



UNIVERSIDAD
NACIONAL
DE LA PLATA

FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO

MAESTRÍA EN ARQUITECTURA Y HÁBITAT SUSTENTABLE

**Estudio de la vivienda convencional de la
conurbación de Guayaquil (Ecuador) y su
rehabilitación energética**

Tesis de Maestría presentada por

Sandra Liliana Carbonell Hibito

Para acceder al grado académico de

Magíster en Arquitectura y Hábitat Sustentable

Dirección de Tesis

Dra. Arq. Celina Filippín

Agosto 2022

AGRADECIMIENTOS

A mi familia, para Melba y Henry, gracias por el apoyo en este largo trayecto

A mi querida directora de Tesis, Celina Fillipín gracias por la paciencia, por la ayuda y guía incondicional.

A mis amigos Xavier y Marina por facilitarme su vivienda que representa el caso de estudio de esta tesis. A la Sra. Nelly por su colaboración.

A Arturo Ordoñez por su asesoramiento en el manejo del programa de simulación.

A mi amiga Heli por su ayuda y apoyo incondicional desde que éramos estudiantes de arquitectura.

A mis amigos-hermanos de Argentina que los llevo en el corazón, especialmente a Lety, Silvia, Tom, y Roberto.

A mi querida Nancy Rojas, gracias, por tanto.

Al Arq. Aldo Volpe que me brindó la oportunidad de trabajar y estudiar en Argentina, desde el inicio fue un apoyo fundamental y a mis excompañeras y amigas de trabajo Vicky, Anabella, Laura y Mercedes..

Y a todas las personas que directamente e indirectamente me brindaron su ayuda desinteresada.

RESUMEN

En Guayaquil, una de las ciudades más pobladas del Ecuador se inició un boom inmobiliario aproximadamente desde el año 2000 mediante la construcción de urbanizaciones cerradas ubicadas en zonas alejadas de los centros urbanos y en los cantones cercanos. Las promotoras inmobiliarias ofrecen un producto compuesto por el terreno y la vivienda para lo cual se dispone de un portafolio de modelos de casas de uno o dos pisos con diferentes opciones de fachadas y metros cuadrados de construcción; el cliente elige de acuerdo a su presupuesto.

La mayoría de viviendas que se desarrollan en este tipo de urbanizaciones se planifican con pobres criterios de diseño lo que conlleva a tener un escaso confort térmico en los espacios interiores. Frecuentemente las viviendas emplazadas se ubican en orientaciones críticas con respecto al sol, en las fachadas se emplean vidrios con un alto coeficiente de ganancias de calor solar (SHGC), las ventanas no poseen dispositivos de control solar y se utilizan en las cubiertas materiales sin aislación térmica. Estas soluciones son incoherentes con el clima tropical de la zona.

En esa época no existía una normativa de eficiencia energética, sin embargo, en el año 2018 la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) emitió el capítulo “Norma de Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales y a partir del 2019 su cumplimiento debería ser obligatorio. En la actualidad la norma aún no ha sido implementada en una ordenanza por la mayoría de los municipios de la costa ecuatoriana, razón por la cual no existe un control estatal que acredite su ejecución.

El objetivo de esta tesis fue confirmar con datos que este tipo de construcciones masivas no cumplen con las condiciones de confort térmico. Para comprobar esta hipótesis se realizó el estudio de caso de una vivienda construida en el período 2003-2004 ubicada en la urbanización Villa Club, un importante megaproyecto del cantón Daule que forma parte de la conurbación del Gran Guayaquil.

El primer análisis comenzó en enero del 2016 con la realización de mediciones en sitio con el diseño original de la vivienda. Posteriormente el inmueble fue remodelado y ampliado, y se realizaron nuevas mediciones en marzo del 2018. Los períodos de medición corresponden a la temporada más calurosa de la costa ecuatoriana (diciembre a mayo).

Se elaboró un modelo energético calibrado con el software Design Builder y la confiabilidad de los resultados fueron verificados mediante un análisis estadístico de regresión simple; los coeficientes de correlación estuvieron entre 84% y 91% en planta baja y en la planta alta entre 91% al 96%.

