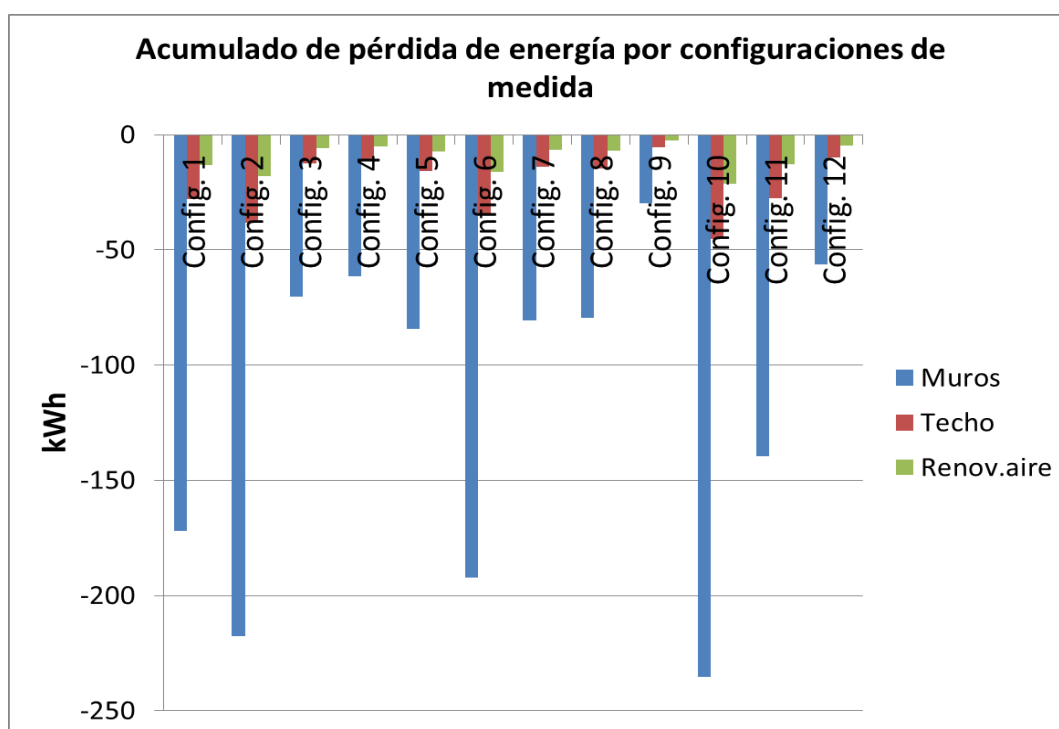


Figura 128. Pérdidas de energía acumulada por muro, techo y renovaciones de aire.

La figura 128 representa las pérdidas de energía acumulada de los principales elementos constructivos que se comportan como sumideros de calor en el ambiente Norte, muros y techo, además de las renovaciones de aire o infiltraciones en ese orden de pérdidas. La figura 129 grafica las pérdidas porcentuales de dichos elementos constructivos.

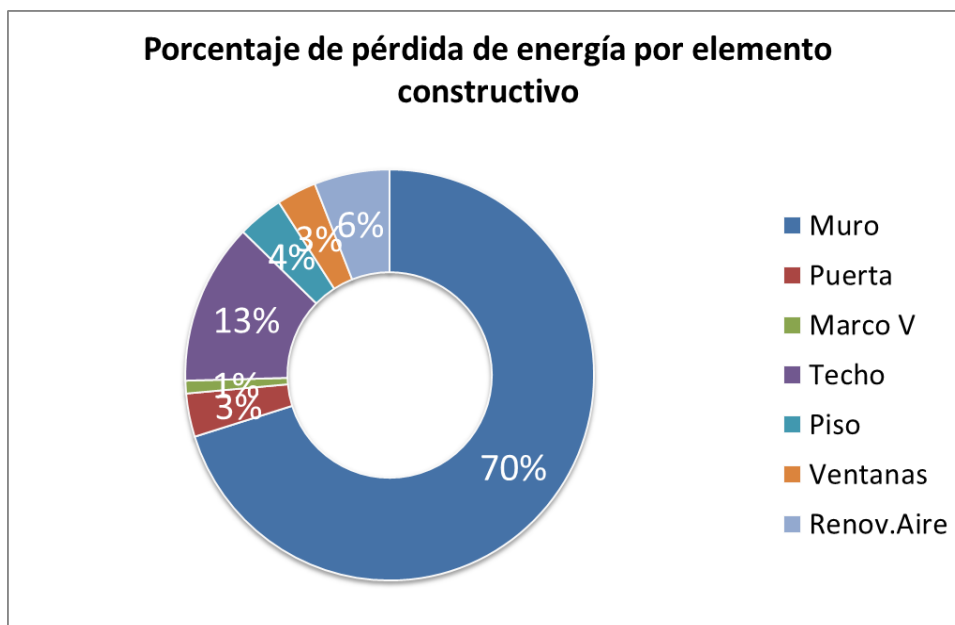


Figura 129. Representación porcentual de las pérdidas de energía acumulada en el ambiente Norte.

Dado a que en esta parte hay manejo u operatividad de las contraventanas, se compara con la configuración sin contraventanas (punto 5.8.1.3) para determinar el aporte en la reducción de la velocidad de transferencia de calor referente a las pérdidas del interior al exterior en el ambiente Sur. La comparación se realiza entre las configuraciones 1, 2, 5, 6, 7, 8, 9, 11 y 12 donde hubo manejo de las contraventanas. La tabla 49 muestra los resultados de dicha comparación. Se infiere de la tabla que mediante el uso de la contraventana se logra reducir la velocidad de transferencia de calor en 8.46W como promedio diario.

Tabla 49. Promedio diario de la velocidad de transferencia de calor para las pérdidas y ganancias por etapas de medida.

Medidas	Sin uso de CV	Uso de CV
	[W]	[W]
Configuración 1	-17.61	-9.95
Configuración 2	-17.85	-10.36
Configuración 5	-19.35	-12.27
Configuración 6	-19.26	-11.51
Configuración 7	-27.52	-17.81
Configuración 8	-28.61	-18.92
Configuración 9	-29.26	-19.92
Configuración 11	-25.17	-17.30
Configuración 12	-31.05	-21.54

Asimismo, la figura 130 grafica la reducción en la velocidad de transferencia de calor con el uso de la contraventana en las horas nocturnas para evitar que parte del calor almacenado en el interior del MEV durante el día, se pierda por el vidrio.

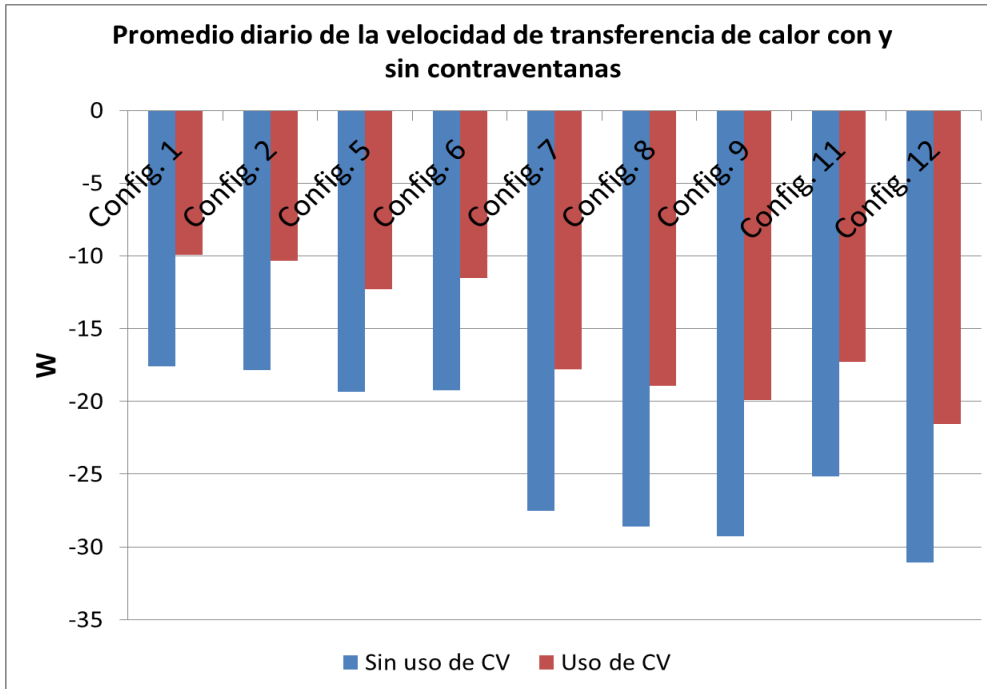


Figura 130. Velocidad de transferencia de calor con el uso de contraventanas en el ambiente Norte del MEV.

La figura 131 representa los valores porcentuales de la reducción de pérdidas de la velocidad de transferencia de calor por ventanas según configuraciones de medidas con el uso de las contraventanas. En promedio se logra reducir 11% la velocidad de transferencia de calor.

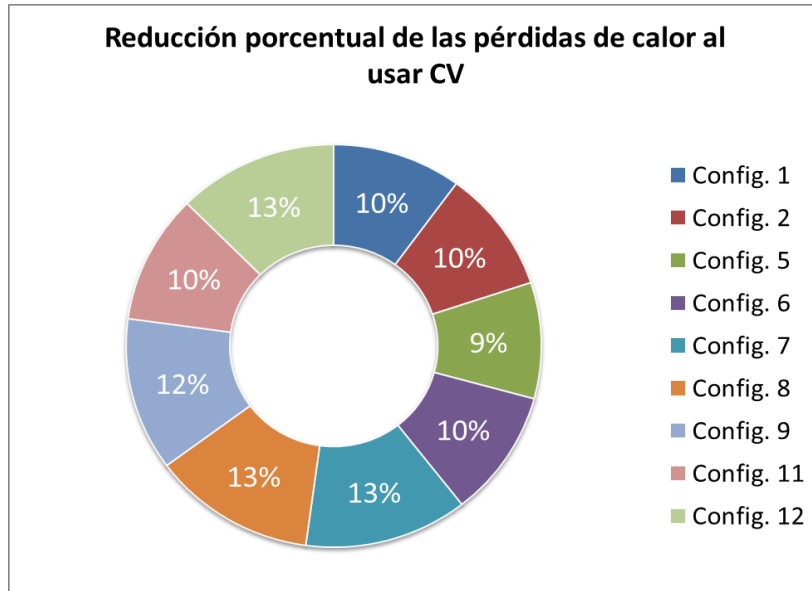


Figura 131. Gráfica porcentual de la reducción de la velocidad de transferencia de calor según configuraciones de medida al usar las contraventanas (CV) en el ambiente Norte del MEV.

5.8.2.4 Ganancias de energía en el ambiente Norte

La tabla 50 muestra los resultados acumulados de las ganancias de energía por paredes y techos opacos, acristalamientos, y cargas internas para las configuraciones que comprendieron su medida y/o funcionamiento. El total acumulado de energía ganada es 2430.65kWh. En la configuración 10 se alcanzan las mayores ganancias de energía acumulada dado a que dicha

configuración comprendió los mayores días de medida (45 días), la configuración 2 con 34 días de medida y la configuración 6 con 28 días de medidas. El promedio diario para las configuraciones del 1 al 5 (épocas de helada y frío extremo), es de 13.67kWh/día. La pernoctación la realizaron 2 adultos y un niño, se consideró 72W para la realización de dicha actividad por cada persona. Para la actividad humana se consideró 126W realizando trabajo de oficina. La laptop es de 62W de potencia y la cocina a gas utilizándola una hora al día aporta 1700W.

Tabla 50. Energía acumulada ganada en el ambiente Norte.

Medidas	Muros	Techo	Vent.	Pern.	Act. Hum.	Coc. Gas	Laptop	Tubo Rad.	Total	Eg./día
	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh]	[kWh/día]
Etapa 1	278.80	40.29	55.57	-	-	-	-	-	374.66	14.99
Etapa 2	281.27	57.08	75.28	-	-	-	-	8.38	422.00	12.41
Etapa 3	165.30	37.32	34.12	-	-	-	-	-	236.74	15.78
Etapa 4	100.68	25.91	27.98	-	-	-	-	-	154.57	11.89
Etapa 5	101.05	27.92	28.20	-	-	-	-	15.54	172.71	13.29
Etapa 6	154.87	51.63	61.22	-	-	47.60	-	17.23	332.65	11.88
Etapa 7	24.50	10.94	16.30	-	-	13.60	-	9.73	75.07	9.38
Etapa 8	14.14	8.38	16.09	-	-	13.60	-	8.79	61.00	7.62
Etapa 9	-6.03	1.20	5.96	-	-	5.10	-	4.18	10.41	3.47
Etapa 10	250.06	76.92	93.87	-	-	-	-	-	420.85	9.35
Etapa 11	32.87	14.61	34.81	-	-	28.90	-	16.89	128.08	7.53
Etapa 12	1.30	3.30	9.75	8.46	3.2	8.50	3.15	4.42	42.02	8.40
									TOTAL	Prom.
									2430.65	10.50

Vent.: Ventanas, Pern.: Pernoctación, Act. Hum: Actividad Humana, Coc. Gas: Cocinas a Gas, Eg: Energía ganada.

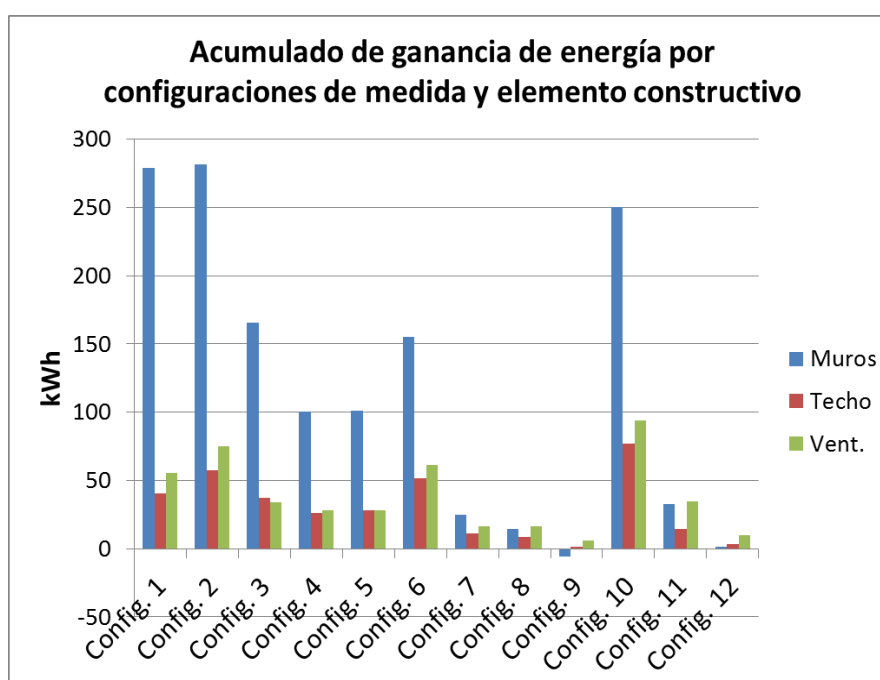


Figura 132. Ganancia de energía por elementos constructivos en el ambiente Norte.

La figura 132 es la gráfica de los principales elementos constructivos por donde se gana la mayor energía. El acumulado de energía para todas las configuraciones de medida y elementos constructivos principales como los muros es 1398.81kWh, ventanas 459.15kWh, y techo 355.47kWh.

La figura 133 es la representación porcentual de las ganancias de energía acumuladas por día por los elementos constructivos opacos (muro y techo), acristalamiento, cocina a gas y tubo radiante. Se gana el 58% por muros, 19% por las ventanas, 15% por techos, 3% por el sistema tubo radiante, y 5% por la cocina a gas.

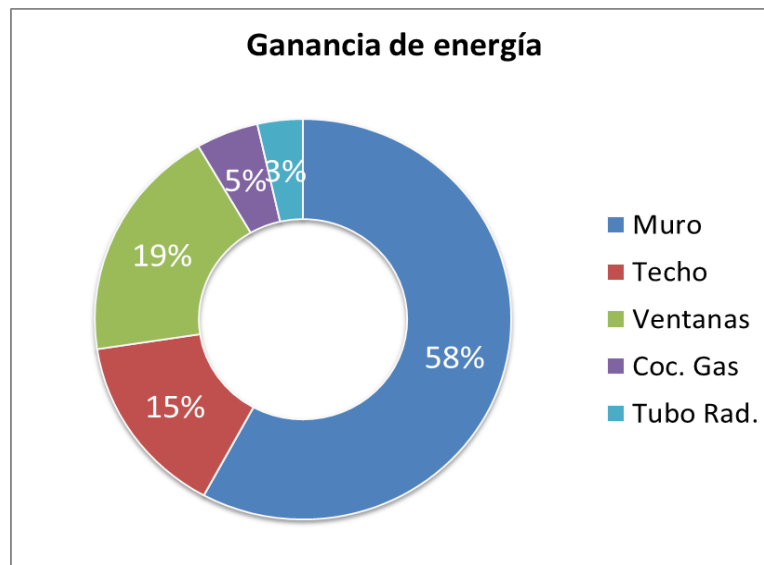


Figura 133. Representación porcentual de las ganancias de energía en el ambiente Norte.

Las ganancias de la velocidad de transferencia de calor con el uso de las contraventanas se registran en la tabla 51 y figura 134. En promedio existe una ganancia de calor de 11%, este porcentaje es lo mismo que se evita perder cuando se maneja las contraventanas.

Tabla 51. Velocidad de transferencia de calor con y sin uso de contraventanas.

Medidas	Sin uso de CV	Con uso de CV
	[W]	[W]
Configuración 1	88.71	96.36
Configuración 2	88.48	95.95
Configuración 5	86.98	94.04
Configuración 6	87.06	94.79
Configuración 7	78.81	88.49
Configuración 8	77.72	87.38
Configuración 9	77.07	86.37
Configuración 11	81.16	89.00
Configuración 12	75.28	84.76

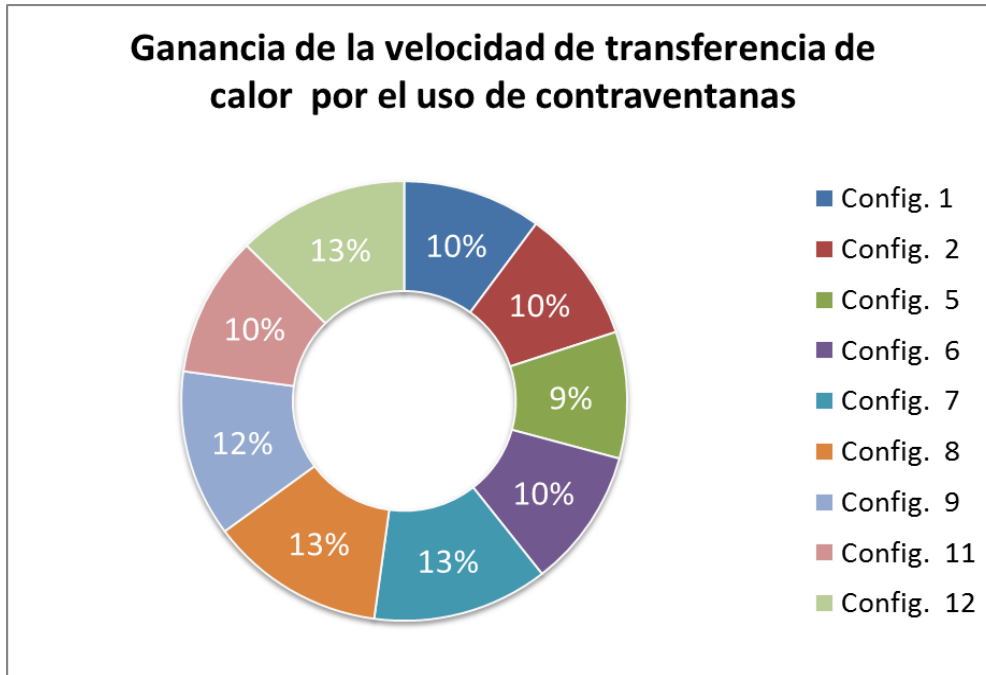


Figura 134. Representación porcentual de las ganancias de la velocidad de transferencia de calor por etapa de medida en el ambiente Norte utilizando contraventanas.

En resumen, el análisis del balance térmico del MEV para todas las configuraciones de medida (8 meses) y el caso sin control de contraventanas, sin sistemas de calefacción, y sin pernoctación ni actividad humana, da como resultado:

- Total de energía en el ambiente Sur = 679.02kWh
- Total de energía en el ambiente Norte = -65.9kWh
- TOTAL DE ENERGÍA EN EL MEV = 613.12kWh
- Energía diaria en el MEV = 2.55kWh

Para el caso de análisis térmico del MEV con el control de las contraventanas, con sistemas de calefacción, pernoctación y ocupación humana, se tiene como resultado:

- Total de energía en el ambiente Sur = 1123.09kWh
- Total de energía en el ambiente Norte = 407.31kWh
- TOTAL DE ENERGÍA EN EL MEV = 1530.40kWh
- Energía diaria en el MEV = 6.37kWh

5.9 Simulaciones del MEV utilizando OpenStudio y EnergyPlus

Se muestra los resultados de la simulación en OpenStudio para el caso de mantener la temperatura interior del MEV a 20°C. La figura 135 es la gráfica que arroja el OpenStudio donde como era de esperar el 99% de todo el año requiere de calentamiento.

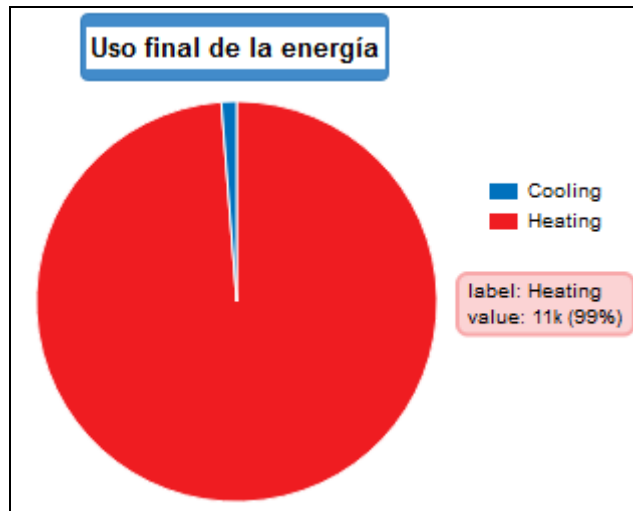


Figura 135. Requerimiento energético en calentamiento y enfriamiento del MEV.

La tabla 52 muestra los resultados de la simulación con OpenStudio para mantener la temperatura interior del MEV a 20°C, se aprecia los requerimientos mensuales de energía acumulada donde para el mes de julio época de heladas hace falta 404.34kWh, en promedio diario para este mes se requiere 13.04kWh para mantener la temperatura a 20°C en los ambientes interiores. El total acumulado anual en calentamiento es 3363.64kWh, para enfriamiento el requerimiento anual acumulado es 41.02kWh principalmente en noviembre y diciembre. Por tanto el total acumulado en requerimiento energético es 3404.66kWh (el promedio diario sería 9.45kWh).

Tabla 52. Requerimiento mensual de cargas de calentamiento y enfriamiento para mantener los ambientes interiores del MEV a 20°C.

Meses	Prom. Temp. Exterior (°C)	Carga de enfriamiento (kWh)	Carga de calentamiento (kWh)
Enero	9.05	0.00	284.21
Febrero	9.22	0.00	272.49
Marzo	10.38	2.93	240.26
Abril	9.72	2.93	243.19
Mayo	9.11	2.93	301.79
Junio	7.83	0.00	336.95
Julio	6.50	0.00	404.34
Agosto	8.00	2.93	322.30
Septiembre	8.66	2.93	290.07
Octubre	9.55	5.86	243.19
Noviembre	10.16	11.72	199.24
Diciembre	10.22	8.79	225.61

La figura 136 representa graficamente los requerimientos energéticos de la tabla 52 y es notorio los requerimientos de mayor calentamiento de junio a agosto meses de heladas y frío extremo. Se observa un mínimo de refrigeración para los meses de noviembre a diciembre.

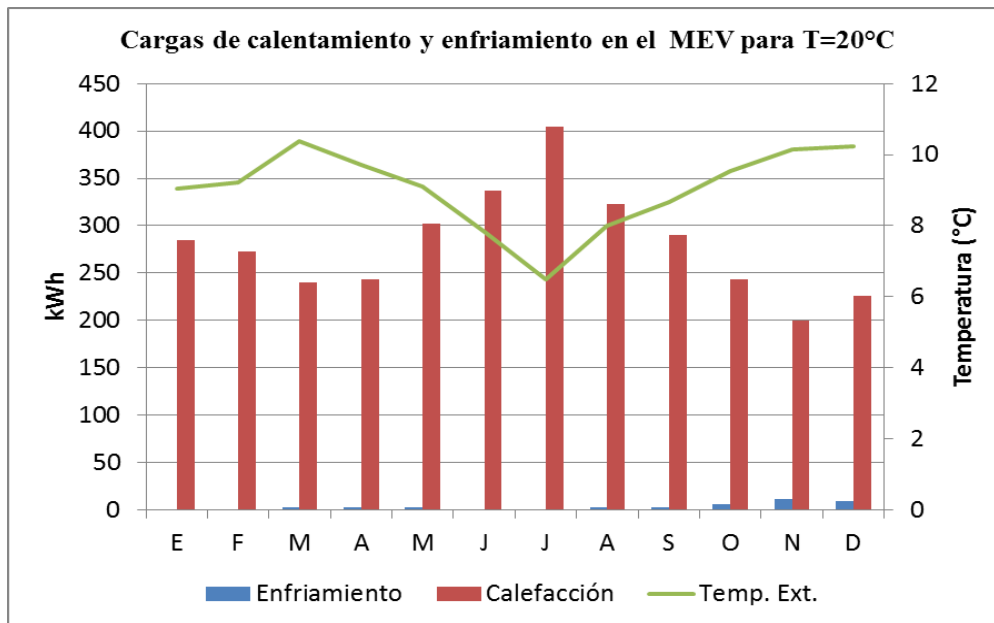


Figura 136. Gráfica de los requerimientos de calentamiento y enfriamiento para mantener la temperatura interior del MEV a 20°C.

Para el caso de la temperatura neutra o de confort determinada según modelo adaptativo de Humphreys cuyo resultado es 16.86°C, los requerimientos en calentamiento y enfriamiento para mantener dicha temperatura constante en los ambientes interiores del MEV se muestran en la tabla 53 y gráfica en la figura 137.

De la tabla 53 y figura 137 el mes de mayor requerimiento en calefacción es el mes de julio con 246.12kWh, con un requerimiento diario de energía de 8.13kWh para mantener la temperatura interior constante en 16.86°C. El total de energía anual acumulada es 1936.73kWh (el promedio diario sería 5.37kWh). Siendo 1696.47kWh para calentamiento y 240.26kWh para enfriamiento.

Tabla 53. Requerimiento mensual de cargas de calentamiento y enfriamiento para mantener la temperatura interior de los ambientes del MEV a 16.86°C.

Meses	Prom. Temp. Exterior (°C)	Carga de enfriamiento (kWh)	Carga de calentamiento (kWh)
Enero	9.05	11.72	134.78
Febrero	9.22	8.79	137.71
Marzo	10.38	23.44	102.55
Abril	9.72	20.51	108.41
Mayo	9.11	14.65	155.29
Junio	7.83	8.79	187.52
Julio	6.50	5.86	246.12
Agosto	8.00	17.58	175.8
Septiembre	8.66	17.58	152.36
Octubre	9.55	32.23	114.27
Noviembre	10.16	46.88	84.97
Diciembre	10.22	32.23	96.69

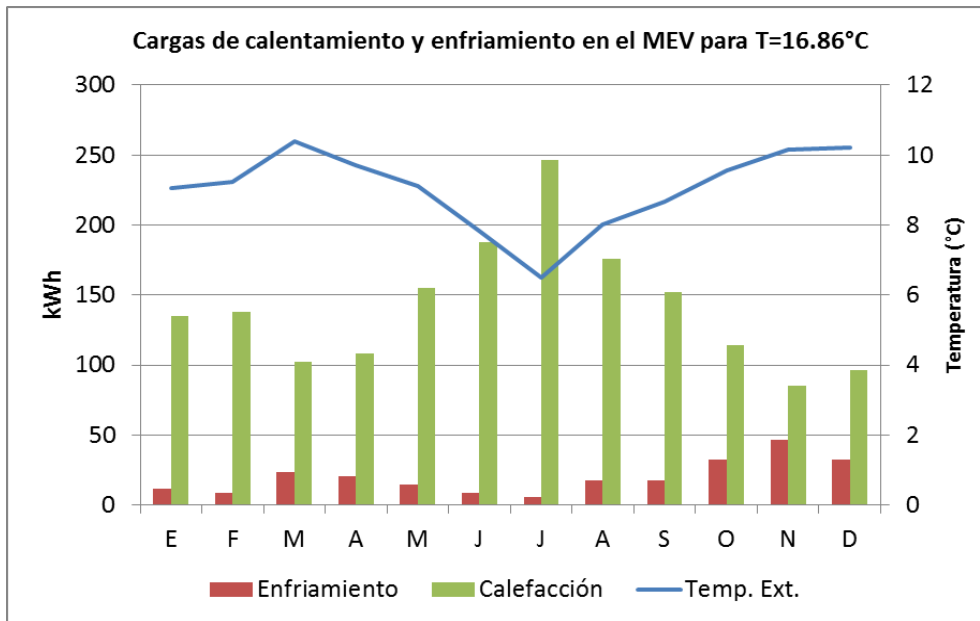


Figura 137. Gráfica de los requerimientos de calentamiento y enfriamiento para mantener el interior del MEV a 16.86°C.

De la tabla 52 se infiere que el MEV requiere en calefacción un acumulado anual de 3363.64kWh para mantener la temperatura interior en 20°C mientras que, para mantener una temperatura de neutralidad de 16.86°C requiere un acumulado anual de 1696.47kWh según tabla 53 ahorrando un total de energía de aproximadamente el 50% utilizando el modelo adaptativo de humphreys. Los modelos estandarizados de confort térmico infieren que la temperatura que la zona de confort se encuentra en el rango de 20.5°C a 26.7°C como es el caso para los Estados Unidos (Brooks, 1976), clima muy diferente a lo nuestro que si nos guiamos de ello, estaríamos sobreestimando la demanda energética en calefacción o refrigeración. Según el modelo adaptativo utilizado para san Francisco de Raymina la zona de confort se encuentra en el rango de 13.86°C a 19.86°C.

En lo que sigue se trabajara con el programa EnergyPlus dado a que se ya tiene el diseño del MEV en 3D, el archivo de clima, los materiales, elementos constructivos y horarios en el OpenStudio. El archivo para el EnergyPlus se crea desde el SketchUp de la barra de herramientas de OpenStudio dadole clic en el icono IDF.

La simulación con EnergyPlus consistirá en validar los datos comparando los resultados de las temperaturas interiores medidas o reales, con las obtenidas en la simulación.

Al abrir el archivo aparece la pantalla EP-Launch de la figura 138 donde se carga el archivo de trabajo y archivo de clima, además, desde esta ventana se ejecuta la simulación y se obtienen los resultados de las variables de salida así como los errores a corregir en caso el programa no se ejecute correctamente.

Al hacer clic en IDF Editor se ingresa al uso de los diferentes comandos que se desea aplicar al diseño de la edificación así como la elección de las diferentes variables de salida. La figura 139 muestra todos los comandos utilizados en la aplicación al MEV.

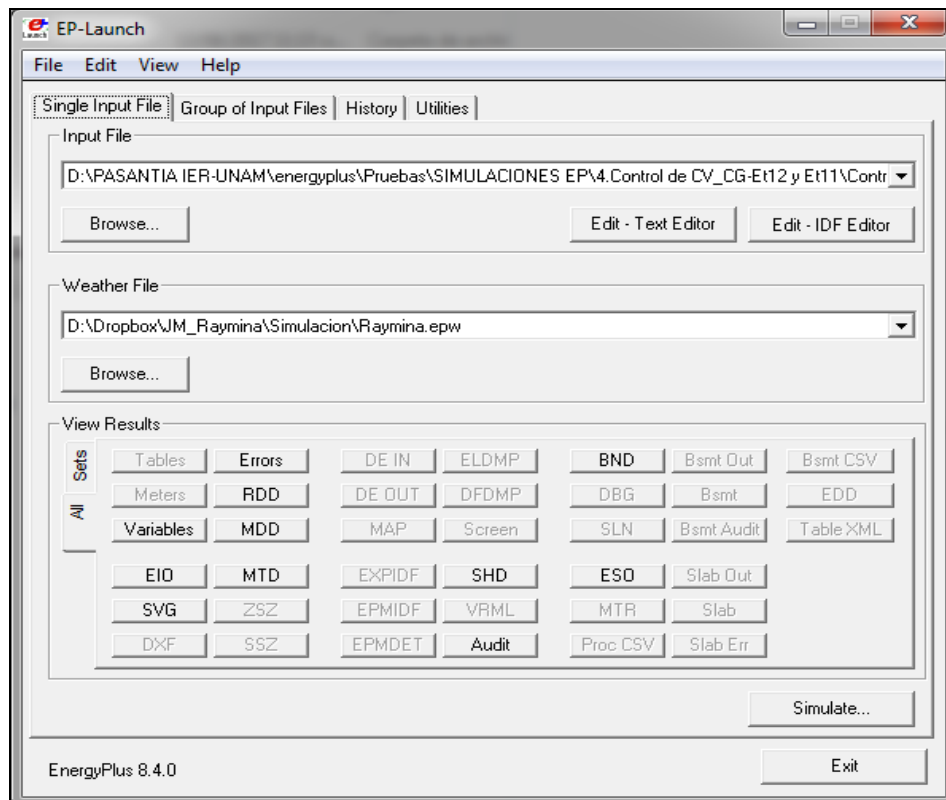


Figura 138. Ventana EP-Launch de inicio de simulación del EnergyPlus.