Posteriormente se realizaron las simulaciones anuales de cada uno de los ambientes de la vivienda para la obtención del rango de confort adaptativo. En planta baja los niveles de confort se registraron dentro de un rango del 57% hasta el 58%. En planta alta los porcentajes estuvieron entre 50% al 54%, lo que indica que este nivel está más expuesto a las ganancias de calor.

Se generaron opciones de mejoramiento mediante la utilización de vidrios y materiales de cubierta con mejores características térmicas. Se realizaron tres propuestas de envolvente: la primera opción se propone el uso de una cubierta con aislación térmica, la segunda opción consta de la utilización de una barrera radiante encima del cielo raso y el tercer prototipo incorpora aislamiento en las paredes de acuerdo a la Norma NEC con una cubierta con aislación térmica. En los tres prototipos se incorporó un tipo de vidrio con menor coeficiente de ganancias de calor solar (SHGC)

Se realizaron los análisis de confort adaptativo con las condiciones reales de uso de la vivienda y para aumentar las horas de confort se estableció un nuevo escenario modificando los horarios de uso en el abrir y cerrar ventanas en períodos más favorables para ventilar naturalmente la vivienda. Este nuevo escenario se tomó como base para realizar las simulaciones con las propuestas de mejoramiento. La carga de refrigeración disminuyó entre 56% hasta 58% con respecto al modelo original, beneficiando a que la vivienda pueda funcionar de manera pasiva por períodos más prolongados.

Finalmente se realizó un estudio económico en el cual se analizaron varias opciones para el mejoramiento de la envolvente de acuerdo a su costo-beneficio, a la vida útil del inmueble y su período de amortización, resultado del ahorro económico en la planilla de electricidad. Con respecto a este último punto, se estableció una situación hipotética con una reducción del 50% en el consumo eléctrico por la disminución de la carga de refrigeración con las mejoras implementadas.

Adicionalmente se realizó un análisis del incremento del costo entre materiales eficientes con los tradicionales y la necesidad de establecer programas gubernamentales que ayuden a financiar los costos de rehabilitación energética en viviendas existentes.

Palabras claves: Confort Térmico, Rehabilitación Energética, climatización pasiva, Arquitectura Bioclimática

ABSTRACT

In Guayaquil, one of the most populated cities of Ecuador, the real estate boom began in the year 2000, with the development of gated communities located in the suburbs of the city and nearby municipalities. The real estate developers offer a product made up of the lot and the housing unit, with a portfolio of one or two-story houses with different facades options and construction area; the client chooses according to his budget.

The majority of houses developed in this type of urbanization are planned with poor design criteria, leading to have poor thermal comfort in the interior spaces. Usually, the housing unit is not located in most beneficial orientation towards the sun, the glass used in the facades are of low quality with a high Solar Heat Gain Coefficient (SHGC), the windows do not have solar control devices, and the materials used in the roofs lack of thermal insulation. These solutions are incoherent with local tropical climate.

At that time the real estate boom started, there was no energy efficiency regulation. However, in 2018, the Ecuadorian Construction Standard (NEC) issued the chapter "Energy Efficiency Standard in Residential Buildings", and as of 2019 its compliance should be mandatory. Currently, the regulation has not yet been adopted by-law in most of the municipalities of the Ecuadorian coast, for this reason, there is no state control that proves its execution.

The objective of this thesis is to confirm that this type of massive housing construction does not meet the thermal comfort requirements. To prove this hypothesis, a case study was carried out in a house built in the period 2003-2004, located in the Villa Club housing development, considered one of the most important real estate megaprojects in the Daule canton, part of the Greater Guayaquil conurbation.

The first analysis was performed in January 2016 with on-site measurements, considering the original design of the house. Subsequently, the property was remodeled and expanded, which required new measurements that were performed in March 2018. The thermal monitoring was performed during the hottest season on the Ecuadorian coast (December to May).

An energy calibrated model was elaborated with Design Builder software and the reliability of the results was verified through a simple regression statistical analysis; the

correlation coefficients were between 84% and 91% on the ground floor and between 91% and 96% on the upper floor.