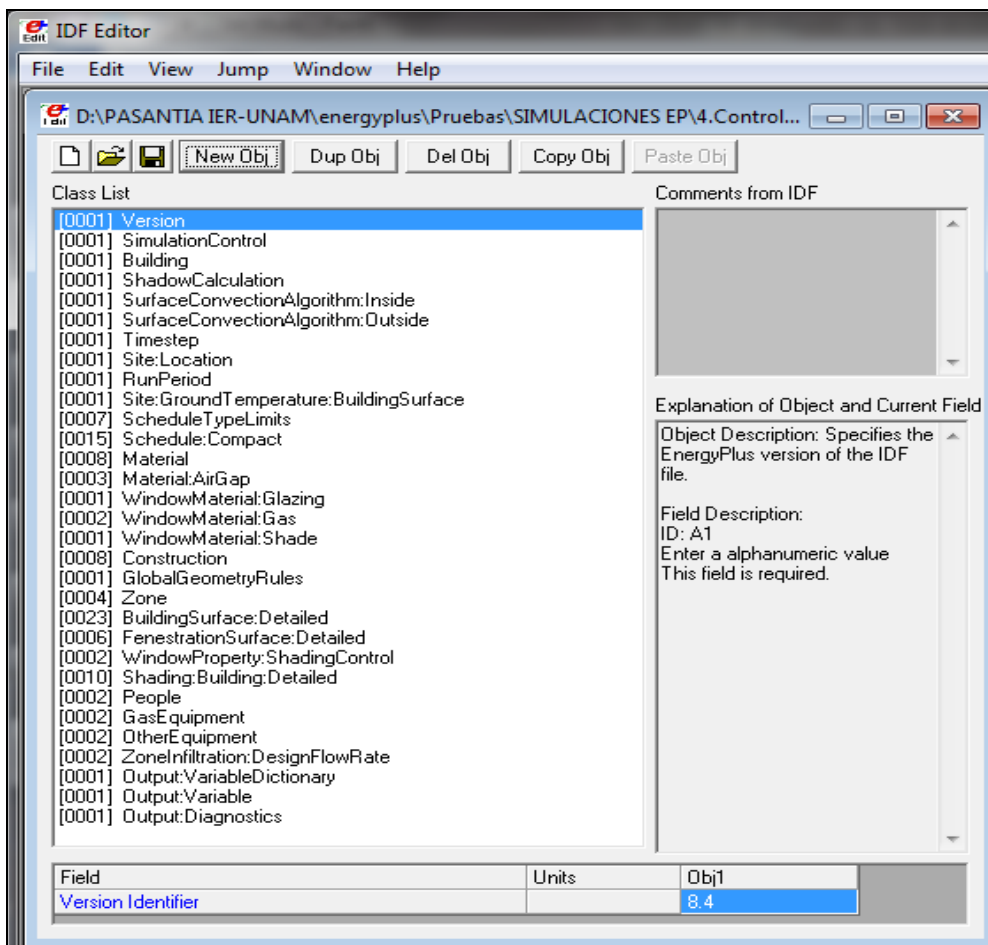


Figura 139. Ventana IDF Editor del EnergyPlus.

5.9.1 Caso 1: MEV sin contraventana, sin contrapuerta, sin sistemas de calefacción, y sin ocupación ni actividad humana las 24 horas del día.

Esta caso la simulacion coincide con la configuración 4 de medida de las temperaturas interiores en el MEV, ambiente Sur y Norte. En breve se muestran los principales comandos utilizados y algunos datos que han sido cargados para la simulación de este caso.

a) La versión del EnergyPlus es el 8.4.

Field	Units	Obj1
Version Identifier		8.4

Figura 140. Campo para definir la versión del EnergyPlus.

b) El control de la simulación es mediante el uso de un archivo de clima.

Field	Units	Obj1
Do Zone Sizing Calculation		No
Do System Sizing Calculation		No
Do Plant Sizing Calculation		No
Run Simulation for Sizing Periods		No
Run Simulation for Weather File Run Periods		Yes
Do HVAC Sizing Simulation for Sizing Periods		

Figura 141. Campo para definir el tipo de archivo para la simulación.

c) Parámetros de simulación del edificio.

Field	Units	Obj1
Name		Raymina
North Axis	deg	0
Terrain		Country
Loads Convergence Tolerance Value		0.04
Temperature Convergence Tolerance Value	deltaC	0.4
Solar Distribution		FullInteriorAndExteriorWithReflections
Maximum Number of Warmup Days		25
Minimum Number of Warmup Days		

Figura 142. Campo para ingresar los parámetros del edificio.

d) Se usa el algoritmo TARP basado en un coeficiente de convección natural variable según diferencias de temperatura entre el medio y el edificio. Para interiores y exteriores.

Field	Units	Obj1
Algorithm		TARP

Figura 143. Campo para definir el tipo de algoritmo para la simulación.

e) La localización del edificio.

Field	Units	Obj1
Name		Raymina_Ayacuch o
Latitude	deg	-13.74
Longitude	deg	-73.88
Time Zone	hr	-5
Elevation	m	3700

Figura 144. Campo para ingresar datos del sitio donde se ubica el edificio.

f) Periodo o tiempo de ejecución de la simulación.

Field	Units	Obj1
Name		Etapa_04
Begin Month		10
Begin Day of Month		12
End Month		10
End Day of Month		24
Day of Week for Start Day		UseWeatherFile
Use Weather File Holidays and Special Days		Yes
Use Weather File Daylight Saving Period		Yes
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		Yes
Number of Times Runperiod to be Repeated		1
Increment Day of Week on repeat		Yes

Figura 145. Campo para definir los tiempos de simulación.

g) Ingreso de la temperatura del suelo.

Field	Units	Obj1
January Ground Temperature	C	13.04
February Ground Temperature	C	12.98
March Ground Temperature	C	12.89
April Ground Temperature	C	12.55
May Ground Temperature	C	12.41
June Ground Temperature	C	11.49
July Ground Temperature	C	11.03
August Ground Temperature	C	10.57
September Ground Temperature	C	10.8
October Ground Temperature	C	11.44
November Ground Temperature	C	12.15

Figura 146. Campo para ingresar los datos de temperatura mensual del suelo.

h) Ingreso de algunos horarios tipos.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5
Name		Fraction	Temperature	On/Off	Control Type	Humidity
Lower Limit Value	varies	0	-60	0	0	10
Upper Limit Value	varies	1	200	1	4	90
Numeric Type		CONTINUOUS	CONTINUOUS	DISCRETE	DISCRETE	CONTINUOUS
Unit Type						

Figura 147. Campo para crear horarios.

i) Ingreso de horario reducido. Se utiliza para definir con qué frecuencia suceden un conjunto de fenómenos y operaciones. Se crea los horarios para controlar la contraventana.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Always On	Always Off	Calendario_CV	Calendario_CV_Nor	Calendario_CV_Sur	CV_N	CV_S
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction	On/Off	Fraction	Fraction	On/Off	On/Off
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 10/24	Through: 10/24	Through: 10/24	Through: 10/24
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 6:00	Until: 10:00	Until: 6:00	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 4	varies	1	0	1	0.005	0.1	0	0
Field 5	varies			Until: 18:00	Until: 15:00	Until: 18:00	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 6	varies			0	1	0.1	For: AllDays	For: AllDays
Field 7	varies			Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 8	varies			1	0.005	0.1	0	0
Field 9	varies				Through: 12/31	Through: 12/31		
Field 10	varies				For: AllDays	For: AllDays		
Field 11	varies				Until: 6:00	Until: 7:00		
Field 12	varies				0.1	1		
Field 13	varies				Until: 18:00	Until: 18:00		
Field 14	varies				0.1	0.01		
Field 15	varies				Until: 24:00	Until: 24:00		
Field 16	varies				0.1	1		

Figura 148. Campo para crear horarios más específicos.

j) Materiales.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Tarrajeo Barro	Adobe	Hoja de madera	Triplay	Suelo de tierra	Polietileno
Roughness		MediumRough	MediumRough	MediumSmooth	MediumSmooth	MediumRough	MediumSmooth
Thickness	m	0.02	0.4	0.02	0.004	0.02	0.0002
Conductivity	W/m-K	0.9	0.9	0.18	0.14	0.52	0.5
Density	kg/m3	2000	1800	664	560	2000	980
Specific Heat	J/kg-K	1840	1840	1600	1400	1840	1800
Thermal Absorptance					0.9		0.9
Solar Absorptance					0.7		0.7
Visible Absorptance					0.7		0.7

Figura 149. Campo para el ingreso de materiales.

k) Cámaras de aire

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		Camara de aire Vert. 65cm	Camara de aire Horiz. 5cm	Camara de aire Vert. 3.2cm
Thermal Resistance	m2-K/W	0.16	0.16	0.17

Figura 150. Campo para el ingreso de las cámaras de aire.

l) Material de ventana.

Field	Units	Obj1
Name		Vidrio simple 3mm
Optical Data Type		SpectralAverage
Window Glass Spectral Data Set Name		
Thickness	m	0.003
Solar Transmittance at Normal Incidence		0.837
Front Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.075
Back Side Solar Reflectance at Normal Incidence		0.075
Visible Transmittance at Normal Incidence		0.898
Front Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081
Back Side Visible Reflectance at Normal Incidence		0.081
Infrared Transmittance at Normal Incidence		0
Front Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84
Back Side Infrared Hemispherical Emissivity		0.84
Conductivity	W/m-K	0.9
Dirt Correction Factor for Solar and Visible Transmittance		
Solar Diffusing		
Young's modulus	Pa	
Poisson's ratio		

Figura 151. Campo para ingresar el material de ventana.

m) Gases al interior de ventanas.

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Camara de aire 10mm	Camara de aire 10cm
Gas Type		Air	Air
Thickness	m	0.01	0.1
Conductivity Coefficient A	W/m-K		
Conductivity Coefficient B	W/m-K2		
Conductivity Coefficient C	W/m-K3		
Viscosity Coefficient A	kg/m-s		
Viscosity Coefficient B	kg/m-s-K		
Viscosity Coefficient C	kg/m-s-K2		
Specific Heat Coefficient A	J/kg-K		
Specific Heat Coefficient B	J/kg-K2		
Specific Heat Coefficient C	J/kg-K3		
Molecular Weight	g/mol		
Specific Heat Ratio			

Figura 152. Campo para definir el tipo de gas al interior de las cámaras de aire.

n) Material para sombra de ventana (Window material: Shade)

Field	Units	Obj1
Name		Contraventana
Solar Transmittance	dimensionless	0
Solar Reflectance	dimensionless	0.3
Visible Transmittance	dimensionless	0
Visible Reflectance	dimensionless	0.3
Infrared Hemispherical Emissivity	dimensionless	0.1
Infrared Transmittance	dimensionless	0
Thickness	m	0.02
Conductivity	W/m-K	0.18
Shade to Glass Distance	m	0.1
Top Opening Multiplier		0
Bottom Opening Multiplier		0
Left-Side Opening Multiplier		0
Right-Side Opening Multiplier		0
Airflow Permeability	dimensionless	0

Figura 153. Campo para definir el tipo de material de la contraventana.

o) Construcción.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Interior Ceiling	Exterior Window	Exterior Door	Interior Floor
Outside Layer		Suelo de tierra	Tarrajeo Barro	Adobe	Aluzinc	Aluzinc	Vidrio simple 3mm	Triplay	Aluzinc
Layer 2		Poliuretano	Adobe			Poliuretano expandido	Camara de aire 10mm	Camara de aire Vert. 3.2cm	Poliuretano expandido
Layer 3		Camara de aire Horiz. 5cm				Aluzinc	Vidrio simple 3mm	Triplay	Aluzinc
Layer 4		Aluzinc							
Layer 5		Poliuretano expandido							
Layer 6		Aluzinc							

Figura 154. Campo para crear los elementos constructivos del MEV.

p) Detalles de las subsuperficies

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6
Name		Dorm.Sur_Puerta.Sur	Dorm.Norte_Puerta.Norte	Dorm.Sur_Vent.Este	Dorm.Norte_Vent.Este	Dorm.Norte_Vent.Oeste	Dorm.Sur_Vent.Oeste
Surface Type		Door	Door	Window	Window	Window	Window
Construction Name		Exterior Door	Exterior Door	Exterior Window	Exterior Window	Exterior Window	Exterior Window
Building Surface Name		Dorm.Sur_Pared.Sur	Dorm.Norte_Pared.Norte	Dorm.Sur_Pared.Este	Dorm.Norte_Pared.Este	Dorm.Norte_Pared.Oeste	Dorm.Sur_Pared.Oeste
Outside Boundary Condition Object							
View Factor to Ground							
Shading Control Name				Control_CV_S	Control_CV_N	Control_CV_N	Control_CV_S

Figura 155. Campo de detalles de las puertas y ventanas.

q) Propiedades de las ventanas: control de las sombras

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Control_CV_N	Control_CV_S
Shading Type		InteriorShade	InteriorShade
Construction with Shading Name			
Shading Control Type		OnIfScheduleAllows	OnIfScheduleAllows
Schedule Name		CV_N	Calendario_CV
Setpoint	W/m2, W or deg C		
Shading Control Is Scheduled		Yes	Yes
Glare Control Is Active		No	No
Shading Device Material Name		Contraventana	Contraventana

Figura 156. Campo para ingresar el control de las contraventanas.

r) Variables de salida.

Field	Units	Obj1
Key Value		*
Variable Name		Zone Air Temperature
Reporting Frequency		Hourly
Schedule Name		

Figura 157. Campo para definir las variables de salida de la simulación.

Al ejecutar el programa para comparar la temperatura interior simulada en el ambiente Sur (Ti S Sim.) y la temperatura interior medida (Ti S) con respecto a la configuración 4, se obtiene las siguientes gráficas para el ambiente Sur y Norte.

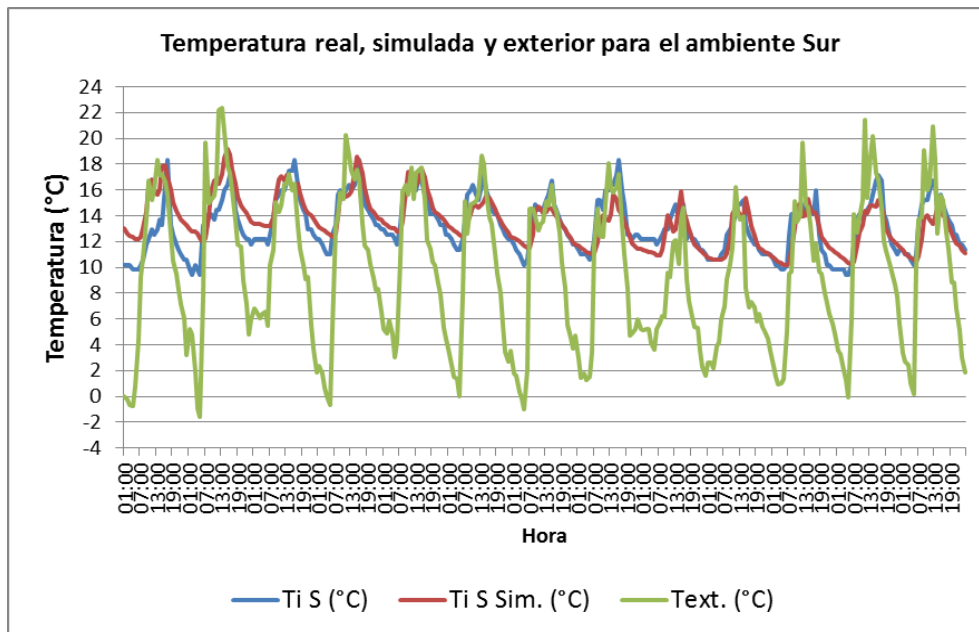


Figura 158. Comportamiento de la temperatura del ambiente Sur, medido (Ti S) y simulado (Ti S Sim.), frente a la temperatura exterior para la configuración 4 de medida.

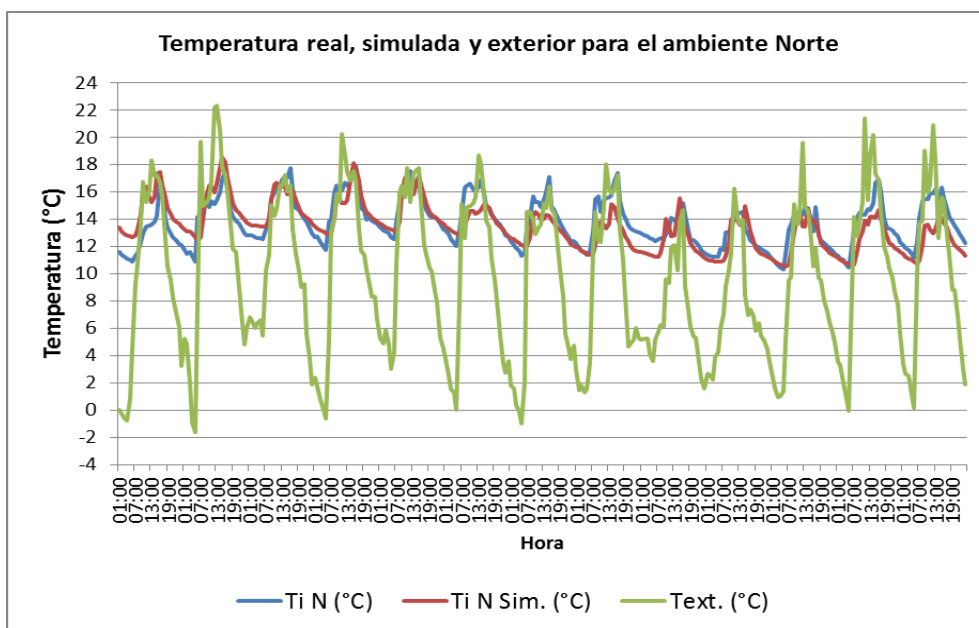


Figura 159. Comportamiento de la temperatura interior del ambiente Norte, medido (Ti N) y simulado (Ti N Sim.), frente a la temperatura exterior para la configuración 4 de medida.

De ambas gráficas se puede asegurar que el programa está leyendo correctamente los datos ingresados dado el comportamiento gráfico de las temperaturas interiores entre lo real medido y simulado que incluso coinciden en la forma del recorrido, además de que la temperatura exterior no desentona a dicho comportamiento.

Por lo general lo medido con lo simulado no necesariamente deben ser iguales dado a que el programa considera la creación de elementos constructivos por capas homogéneas y herméticas cosa que en lo real no es del todo cierto. Siempre existirá alguna infiltración o puente térmico mínimo que repercuta en los resultados simulados. Por ejemplo los pisos o vanos de puertas y ventanas no son del todo hermético ni los encuentros muro techo.

Las diferencias notorias entre la temperatura real y simulada al inicio casi siempre se van a presentar dado a que viene de un estado diferente de evaluación de los ambientes interiores para pasar repentinamente a otro y esto repercute en las temperaturas y por ende en el comportamiento térmico de los materiales o inercia térmica.

Ante ello, nos preguntaríamos, ¿hasta qué valor de diferencia de temperatura entre lo real y simulado puede considerarse aceptable para validar el software?, según la experiencia de investigadores del grupo en “Energía en Edificaciones” del Instituto de Energías Renovables de la UNAM (Rojas et al., 2016), una diferencia de temperaturas entre lo real y simulado de hasta 2°C es aceptable. En nuestro caso en promedio para la configuración de medida 4 esa diferencia es de 0.25°C en el ambiente Sur, y 0.27°C en el ambiente Norte. Con un porcentaje de error promedio en ambos ambientes de 11.5%.

El porcentaje de error se calcula normalizando la diferencia entre la temperatura de medición y las temperaturas simuladas usando la variación total de la temperatura durante el período de medición (Mateus et al., 2014).

$$Prom.Error(\%) = \frac{100\%}{n} \times \sum_{i=1}^n \left| \frac{Tsim_i - Tmed_i}{Tmed_{m\acute{a}x} - Tmed_{m\acute{i}n}} \right| \quad (23)$$

5.9.2 Caso 2: MEV con contraventanas, con contrapuertas, sin sistemas de calefacción, sin pernoctación ni actividad humana las 24 horas del día

Para este caso, cambiamos las fechas para el periodo de simulación dado a que este caso coincide con la configuración 3 de medidas.

a) Periodo de simulación

Field	Units	Obj1
Name		Etapa 03
Begin Month		9
Begin Day of Month		27
End Month		10
End Day of Month		11
Day of Week for Start Day		UseWeatherFile
Use Weather File Holidays and Special Days		Yes
Use Weather File Daylight Saving Period		Yes
Apply Weekend Holiday Rule		No
Use Weather File Rain Indicators		Yes
Use Weather File Snow Indicators		Yes
Number of Times Runperiod to be Repeated		1

Figura 160. Ingreso de las fechas de la etapa 3 de medida.

b) Construcción

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7	Obj8
Name		Exterior Floor	Exterior Wall	Interior Wall	Exterior Roof	Interior Ceiling	Exterior Window	Exterior Door	Interior Floor
Outside Layer		Suelo de tierra	Tarrajeo Barro	Adobe	Aluzinc	Aluzinc	Vidrio simple 3mm	Triplay	Aluzinc
Layer 2		Poliuretano	Adobe			Poliuretano expandido	Camara de aire 10mm	Camara de aire Vert. 3.2cm	Poliuretano expandido
Layer 3		Camara de aire Horiz. 5cm				Aluzinc	Vidrio simple 3mm	Triplay	Aluzinc
Layer 4		Aluzinc						Camara de aire Vert. 65cm	
Layer 5		Poliuretano expandido						Triplay	
Layer 6		Aluzinc						Camara de aire Vert. 3.2cm	
Layer 7								Triplay	

Figura 161. Creación del elemento constructivo de la contraventana.

a) Horario reducido

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Always On	Always Off	Calendario_CV	Calendario_CV_Norte	Calendario_CV_Sur	CV_N	CV_S
Schedule Type Limits Name		Fraction	Fraction	On/Off	Fraction	Fraction	On/Off	On/Off
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 10/24	Through: 10/24	Through: 10/24	Through: 10/24
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 6:00	Until: 10:00	Until: 6:00	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 4	varies	1	0	1	0.1	0.1	1	1
Field 5	varies			Until: 18:00	Until: 15:00	Until: 18:00	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 6	varies			0	0.1	0.1	For: AllDays	For: AllDays
Field 7	varies			Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00	Until: 24:00
Field 8	varies			1	0.1	0.1	1	1
Field 9	varies				Through: 12/31	Through: 12/31		
Field 10	varies				For: AllDays	For: AllDays		
Field 11	varies				Until: 6:00	Until: 7:00		
Field 12	varies				0.1	1		
Field 13	varies				Until: 18:00	Until: 18:00		
Field 14	varies				1	1		
Field 15	varies				Until: 24:00	Until: 24:00		
Field 16	varies				0.1	0.1		
Field 17	varies							

Figura 162. Horarios para el manejo de las contraventanas.

Ejecutando el programa se obtiene los datos de las temperaturas interiores del MEV. Las figuras 163 y 164, representan las gráficas de las temperaturas interiores medidas, simuladas, y exterior.

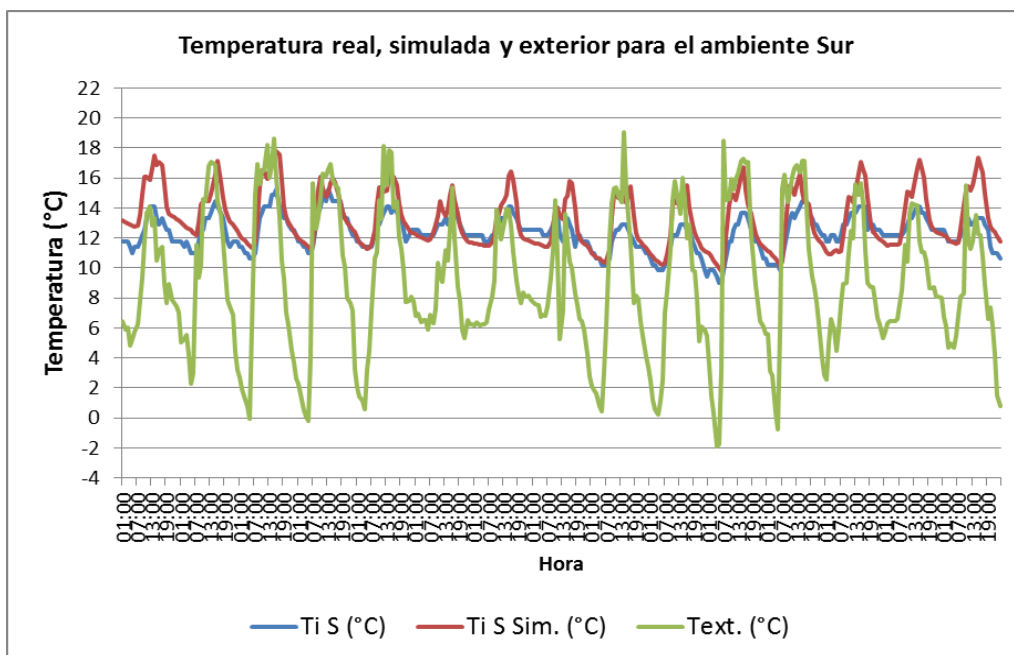


Figura 163. Comportamiento de la temperatura interior del ambiente Sur, medido (Ti S) y simulado (Ti S Sim.), respecto del exterior para la configuración de medida 3.

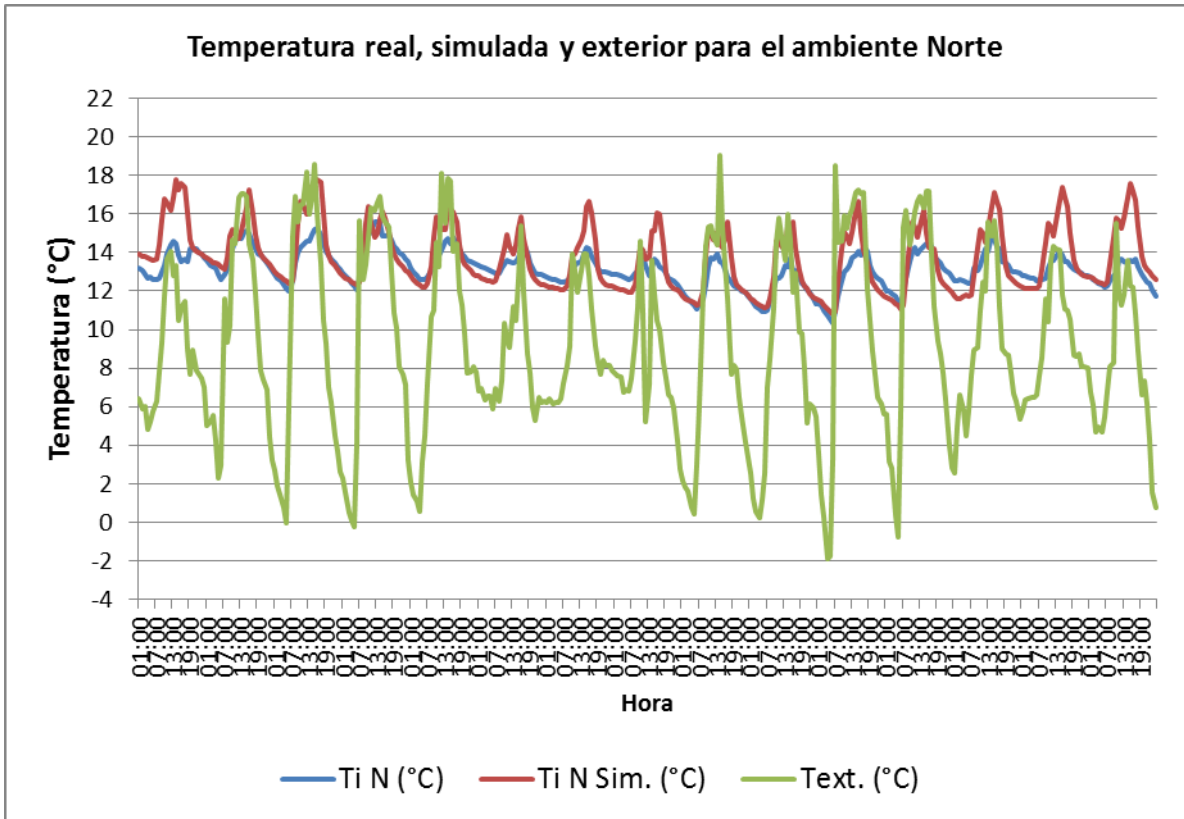


Figura 164. Comportamiento de la temperatura interior del ambiente Norte, medido (Ti N) y simulado (Ti N Sim.), respecto de la temperatura exterior para la configuración de medida 3.

Para este caso de validación existe en promedio horario una diferencia de temperatura interior entre lo real y simulado de 0.89°C en el ambiente Sur, y 0.55°C en el ambiente Norte.

De las gráficas, en el día la temperatura simulada se presenta mucho mayor que las temperaturas medidas, esto debido a las a las infiltraciones de aire caliente que ingresan a los ambientes interiores como resultados del ajuste de las gráficas.

5.9.3 Caso 3: MEV con contraventanas, con contrapuertas, con sistemas de calefacción, cocina a gas, pernoctación y actividad humana

Este caso se simulará para la configuración de medida 12 donde hay control o manejo de las contraventanas, operatividad de los sistemas de calefacción, uso de cocina a gas, pernoctación, y actividad humana por 5 horas.

En el archivo IDF del caso 2, agregamos las cargas internas:

- Número de personas y actividad
- Equipos a gas
- Otros equipos, tubo y muro radiante

El ingreso de datos al archivo se inicia por la modificación del periodo de simulación.

a) Periodo de simulación

Field	Units	Obj1
Name		Etapa_12
Begin Month		2
Begin Day of Month		24
End Month		2
End Day of Month		28

Figura 165. Periodo de simulación para la etapa 12 de medida.

b) Horario tipo limite

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3	Obj4	Obj5	Obj6	Obj7
Name		Fraction	Temperature	On/Off	Control Type	Humidity	nivel de actividad	Personas
Lower Limit Value	varies	0	-60	0	0	10	0	1
Upper Limit Value	varies	1	200	1	4	90	150	3
Numeric Type		CONTINUOUS	CONTINUOUS	DISCRETE	DISCRETE	CONTINUOUS	Continuous	Continuous

Figura 166. Horario límite para el nivel de actividad y cantidad de personas.

c) Horario reducido

Field	Units	Obj9	Obj10	Obj11	Obj12	Obj13	Obj14	Obj15
Name		calendario_CG N	calendario serpentín	calendario tubo	Ocupacion Pers	Cal.Pernoctacion	Act.Hum	Cal. Act.Hum.
Schedule Type		On/Off	On/Off	On/Off	On/Off	nivel de actividad	On/Off	nivel de actividad
Field 1	varies	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31	Through: 12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until:18:00	Until:8:00	Until:6:00	Until:7:00	Until:7:00	Until:9:00	Until:9:00
Field 4	varies	0	0	1	1	72	0	0
Field 5	varies	Until:19:00	Until:17:00	Until:18:00	Until:20:00	Until:20:00	Until:12:00	Until:12:00
Field 6	varies	1	1	0	0	0	1	126
Field 7	varies	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00	Until:24:00	Until:15:00	Until:15:00
Field 8	varies	0	0	1	1	72	0	0
Field 9	varies						Until:17:00	Until:17:00
Field 10	varies						1	126
Field 11	varies						Until:20:00	Until:20:00
Field 12	varies						0	0
Field 13	varies						Until:24:00	Until:24:00
Field 14	varies						1	0

Figura 167. Horario reducido para la cocina a gas, serpentín y tubo radiante, ocupación humana y pernoctación.

d) Personas

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		Pernoctacion Sur	Pernoctacion Norte
Zone or ZoneList Name		Dormitorio_Sur	Dormitorio_Norte
Number of People Schedule Name		Ocupacion Pers	Ocupacion Pers
Number of People Calculation Method		People	People
Number of People		0	3
People per Zone Floor Area	person/m2		
Zone Floor Area per Person	m2/person		
Fraction Radiant		0.3	0.3
Sensible Heat Fraction		autocalculate	autocalculate
Activity Level Schedule Name		Cal.Pernoctacion	Cal.Pernoctacion

Figura 168. Ingreso del número de personas y su actividad.

e) Equipos a gas

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		cocina_gas S	cocina_gas N
Zone or ZoneList Name		Dormitorio_Sur	Dormitorio_Norte
Schedule Name		calendario_CG S	calendario_CG N
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	1400	1700
Power per Zone Floor Area	W/m2		
Power per Person	W/person		

Figura 169. Ingreso de los equipos a gas.

f) Otros equipos

Field	Units	Obj1	Obj2
Name		muro radiante	tubo radiante
Zone or ZoneList Name		Dormitorio_Sur	Dormitorio_Norte
Schedule Name		calendario serpentin	calendario tubo
Design Level Calculation Method		EquipmentLevel	EquipmentLevel
Design Level	W	53.084	43.987
Power per Zone Floor Area	W/m2		
Power per Person	W/person		

Figura 170. Ingreso de otros equipos.

Ejecutando el programa se obtiene los datos de las temperaturas interiores del MEV. Las figuras 171 y 172, representan las gráficas de las temperaturas interiores medidas, simuladas, y exterior. Los picos altos tanto en lo medido como simulado, son debido al encendido de la cocina a gas por una hora en ambos ambientes del MEV, a la misma hora y procurando que el consumo de gas sea el mismo.

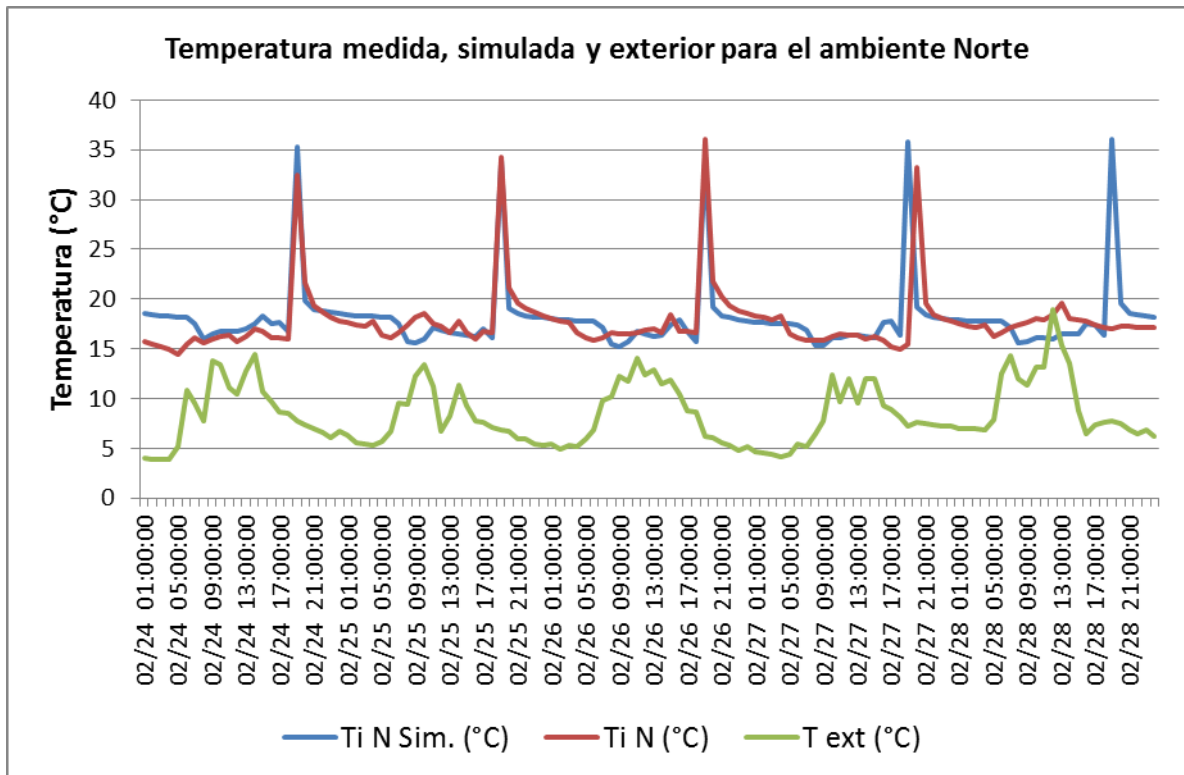


Figura 171. Gráfica de la temperatura interior en el ambiente Norte, medida (Ti N) y simulada (Ti N Sim.), respecto del exterior para la configuración de medida 12.

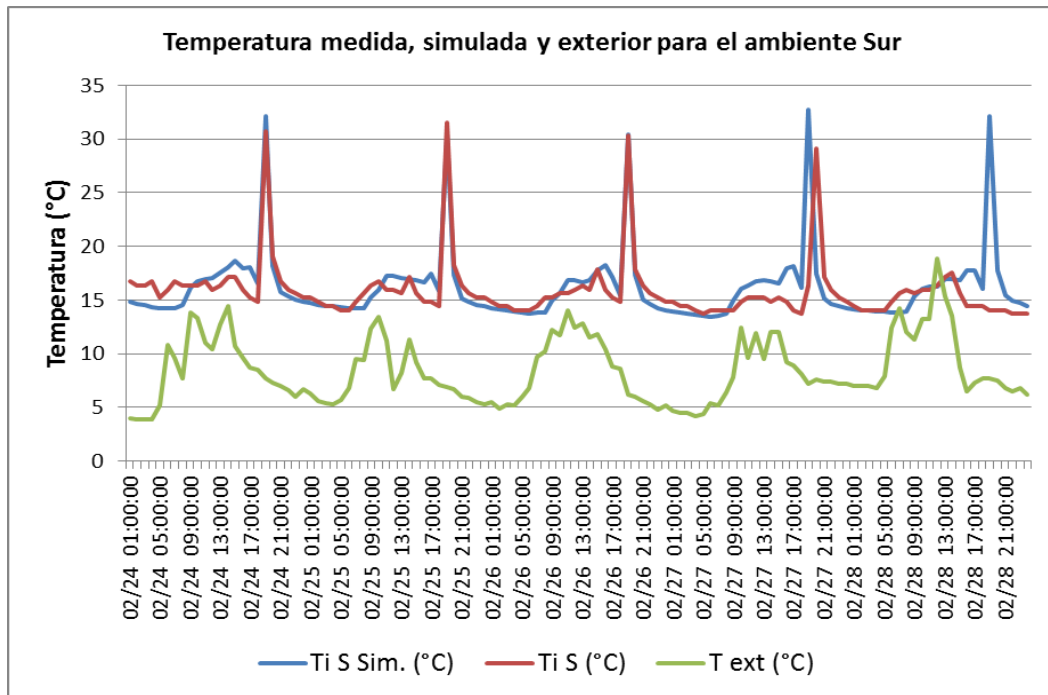


Figura 172. Gráfica de la temperatura interior del ambiente Sur, medida (Ti S) y simulada (Ti S Sim.), respecto del exterior para la configuración de medida 12.

5.9.4 Otros resultados obtenidos de la simulación

El plugin Legacy OpenStudio para SketchUp permite visualizar de manera gráfica algunas variables de salida tal como se muestra en la figura 173 como, la radiación solar incidente sobre la superficie exterior del MEV, temperatura sobre superficie exterior e interior, entre otras.

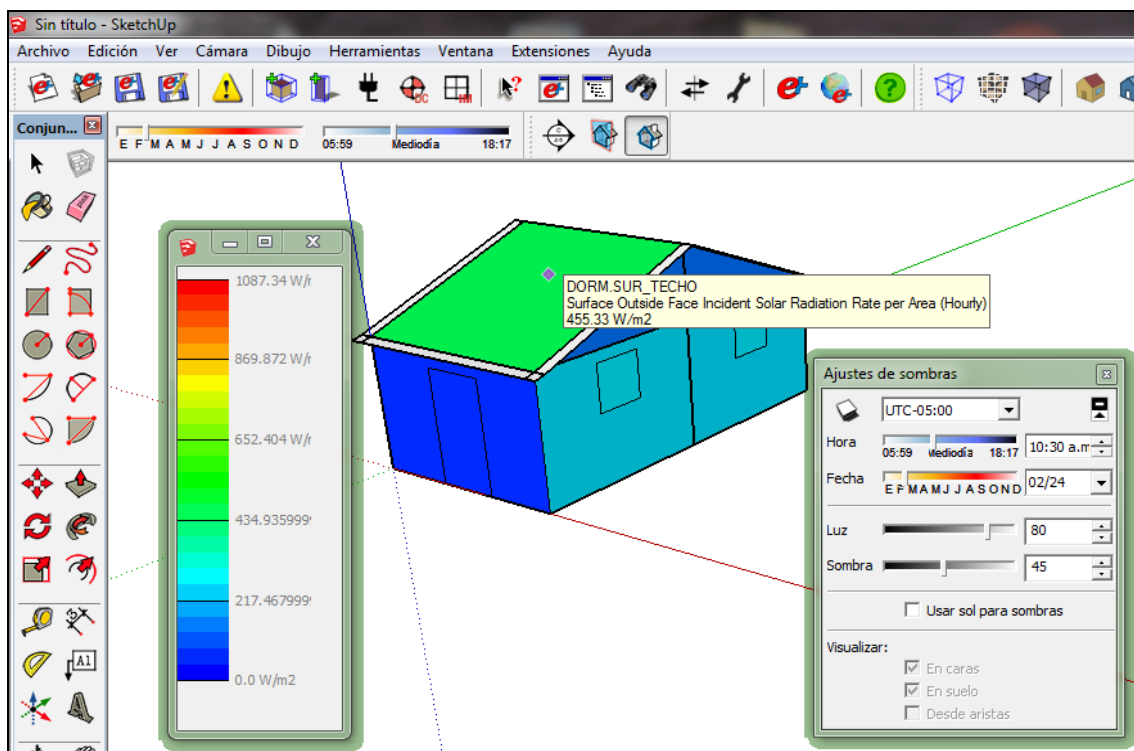


Figura 173. Radiación solar incidente sobre la superficie exterior del MEV (W/m^2).

La tabla 54 muestra los resultados de las simulaciones respecto a la temperatura interior del MEV para diferentes configuraciones u opciones constructivas de muros dado el carácter bajo de aislamiento con el que cuenta el MEV. Es notorio que si el MEV llevase la opción 5 las temperaturas interiores aumentarían en promedio hasta 3°C. En ciertas provincias de zonas altas el yeso es un material local y económico como es el caso de Huancayo, Huancavelica o Ayacucho, el adobe está a disposición, y la fibra de vidrio se encuentra con facilidad en el mercado a un costo accesible. Por lo descrito, habría que tener en consideración la opción 5 para futuros proyectos de construcción de viviendas piloto.

Tabla 54. Incremento de la temperatura interior según las opciones de mejora del elemento constructivo referente al muro.

Sistema constructivo- Opción de MURO	Ti S Sim. (°C)	Ti N Sim. (°C)
1. Barro2cm-adobe40cm	16.23	18.11
2. Yeso3cm-adobe40cm-yeso3cm	16.75 (0.52°C)*	18.70 (0.59°C)
3. Barro2cm-adobe20cm-aire5cm-adobe20cm	16.92 (0.69°C)	18.89 (0.78°C)
4. Yeso3cm-adobe20cm-aire5cm-adobe20cm-yeso3cm	17.17 (0.94°C)	19.24 (1.13°C)
5. Yeso3cm-adobe20cm-fibra vidrio5cm-adobe20cm-yeso3cm	19.12 (2.89°C)	21.39 (3.28°C)

*Los valores entre paréntesis indican el incremento de temperatura del elemento constructivo en mención respecto al sistema constructivo 1.

La figura 174 y 175 grafica las temperaturas interiores en caso el MEV contara con muros como el de la opción 5 frente al muro actual opción 1.

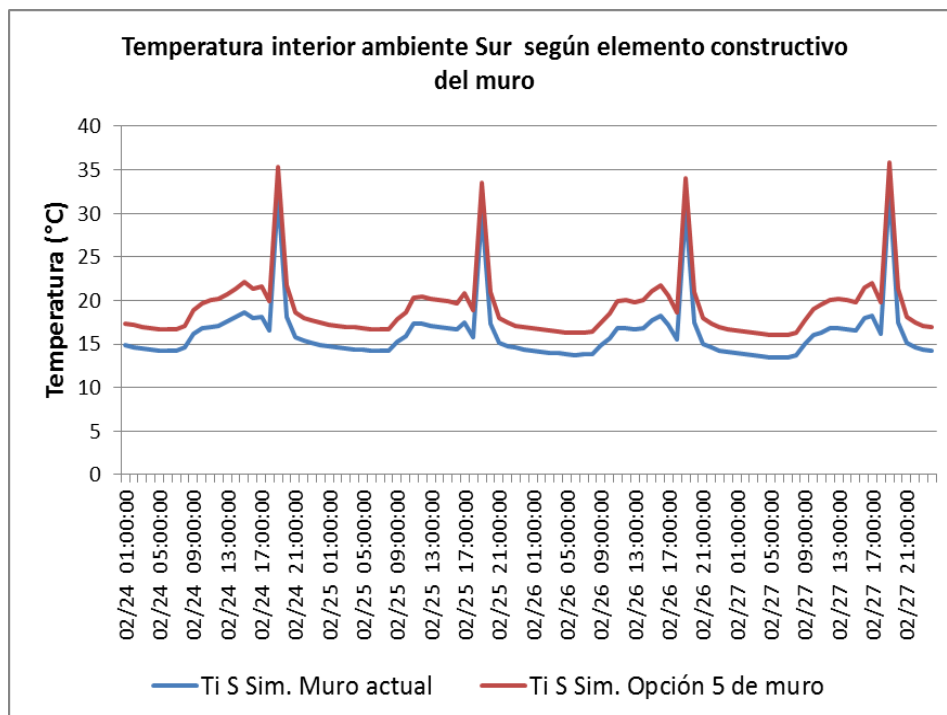


Figura 174. Temperaturas interiores ambiente Sur, muro actual y opción 5 de muro (yeso, adobe, fibra de vidrio, adobe, yeso).

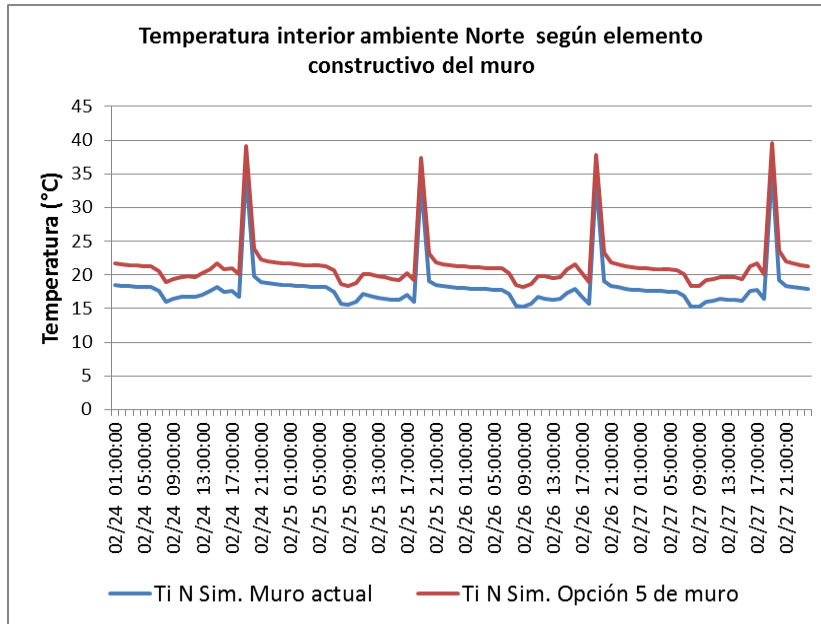


Figura 175. Temperaturas interiores ambiente Norte, muro actual y opción 5 de muro (yeso, adobe, fibra de vidrio, adobe, yeso).

Otro resultado que puede obtenerse de la simulación es la transferencia de calor por conducción que se da en el muro interior ya sea de Sur a Norte o viceversa. La figura 176 grafica este fenómeno conductivo de calor donde, desde las 9:00pm hasta las 8:00am del día siguiente, la superficie Norte de la pared interior para el ambiente Sur gana calor; y desde las 8:00am hasta las 6:00pm, la superficie Sur de la pared interior para el ambiente Norte gana calor. El primer caso se debe a que en la noche el tubo radiante esta activo y el calor fluye del ambiente Norte al Sur, en el segundo caso en el día el muro radiante esta activo y el calor fluye del ambiente Sur al Norte. Es notorio de la gráfica que en la noche hay una mayor transferencia de calor que en el día y por ello podemos asegurar que el tubo es que el que aporta una mayor carga de calor dado a que el uso de las cocinas a gas se tratan de mantener a igual consumo energético.

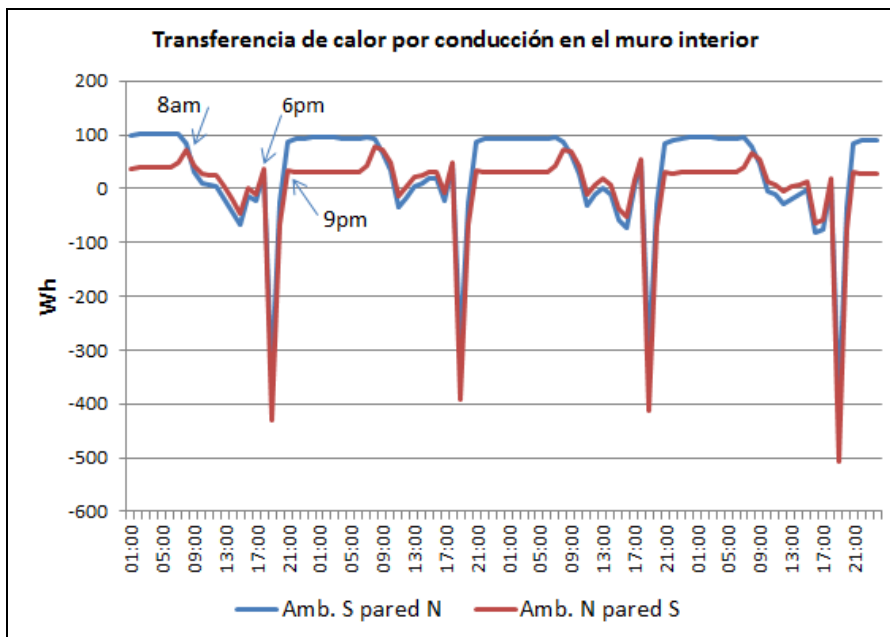


Figura 176. Transferencia de calor por conducción en el muro interior, de la pared Norte del ambiente Sur (Amb. S pared N), y de la pared Sur del ambiente Norte (Amb. N pared S).

La figura 177 es la representación gráfica de las temperaturas en las superficies del muro interior que delimitan los ambientes del MEV, el muro interior si se mira del ambiente Sur a Norte, está compuesto de una capa de barro de 2cm de espesor y una pared de adobe de 40cm de espesor. Para el caso del ambiente Sur la superficie del muro interior es la cara que se oriente hacia el Norte, mientras que, para el ambiente Norte, la superficie es la cara que se orienta al Sur. Se infiere de la gráfica, que en todo momento la temperatura de la superficie Sur del ambiente Norte, es mayor a la temperatura de la superficie Norte del ambiente Sur, esto quiere decir que la transferencia de calor se da la superficie Sur del ambiente Norte, a la superficie Norte del ambiente Sur, esto sucede prácticamente durante las 24 horas y no lo contrario.

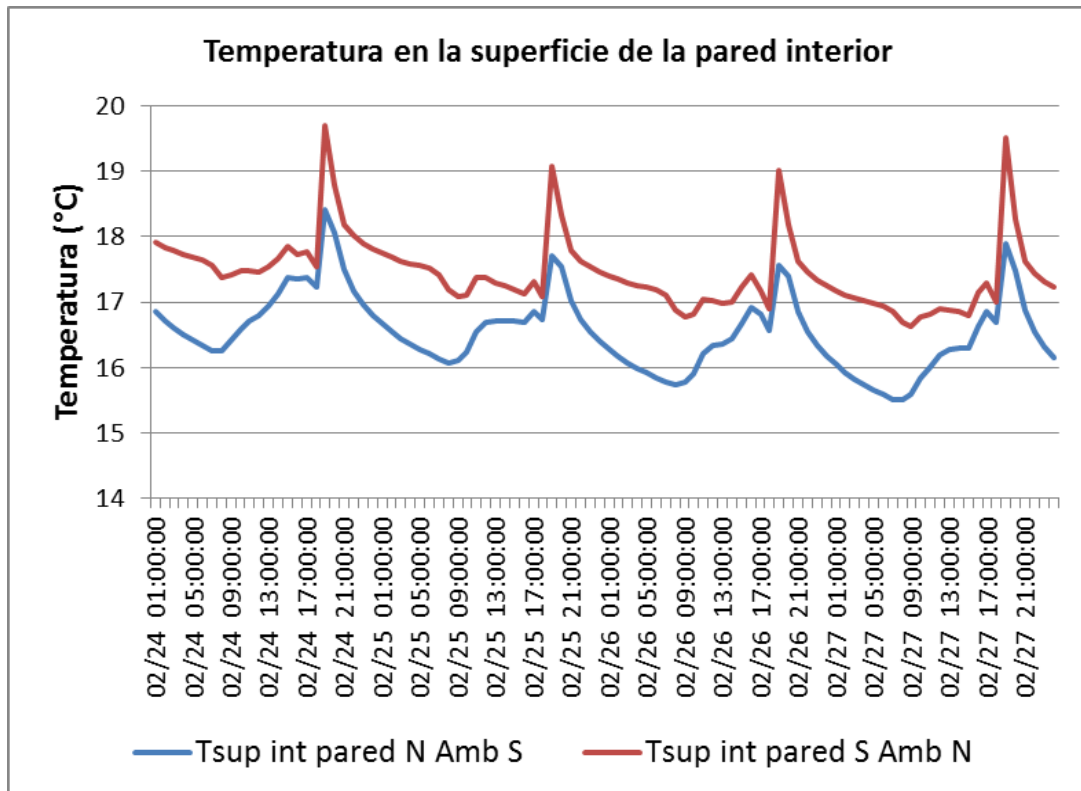


Figura 177. Temperatura en la superficie de la pared interior, superficie interior pared Norte del ambiente Sur (Tsup int pared N Amb S) y superficie interior pared Sur ambiente Norte (Tsup int pared S Amb N).

Si a la superficie Sur del ambiente Norte se le coloca una capa de aislante de poliestireno expandido de 0.025m de espesor adosado al adobe y sobre este una capa de barro de 0.02m de espesor, la temperatura en la superficie Sur de la pared aumenta debido a que tiene una barrera que impide (tecnopor) que el calor se transfiera al ambiente Norte y en vez de ello, se acumule sobre su masa y vaya aumentando su temperatura. Dicho comportamiento se grafica en la figura 178.

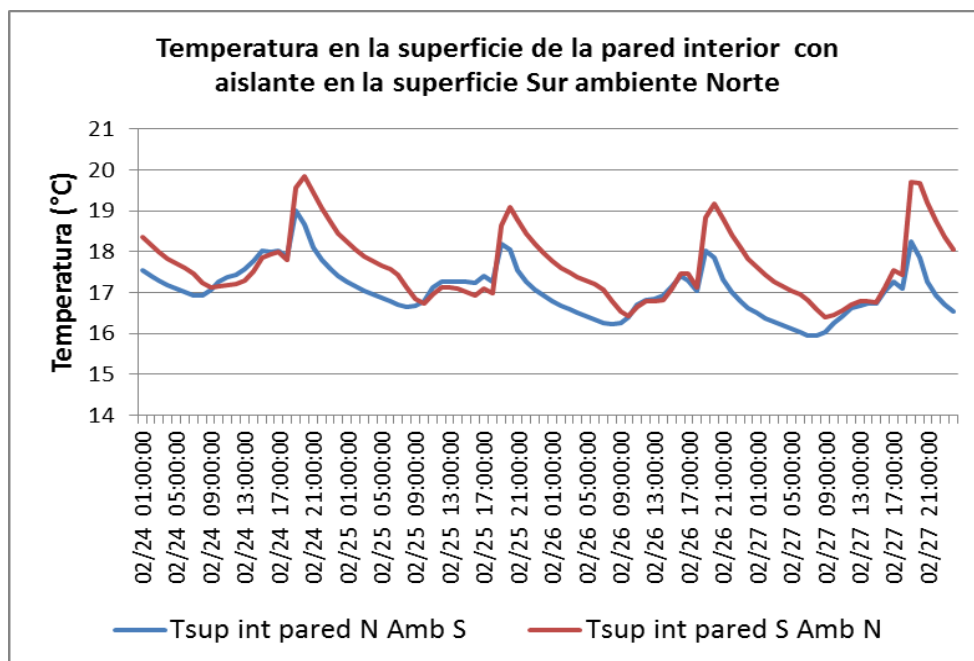


Figura 178. Temperatura en las superficies del muro interior con una capa de aislante térmico sobre el muro Sur del ambiente Norte.

De la tabla 55 de ganancias y pérdidas de energía por ventanas, se aprecia de los resultados, que el manejo de las contraventanas es decir, colocándola a las 6pm y retirándola a las 6am al día siguiente, contribuye a una mayor ganancia de energía en el día (20%), y menores pérdidas por las noches (9%). Lo que no conviene es mantener las contraventanas puestas las 24 horas del día.

Tabla 55. Ganancias y pérdidas de energía por ventanas.

Ganancias de energía por ventanas	kWh	Pérdidas de energía por ventanas	kWh
Gan.En. AmbS c_Control CV	5.74	Pérd.En. AmbS c_Control CV	0.78
Gan.En. AmbN c_Control CV	5.68	Pérd.En. AmbN c_Control CV	0.98
Gan.En. AmbS sin CV24h	5.75	Pérd.En. AmbS sin CV24h	1.87
Gan.En. AmbN sin CV24h	5.70	Pérd.En. AmbN sin CV24h	2.17
Gan.En. AmbS con CV24h	2.73	Pérd.En. AmbS con CV24h	0.66
Gan.En. AmbN con CV24h	2.71	Pérd.En. AmbN con CV24h	0.84

Gan.En. AmbS c_control CV: ganancia de energía en el ambiente Sur con control de contraventana.

Gan. En. AmbS sin CV24h: ganancia de energía en el ambiente Sur sin control de contraventana las 24 horas.

Gan.En. AmbS con CV24h: ganancia de energía en el ambiente Sur con control de contraventana las 24 horas.

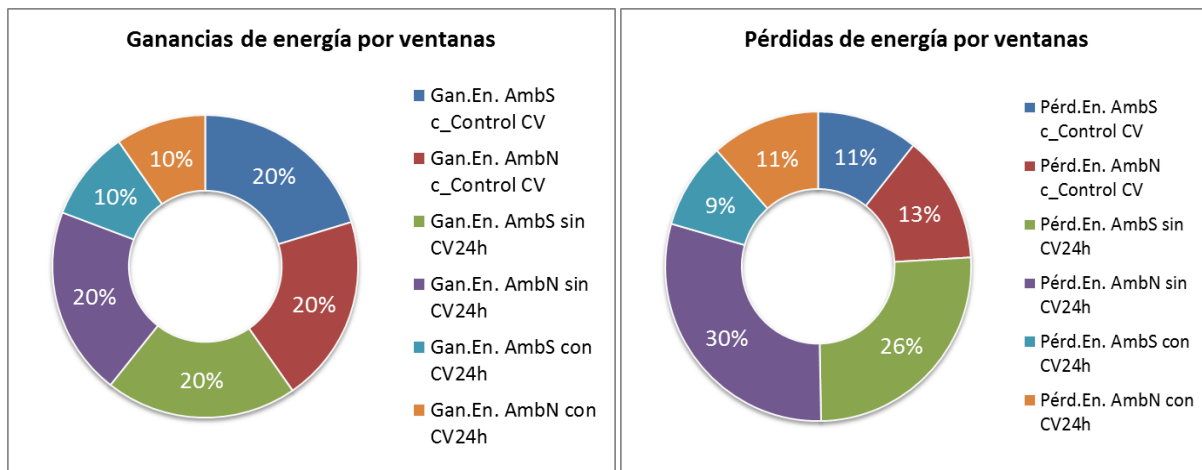


Figura 179. Gráfica porcentual de ganancias y pérdidas de energía por ventanas.

La figura 180 es la representación gráfica de los aportes energéticos en el MEV por cargas internas como, personas, sistemas de calefacción, y cocina a gas. Dichas cargas aportan en mayor medida en el ambiente Norte (4.21kWh) que en el Sur (1.88kWh) dado a que en dicho ambiente hubo pernoctación y un mayor aporte de la cocina a gas. El aporte de la cocina a gas por hora y día es de, 1.7kWh en el ambiente Norte, y 1.4kWh en el ambiente Sur. La pernoctación de tres personas aporta 0.22kWh, por nueve horas de ocupación diaria aportarían, 1.98kWh.

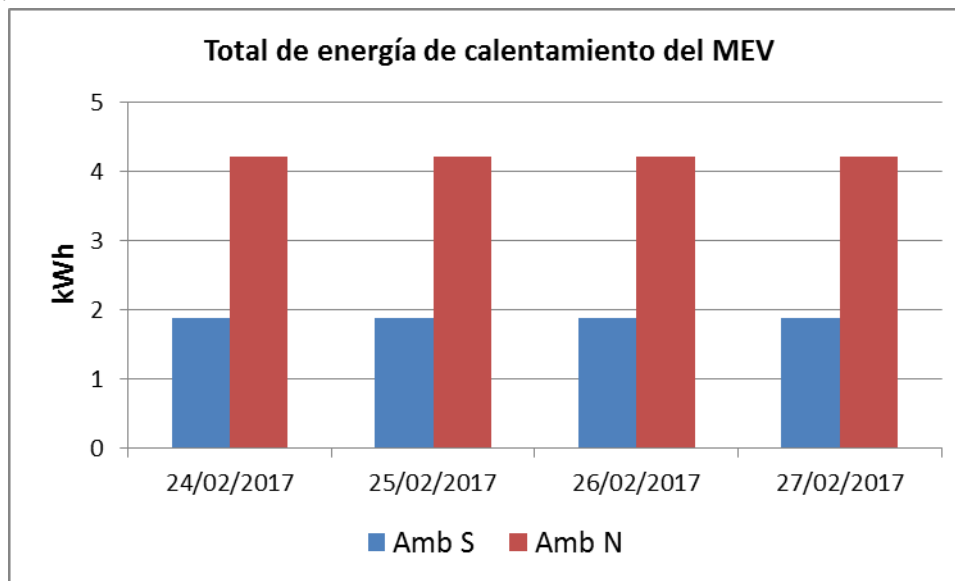


Figura 180. Gráfica del aporte de energía por cargas internas en los ambientes interiores del MEV.

La figura 181 representa el comportamiento de la temperatura interior (T_i) según la operatividad de las contraventanas (CV) y cargas internas (CG: cocina a gas, MR: muro radiante, TR: tubo radiante, SC: sistemas de calefacción), siguiendo las barras de izquierda a derecha, se grafica el comportamiento de la temperatura interior para ambos ambientes considerando la operatividad sólo de la contraventana, luego, con contraventanas y cocinas a gas, con contraventanas y muro radiante, con contraventanas y tubo radiante, y finalmente con contraventanas y los sistemas de calefacción (tubo y muro radiante). Se aprecia que el mayor aporte en temperatura lo brinda la cocina a gas seguido por los sistemas de calefacción, de este último podemos inferir que el tubo radiante aporta un mínimo de temperatura más que el muro radiante (aproximadamente 0.5°C).

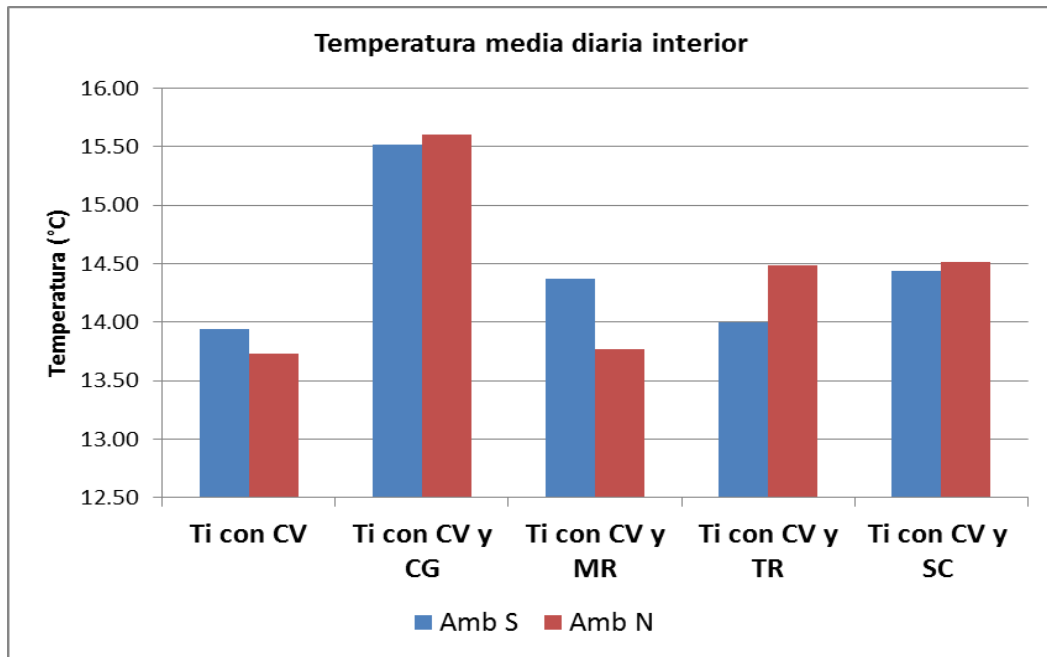


Figura 181. Comportamiento de la temperatura interna según operatividad de contraventanas y cargas internas.

VI. CONCLUSIONES

- ❑ Se logró en promedio incrementos de temperatura de hasta 9.5°C en el ambiente Norte con la configuración de medida 12, y 9.2°C en el ambiente Sur con la configuración de medida 9, ambas configuraciones consideran el manejo de las contraventanas, uso de cocina a gas, uso de sistemas de calefacción, y pernoctación. En la configuración 9, se registró a las 5:00am, un incremento de temperatura de hasta 18.6°C estando el exterior a una temperatura de -5.1°C.
- ❑ Se garantiza cuantitativamente la confortabilidad del MEV desde la configuración de medida 5 hasta la 7 por ubicarse las temperaturas interiores entre el mínimo del rango de confort, y el confort mismo (de 14°C a 16.86°C); e incluso, para las configuraciones de medida 8, 9, 11 y 12, que se ubican entre la temperatura de confort y la máxima del rango de confort (de 16.8°C a 20.3°C).
- ❑ La temperatura mínima exterior se alcanza entre las 5am y 6am mientras que al interior del MEV, se alcanza a la misma hora o a lo mucho a una hora después. La temperatura máxima exterior se alcanza entre las 2pm y 3pm mientras que al interior del MEV, se alcanza a la misma hora o a lo mucho a dos horas después. Para todas las configuraciones de medida.
- ❑ El sistema de calefacción muro radiante contribuyó durante el tiempo de evaluación al calentamiento del MEV con una energía máxima de 2.92kWh por día, y mínima de 0.43kWh por día. Mientras que el sistema de calefacción tubo radiante contribuye con una energía máxima de 1.71kWh diario, y mínima de 0.62kWh diaria.
- ❑ Los valores promedios de temperatura registrados al interior del MEV sobre una misma vertical y equidistantes (piso, centro y techo), al no presentar una diferencia considerable de temperatura entre el techo y piso (baja estratificación, en el ambiente Sur de 0.3°C y ambiente Norte 0.4°C), y considerarlas iguales, implican que el uso de un software de simulación térmica dinámica como el EnergyPlus que considera una temperatura uniforme por zona térmica, es aceptable.
- ❑ El uso de las contraventanas y contrapuertas como elemento aislador de ventanas y puertas reducen la transmitancia térmica de dichos sistemas constructivos de 2.52W/m²°C solo puerta, a 1.28W/m²°C puerta y contrapuerta; y de 3.15W/m²°C solo ventana, a 1.70W/m²°C ventanas y contraventana, es decir, el uso de dichos elementos contribuye a una reducción de la transmitancia térmica de alrededor 50%.
- ❑ Las mayores pérdidas de energía para los casos del MEV con o sin control de sus componentes constructivos o cargas internas, se producen en mayor porcentaje por los muros seguido del techo. Las pérdidas por los muros representan un 67% en el ambiente Sur y 70% en el ambiente Norte, techos 14% y 13% en ambos ambientes.
- ❑ Las mayores ganancias se producen por los muros, ventanas y techo. Para el caso del MEV sin control de sus componentes constructivos o cargas internas las ganancias en ambos ambientes están en el orden del 66% por los muros, 17% por el techo, y 17% por ventanas; Para el caso del MEV con el control de sus componentes constructivos o cargas internas las ganancias en ambos ambientes están en el orden del 56% por muros, 15% por techo, y 19% por ventanas. Tanto para pérdidas y ganancias de energía, los muros

representan un puente térmico lo que obliga a mejorar su aislamiento térmico y cumplir con la norma técnica EM.110.

- ❑ La operatividad de la vivienda juega un rol importantísimo e incluso mucho más, que las implementaciones realizadas en ella, sin un control adecuado de las infiltraciones que puedan existir en una vivienda ya sea por los vanos de las puertas o ventanas además del manejo concienzudo de estos elementos, no será posible alcanzar las mejoras de los incrementos de temperatura deseadas para la comodidad térmica y por el contrario, se alcanzara incomodidad térmica. Es por ello que, la transferencia de conocimientos a las poblaciones toma un rol importante además de la sensibilización en temas como el uso y manejo de los elementos constructivos de una vivienda, las causas y consecuencias que ocasionan el frío extremo y heladas en los seres vivos, daños a la infraestructura, consecuencias en la educación, aprovechamiento del recurso solar y características y bondades en el uso de materiales locales complementadas con la revaloración de las técnicas constructivas ancestrales.
- ❑ Las oscilaciones térmicas para el clima del caso en estudio (alrededor de los 15°C de julio 2016 a febrero 2017), y radiación solar para dichos periodos (5.98kWh/m²día), justifican el uso de programas de simulación térmica dinámica basados en el análisis de transferencia de calor dependientes del tiempo (estado transitorio).
- ❑ La interfaz OpenStudio para EnergyPlus, permite calcular la carga térmica de calefacción y refrigeración manteniendo el MEV a una temperatura interior constante en un entorno más amigable para el usuario. Los resultados demuestran que es posible reducir anualmente hasta un 50% las cargas térmicas utilizando una temperatura de confort (16.86°C para San Francisco de Raymina) más acorde a la realidad del caso en estudio que considerando una temperatura estandarizada de climas fríos de otros continentes.
- ❑ La modelación del MEV se realizó mediante la interacción de tres programas, el EnergyPlus, OpenStudio y SketchUp, cuyos resultados son comparados con las mediciones reales registradas, en el estudio realizado, se obtuvieron resultados de temperatura interior muy parecidos entre lo real y simulado, situación que identifica la veracidad del modelo. Con una diferencia entre los real y simulado de 0.25°C en el ambiente Sur, y 0.27°C en el ambiente Norte.
- ❑ El aporte energético de las cocinas a gas en los ambientes interiores del MEV por una hora de encendido fue en promedio, 1.4kWh en el ambiente Sur, y 1.7kWh en el ambiente Norte. La cocina se utilizó con el énfasis de representar a algún tipo de calefactor y no como el uso de la cocina misma para cocinar. A diario en promedio se usó 110g de gas, un balón de 10kg alcanzaría para 100 días de calefacción.
- ❑ La pernoctación en el MEV de acuerdo a los resultados y análisis térmico aporta un 1% del total de energía acumulada. Además, junto con la actividad humana desarrollada en el día por 5 horas se puede asegurar que aportan 1.52°C de acuerdo a los resultados obtenidos.
- ❑ El uso de software de simulación de análisis térmico es útil para predecir los resultados del diseño bioclimático a desarrollar ahorrando tiempo y costo.
- ❑ Aunque el módulo experimental de vivienda fue construido con el objetivo de evaluar su desempeño térmico a partir de una seria etapas de medidas, su infraestructura es útil como recurso educativo para los lugareños o visitantes (profesores y estudiantes de

pueblos aledaños), y como modelo de nuevas construcciones, además, como una infraestructura experimental con fines científicos para estudiantes inmersos en el tema de confort térmico.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agugliaro, F. M., Montoya, F. G., Ortega, A. S., Cruz, A. G., 2015. Review of bioclimatic architecture strategies for achieving thermal comfort. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 49, 736–755.
- Alghoul, S.K., Rijabo, H.G., Mashena, M.E., 2017. Energy consumption in buildings: A correlation for the influence of window to wall ratio and window orientation in Tripoli, Libya. *J. Build. Eng.* 11, 82–86.
- Al-Zubaydi, A.Y.T., 2013. Building models design and energy simulation with google sketchup and openstudio. *J. Adv. Sci. Eng. Res.* 3.
- American Society of Heating, 2013. ASHRAE handbook: fundamentals. Atlanta.
- Barrios, G., Huelsz, G., Rojas, J., Ochoa, J.M., Marincic, I., 2012. Envelope wall/roof thermal performance parameters for non air-conditioned buildings. *Energy Build.* 50, 120–127.
- Bedoya, C., Neila, F., 1986. Acondicionamiento y energía solar en arquitectura.
- Bekkouche, S.M.A., Benouaz, T., Yaiche, M.R., Cherier, M.K., Hamdani, M., Chellali, F., 2011. Introduction to control of solar gain and internal temperatures by thermal insulation, proper orientation and eaves. *Energy Build.* 43, 2414–2421.
- Bello, E., Muñoz, M., Vasco, D., 2013. Modificación de envolventes térmicas con PCM para el ahorro energético en viviendas. *Univ. Santiago Chile* 11.
- Bergman, T.L., Incropera, F.P., 2011. *Fundamentals of heat and mass transfer*, 7th ed. ed. Wiley, Hoboken, NJ.
- Betancourt, G.R., 1991. Fenómenos de transporte: un curso introductorio. Universidad Nacional de Colombia.
- Brooks, C.E.P., 1976. *Climate in everyday life*. Westport, Conn. : Greenwood Press.
- Brown, M.A., 2008. *Introduction to Renewable Energy Technology*.
- Cengel, Y., Ghajar, A., 2011. *Transferencia de calor y masa: fundamentos y aplicaciones*. McGraw-Hill Interamericana, México, D.F.
- CER-UNI, 2010. *Propuesta Técnica de Confort Térmico para Viviendas Localizadas en Comunidades entre 3000 y 5000 msnm*. CER-UNI.
- Chávez Del Valle, F., 2002. *Zona variable de confort térmico*. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Coleman, J.S., Law, K.T., 2015. *Meteorology*, in: *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences*. Elsevier.
- Condori, A.F., 2014. Construcción de una vivienda solar en base a las propiedades termofísicas y evaluación experimental de su confort térmico en Ilave. *Rev. Investig. Altoandinas - J. High Andean Res.* 16.
- Corrales, P.M., 2012. Sistema solar pasivo más eficaz para calentar viviendas de densidad media en Huaraz. Universidad Nacional de Ingeniería. Programa Cybertesis PERÚ. Dirección Nacional de Construcción. <http://www3.vivienda.gob.pe/dnc/estudios.aspx>
- DNC, 2012. Estudio piloto de acondicionamiento térmico para edificaciones rurales altoandinas. <http://www.vivienda.gob.pe/dnc/estudios.aspx>
- Donald, I.P., 2009. Housing and health care for older people. *Age Ageing* 38, 364–367.
- El Comercio, 2017. Por qué Lima es la capital culinaria mundial, en cifras. <http://elcomercio.pe/economia/peru/que-lima-capital-culinaria-mundial-cifras-noticia-1972759>
- El Comercio, 2016. Amplían emergencia en 14 regiones por heladas y friaje <http://elcomercio.pe/sociedad/peru/amplian-emergencia-14-regiones-heladas-y-friaje-noticia-1920620>

- Elaiab, F.M., 2014. Thermal comfort investigation of multi-storey residential buildings in Mediterranean climate with reference to Darnah, Libya.
<http://eprints.nottingham.ac.uk/14201/>
- Espinoza, R., 2014. Evaluación experimental de la performance de dos componentes bioclimáticas de calentamiento aplicadas en un módulo de vivienda de San Francisco de Raymina - Ayacucho con el propósito de validarlas como técnicas de estrategias bioclimáticas para viviendas rurales Alto Andinas [Tesis para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en Energías Renovables y Eficiencia Energética]. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Espinoza, R., Huaylla, F., 2009. Evaluación experimental de cambios constructivos para lograr el confort térmico en una vivienda alto andina del Perú. ASADES, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente 13, 203–210.
- Espinoza, R. S., 2012. Desarrollo de un código computacional para el cálculo dinámico de cargas térmicas en edificaciones. Universidad Autónoma de Nuevo León, México.
- Espinoza, R.L., 2013. Proyecto de un sistema de acondicionamiento de aire para un quirófano perteneciente a un hospital, localizado en la ciudad de Toluca; Estado de México (Tesis).
- Flores, S., Filippin, C., Lesino, G., 2001. Modelo térmico del programa SIMEDIF de simulación de edificios. ASADES 9, 15–24.
- Fuentes, V.A., 2004. Clima y arquitectura. UAM, Unidad Azcapotzalco, 2004, México, D.F.
- Fuller, M.E., 2015. The structure and properties of down feathers and their use in the outdoor industry. University of Leeds.
- Gabril, N., 2014. Thermal Comfort and Building Design Strategies for Low Energy Houses in Libya: Lessons from the vernacular architecture (phd). University of Westminster.
- García, G.A., 2013. Energía en Edificaciones. Rev. Méx. Física 59, 44–51.
- García-Alvarado, R., González, A., Bustamante, W., Bobadilla, A., Muñoz, C., 2014. Características relevantes de la simulación energética de viviendas unifamiliares. Inf. Constr. 66, e005.
- Giancola, E., 2010. El comportamiento energético de una fachada ventilada de juntas abiertas (phd). E.T.S. Arquitectura (UPM).
- Givoni, B., 1998. Climate Considerations in Building and Urban Design. John Wiley & Sons.
- Gómez, A., Saavedra, G., Espinoza, R., 2010. Estudio térmico en módulos de vivienda ubicadas en alturas mayores a 3500msnm en la provincia de Castrovirreyna, región Huancavelica. Memoria del Simposio Peruano de Energía Solar, Cusco, p. 11.
- Gómez, A.G., Bojórquez, M.G., Ruiz, T.R., 2007. El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. Palapa 2, 45–57.
- Gómez, R.A., n.d. ARQUITECTURA AMBIENTAL ::
<http://arquitectoalejandrogomezrios.com/category.html>
- GRUPO PUCP, 2011. Koñichuyawasi: Casa Caliente Limpia. GRUPO PUCP.
- Harman, L., 2010. Confort Térmico en Viviendas Altoandinas: Un enfoque integral. Care Perú.
- Holt, J., 2001. Building Science: an interdisciplinary tool for building analysis. University of Calgary.
- Horn, M., 2006. El estado actual de las energías renovables no convencionales en el Perú.
<http://fc.uni.edu.pe/mhorn/ER%20in%20Peru.htm>
- Howden, C.P., 2004. Housing standards: a glossary of housing and health. J. Epidemiol. Community Health 58, 162–168.
- Hurtado, G., 2011. La Vivienda Sustentable en México, (Metodología y Legislación)
<http://132.248.9.195/ptb2011/marzo/0667163/Index.html>
- IEA, 2016. Energy Technology Perspectives.

- INDECI, 2016. Situación nacional ante las bajas temperaturas.
- Instituto Nacional de Normalización, 2007. Acondicionamiento térmico -Envolvente térmica de edificios - Cálculo de resistencias y transmitancias térmicas.
- Karlsson, J., Wadso, L., Oberg, M., 2013. A conceptual model that simulates the influence of thermal inertia in building structures. *Energy Build.* 60, 146–151.
- Kegel, M., 2006. Experimental and Analytical Analysis of Perimeter Radiant Heating Panels.
- Kolaitis, D., Malliotakis, E., Kontogeo, D., Mandilaras, I., Katsourinis, D., Founti, M., 2013. Comparative assessment of internal and external thermal insulation systems for energy efficient retrofitting of residential buildings. *Energy Build.* 64, 123–131.
- Lechner, N., 2015. Heating, cooling, lighting: sustainable design methods for architects, Fourth edition. ed. John Wiley & Sons, Inc, Hoboken, New Jersey.
- Lin, Z., Deng, S., 2008. A study on the thermal comfort in sleeping environments in the subtropics—Developing a thermal comfort model for sleeping environments. *Build. Environ.* 43, 70–81.
- Llobu, I.M., 2016. Arquitectura tradicional y bioclimática en Cabrera: El muro de inercia. <http://elcabreires.com/arquitectura-tradicional-y-bioclimatica-en-cabrera-el-muro-de-inercia>
- Martínez, M., Tort, A.I., Cho, S., Vivancos, J.L., 2016. Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 61, 70–85.
- Mateus, N.M., Pinto, A., Graça, G.C. da, 2014. Validation of EnergyPlus thermal simulation of a double skin naturally and mechanically ventilated test cell. *Energy Build.* 75, 511–522.
- Mecott, G.S., 2008. Vivienda bioclimática con paneles modulares de ferrocemento y materiales aislantes alternativos para la ciudad de Oaxaca (Tesis).
- Medina, C.L., 2016. La totora como material de aislamiento térmico: propiedades y potencialidades.
- Mendoza, F., Cardón, L., 2011. Construcción y ensayo de una pared radiante hidrónica solar. *Av. En Energ. Renov. Medio Ambiente* 15.
- Michaux, C., Pérez, R., Blasco, I., 2015. Análisis térmico-energético de vivienda proyectada con tecnologías apropiadas para San José de Jáchal. *ASADES* 19, 05.69-05.80.
- Morillón, D., 2004. Atlas del bioclima de México. México, D.F.
- MVCS, 2016. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. <http://www3.vivienda.gob.pe/pnvr/AbriendoHogares.html>
- Natividad, J., Espinoza, R., Ramos, E., 2012. Tratamiento de datos meteorológicos para la simulación energética. *Memorias del Simposio Peruano de Energía Solar, Puno-Perú*, p. 10.
- Nicol, J.F., Humphreys, M.A., 2002. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy Build.*, Special Issue on Thermal Comfort Standards 34, 563–572.
- NREL, 2011. Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices.
- O. Style, 2014. II Congreso EECN: La inercia térmica en la refrigeración pasiva - CONSTRUIBLE. <https://www.construible.es/comunicaciones/ii-congreso-eeen-la-inercia-termica-en-la-refrigeracion-pasiva>
- Pareja Paz Soldán, J., 1936. El clima en el Perú. *Rev. PUCP Tomo IV*, 645–655.
- Parsons, K., 2010. 5 - Thermal comfort in buildings, in: Hall, M.R. (Ed.), *Materials for Energy Efficiency and Thermal Comfort in Buildings*, Woodhead Publishing Series in Energy. Woodhead Publishing, pp. 127–147.
- Perú: Población vulnerable se acerca al 25% y está olvidada <http://peru21.pe/actualidad/poblacion-vulnerable-se-acerca-al-25-peru-y-esta-olvidada-2222766>

- Pozo, C., 2011. Determinación de estrategias de diseño bioclimático para la ciudad de Sucre (Bolivia) (Tesis). Universidad Internacional de Andalucía.
- Presidencia del Consejo de Ministros, 2016. Plan multisectorial ante heladas y friaje 2016.
- Pulido, M.S., 2012. Certificación energética de edificios. <http://oa.upm.es/14006/>
- Ramos, E., Ocupa, D., Molina, J., Natividad, J., Espinoza, R., 2013. Acondicionamiento térmico para edificaciones rurales altoandinas. Memoria del Simposio Peruano de Energía Solar, Tacna-Perú, p. 13.
- Reus, N.G., Czajkowski, J.D., 2016. Comparación entre las normas de desempeño térmico edilicio de Argentina y Brasil. *Ambiente Construido* 16, 105–122.
- Rincón, M.L., 2015. Confort Térmico en Bioclima Semi-Frío: Estimación a partir de los Enfoques de Estudio Adaptativo y Predictivo. Universidad Autónoma Metropolitana, México.
- Rojas, J., Barrios, G., Huelsz, G., Tovar, R., Jalife-Lozano, S., 2016. Thermal performance of two envelope systems: Measurements in non air-conditioned outdoor test cells and simulations. *J. Build. Phys.* 39, 452–460.
- Royon, L., Karim, L., Bontemps, A., 2013. Thermal energy storage and release of a new component with PCM for integration in floors for thermal management of buildings. *Energy Build.* 63, 29–35.
- Ruiz, T.P., 2007. Estándar local de confort térmico para la ciudad de Colima (Tesis). Universidad de Colima, Colima, México.
- Sarmiento, M.P., 2007. Energía solar en arquitectura y construcción. RIL Editores.
- Sarzosa, H. M., 2007. Inercia térmica en viviendas (Memoria para optar al título de ingeniero civil). Universidad de Chile.
- SENAMHI, 2016. Avisos SENAMHI. Minist. Ambiente-Senamhi. http://www.senamhi.gob.pe/_0142.php?tip_alert=022&anio=2016&cod=066
- SENAMHI, 2003. Atlas Solar - Proyecto PER/98/G31: Electrificación rural a base de energía fotovoltaica en el Perú. Atlas Energ. Sol. Perú. <http://dger.minem.gob.pe/atlassolar>
- Simonson, J.R., 1975. The equations of heat conduction, in: *Engineering Heat Transfer*. Macmillan Education UK, London, pp. 8–15.
- Sol, S.F., 2008. Estrategias de diseño bioclimático para la ciudad de Oaxaca y Zona Conurbada (Tesis). Instituto Politécnico Nacional, México.
- Torres, J. L., 2010. Climatización considerando el ahorro de energía y confort térmico de las personas en ambientes dedicados a tareas de oficina. Universidad Tecnológica Nacional, Argentina.
- Tudela, F., 1982. Bioclima y confort térmico.
- Welty, J.R. (Ed.), 2008. *Fundamentals of momentum, heat, and mass transfer*, 5th ed. ed. Wiley, Danver, MA.

ANEXOS

ANEXO 1

1. Nivel de actividad

Los valores para el nivel de actividad pueden variar desde aproximadamente 100-150 vatios por persona para la mayoría de las actividades de oficina hasta más de 900 vatios por persona para actividades físicas extenuantes como la lucha competitiva. La siguiente tabla (Tabla 1) se basa en la Tabla 4 del Manual de Fundamentos de ASHRAE 2005, página 8.6. Además de la información del ASHRAE HOF, hay una columna de valores añadida en W/Persona tal como es necesaria para los valores del cronograma del nivel de actividad. Esta columna utiliza el área de superficie corporal estándar para adultos de 1.8 m² para multiplicar los niveles de actividad en W/m² que se utilizan en la tabla. Las advertencias se producen cuando los valores del cronograma del nivel de actividad caen fuera de los rangos normales. Tener valores demasiado bajos o demasiado altos también puede sesgar los valores de informe de confort térmico.

Tabla 1. Tasas metabólicas para diferentes actividades

Activity	Activity Level w/Person EnergyPlus Schedule Value	Activity Level W/m2	met*
Resting			
Sleeping	72	40	0.7
Reclining	81	45	0.8
Seated, quiet	108	60	1
Standing, relaxed	126	70	1.2
Walking (on level surface)			
3.2 km/h (0.9 m/s)	207	115	2
4.3 km/h (1.2 m/s)	270	150	2.6
6.4 km/h (1.8 m/s)	396	220	3.8
Office Activities			
Reading, seated	99	55	1
Writing	108	60	1
Typing	117	65	1.1
Filing, seated	126	70	1.2
Filing, standing	144	80	1.4
Walking about	180	100	1.7
Lifting/packing	216	120	2.1
Miscellaneous Occupational Activities			
Cooking	171 to 207	95 to 115	1.6 to 2.0
Housecleaning	207 to 360	115 to 200	2.0 to 3.4
Seated, heavy limb movement	234	130	2.2
Machine work	189	105	1.8
sawing (table saw)	207 to 252	115 to 140	2.0 to 2.4
light (electrical industry)	423	235	4
Handling 50 kg bags	423	235	4
Pick and shovel work	423 to 504	235 to 280	4.0 to 4.8
Miscellaneous Leisure Activities			
Dancing, social	252 to 459	140 to 255	2.4 to 4.4
Calisthenics/exercise	315 to 423	175 to 235	3.0 to 4.0
Tennis, singles	378 to 486	210 to 270	3.6 to 4.0
Basketball, competitive	522 to 792	290 to 440	5.0 to 7.6
Wrestling, competitive	738 to 909	410 to 505	7.0 to 8.7

***Note that one met = 58.1 W/m²**

ANEXO 2

Artículo presentado al XXIII Simposio Peruano de Energía Solar

XXIII Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIII- SPES), Huancayo, 14 -19.11.2016

EVALUACIÓN SISTEMÁTICA DEL DESEMPEÑO TÉRMICO DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL DE VIVIENDA ALTOANDINA PARA LOGRAR EL CONFORT TÉRMICO CON ENERGÍA SOLAR

Juan Omar Molina Fuertes – juan.molina.f@uni.pe
Manfred Horn Mutschler – mhorn@terra.com.pe
Universidad Nacional de Ingeniería, Lima

Resumen.

El presente documento es parte de la elaboración de una tesis de maestría en Energías Renovables y Eficiencia Energética (de JOMF) impartida en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional de Ingeniería. Se muestra los resultados iniciales de un estudio de campo con un Módulo Experimental de Vivienda (MEV) con dos ambientes contiguos (Norte y Sur) construido en San Francisco de Raymina, una comunidad al Sur de Ayacucho a 3700 m snm, con el énfasis de evaluar su comportamiento térmico mediante la aplicación de técnicas bioclimáticas y el uso de tecnologías solares, con el objetivo de lograr el confort térmico y ahorro energético en viviendas o edificaciones de zonas altoandinas. El estudio de campo se inició en Julio 2016 (temporada de heladas), con una primera etapa que comprendió evaluar el comportamiento del MEV sólo con técnicas bioclimáticas de aislamiento en pisos, techos, y uso de dobles puertas y ventanas de doble vidrio con cobertura de madera. Se observó en el interior una temperatura media diaria de 12.0 °C en el ambiente Norte, y de 9.5 °C en el ambiente Sur, con una temperatura exterior media de 3.7 °C (con mínimos horarios hasta - 4.2 °C). Una segunda etapa de medidas comprendió la inclusión de dos sistemas de calefacción solar: muro radiante y tubo radiante, donde se alcanzó temperaturas interiores de 13.8 °C en el ambiente Norte y 12.6 °C en el ambiente Sur. Posteriormente se llevará a cabo una tercera y cuarta etapa donde se incluyan cargas internas y la implementación de nuevas acciones constructivas sencillas, económicas, y apropiadas, para lograr temperaturas de confort para el poblador altoandino de San Francisco de Raymina.

Palabras-clave: *Confort Térmico, Energías Renovables, Arquitectura Bioclimática, Eficiencia Energética.*

Abstract. *A prototype adobe house in the cold climate of high Andean region (near the equator) with appropriate isolation and two types of solar heating was studied, with the goal to get thermal comfort. During the cold month of July 2016, with appropriate isolation, a temperature increase of 5,7 – 8,2 °C was achieved and with additional solar heating, of 8,8 - 9,9 °C.*

Key words: *Solar house, Bioclimatic architecture, cold climate house*

ANEXO 3

Artículo presentado al XXIV Simposio Peruano de Energía Solar

XXIV Simposio Peruano de Energía Solar y del Ambiente (XXIV- SPES), Huaraz 13-17.11. 2017

MODELACIÓN TÉRMICA DE UN MÓDULO EXPERIMENTAL DE VIVIENDA ALTO ANDINA UTILIZANDO OPENSTUDIO Y ENERGYPLUS

Juan Omar Molina Fuertes – juan.molina.f@uni.pe

Manfred Horn Mutschler – mhorn@uni.edu.pe

Universidad Nacional de Ingeniería, Facultad de Ciencias, Lima, Perú

Jorge Rojas Menéndez – jrm@ier.unam.mx

Angel Aranda Morales – jarm@ier.unam.mx

Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Energías Renovables, Morelos, México

Resumen. Muchos cálculos para determinar el comportamiento térmico de edificaciones consideran solamente la transferencia de calor en estado estacionario mediante el cálculo de la resistencia térmica de las diferentes partes de la envoltura de la edificación. Estos cálculos no consideran el calor acumulado en los materiales de construcción, que depende del tiempo, por lo cual estos cálculos no son de todo confiables, especialmente si son aplicados en zonas climáticas extremas, tal como existen en el Perú.

En el presente trabajo se presenta la aplicación de programas de simulación térmica del comportamiento de edificaciones que consideran la transferencia de calor en función del tiempo. La ventaja de utilizar estas herramientas previo al diseño, construcción o modificación de una edificación, van a coadyuvar en el ahorro de tiempos y costos, además, permiten tomar decisiones en cuanto a elegir determinada estrategia y técnica bioclimática a implementar en el diseño de una edificación sustentable con eficiencia energética que mejore las condiciones de confort térmico y habitabilidad.

En los países desarrollados, son comunes estas aplicaciones que incluso algunos son de código abierto y uso gratuito como el OpenStudio o el Energyplus que trabajan con un plug in para Google SketchUp como herramienta de diseño en 3D.

En el presente trabajo se demuestra estas simulaciones aplicadas a un módulo experimental de vivienda alto andina, MEV, a 3700 msnm, en Raymina, Ayacucho, y se compara con las mediciones reales realizadas en este módulo de vivienda. Los resultados muestran un buen acuerdo entre la simulación y los datos experimentales, con una diferencia de temperatura promedio entre lo medido y simulado de 0.28°C. Así mismo, el uso de un modelo adaptativo de confort térmico para emplazamiento del MEV reduce la demanda energética en calefacción en un 50% en comparación a los modelos de confort estandarizados para climas fríos.

Palabras-clave: OpenStudio, SketchUp, EnergyPlus, Análisis Térmico, Confort Térmico.

Abstract. Many calculations to determine the thermal behavior of buildings consider only the heat transfer in steady state by calculating the thermal resistance of the different parts of the building envelope. These calculations do not consider the heat accumulated in the construction materials, which depends on time, so these calculations are not reliable, especially if they are applied in extreme climatic zones, as they exist in Peru.

In the present work we present the application of thermal simulation programs of buildings that consider heat transfer as a function of time. The advantage of using these tools prior to the design, construction or modification of a building, will help save time and costs, also allows to make decisions in terms of choosing a certain strategy and bioclimatic technique to be implemented in the design of a sustainable building with energy efficiency that improves the conditions of thermal comfort and habitability.

In developed countries, these applications are common, some of which are open source and free to use, such as OpenStudio or Energyplus, which work with a plug-in for Google SketchUp as a 3D design tool.

In the present work, we apply these simulations to a high Andean housing experimental module, MEV, at 3700 m asl, in Raymina, Ayacucho, and compare it with the real measurements made in this housing module. The results show a good agreement between the simulation and the experimental data, with an average temperature difference between the measured and simulated of 0.28 °C. Likewise, the use of an adaptive model of thermal comfort for the location of the MEV reduces the energy demand in heating by 50%, compared to standardized comfort models for cold climates.

Key words: OpenStudio, SketchUp, EnergyPlus, Thermal comfort, Thermal simulation.

ANEXO 4

Realización de estancia académica en la UNAM. Grupo Energía en Edificaciones.



Bach. Juan Omar Molina Fuertes
Maestría en Energías Renovables y Eficiencia Energética
Facultad de Ciencias
Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú
Presente

El que suscribe Dr. Sergio Cuevas García, Coordinador Académico de Posgrado del Instituto de Energías Renovables de la Universidad Nacional Autónoma de México (IER-UNAM), hace constar que JUAN OMAR MOLINA FUERTES realizó una estancia académica del 13 de junio al 23 de agosto de 2017 bajo la supervisión del Dr. JORGE ROJAS MENÉNDEZ investigador del grupo de “Energía en Edificaciones” del IER-UNAM.

Durante su estancia académica en nuestra institución, el Sr. Molina desarrolló el proyecto de investigación “Evaluación y simulación de un módulo bioclimático para zonas rurales altoandinas” en el ámbito del confort térmico que es un área de investigación de la maestría en Energías Renovables y Eficiencia Energética de la Universidad Nacional de Ingeniería, en Perú. Cabe mencionar que el Sr. Molina, ha demostrado seriedad y responsabilidad en su desempeño, además de un alto rendimiento en el trabajo realizado.

Se extiende la presente a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Temixco, Morelos, a 23 de agosto de 2017

DR. SERGIO CUEVAS GARCÍA
COORDINADOR ACADÉMICO DE POSGRADO
IER-UNAM

UNAM



INSTITUTO DE ENERGÍAS RENOVABLES
COORDINACIÓN DE POSGRADO

Priv. Xochicalco s/n,
Col. Centro,
62580 Temixco, Morelos
T. 01 (777) 362 00 90
(52) 55 56 22 97 00

ier.unam.mx