Subsequently, to obtain the range of adaptive comfort, annual simulations of each space in the house were performed. On the ground floor, the comfort range was recorded within a range of 57% to 58%. On the upper floor, the comfort acceptability percentages were between 50% and 54%, which indicates that this level was more exposed to heat gains.

The improvement options were generated through the selection: glass and roofing materials with better thermal characteristics. Three thermal envelope proposals were made: the first proposal suggests the use of thermal insulation in the roof, the second proposal suggests the use of a radiant barrier on top of the ceiling, and, the third proposal suggests the incorporation of thermal insulation in the walls according to the NEC Standard. In all three options, a type of glass with lower Solar Heat Gain Coefficient (SHGC) was incorporated.

Adaptive comfort analysis was performed using actual conditions of the house; to increase the hours of comfort, a modified scenario, opening and closing windows was established, to be performed during the periods that benefit the natural ventilation of the house. This situation created a new scenario, which was used as a basis to carry out the simulations of the three improvement proposals. The refrigeration load decreased between 56% and 58% with respect to the original model, allowing the house to function passively for longer periods.

Finally, an economic study was performed. Several options for the improvement of the thermal envelope were analyzed, related to the cost-benefit, life cycle of the property and its amortization period, and the result of economic savings in the electric power billing payroll. Regarding this last point, a hypothetical situation of a 50% reduction in electricity consumption was established, due to the reduction in the refrigeration load with the improvements implemented.

In addition, an analysis of cost increase between efficient and traditional, it is necessary to establish government programs that help finance the costs of energy retrofit in existing housing.

Keywords: *thermal comfort, energy rehabilitation, passive cooling, bioclimatic architecture*

CONTENIDO

RESUMEN	2
ABSTRACT	5
Listado de Mapas	11
Listado de Esquemas	11
Listado de Figuras	12
Listado de Tablas	17
Listado de Acrónimos	21
1 CAPÍTULO UNO - GENERALIDADES DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR	23
1.1 Perfil Geográfico y Climático	23
1.2 Clima del Ecuador	25
Clasificación climática Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)	28
1.3 Perfil Político y Económico	33
1.4 Políticas Públicas sobre Eficiencia Energética -Marco Jurídico Ecuatoriano.....	36
Ley de Eficiencia Energética.....	37
Programa para la Renovación de Equipos de Consumo Energético Ineficiente.....	38
Proyecto de “Sustitución de focos ahorradores por Incandescentes”	38
Proyecto Piloto de Cocinas de Inducción.....	38
Tarifa de la Dignidad.....	41
Norma NEC- Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales	41
1.5 Matriz Energética: Concepto.....	46
Esquema de análisis de la situación energética del Ecuador	48
1.6 Evolución histórica de la energía en el ecuador (1970-2012).....	49
1.7 Matriz energética del Ecuador	52
Energía primaria	52
Energía secundaria	54
1.8 Demanda de energía por sectores 2016	56
Demanda de energía eléctrica por sectores (total nacional)	57

Análisis histórico de la demanda de energía del sector residencial	58
Demanda de energía sector residencial kWh/cliente	61
Demanda de energía 2016 del sector residencial por regiones y provincias	65
1.9 Conclusiones	69
2 CAPÍTULO DOS - PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	71
2.1 Antecedentes	71
2.2 Planteamiento del problema	74
Hipótesis.....	79
Metodología	80
3 CAPÍTULO TRES - MARCO TEÓRICO	82
3.1 Confort térmico- justificación	82
Antecedentes	82
3.2 Definiendo la zona de confort térmico.....	86
La ecuación de confort de Fanger.....	91
Modelo de confort adaptativo.....	94
Modelo de Confort Adaptativo-Estudios de Campo	98
Investigaciones del modelo confort adaptativo en climas ecuatoriales	99
ASHRAE Standard 55 (Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy)	102
3.3 Conclusiones	106
4 CAPÍTULO CUATRO : DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO	108
4.1 Contexto y emplazamiento	108
4.2 Análisis climático.....	109
4.3 Método de análisis de confort	116
4.4 Antecedentes del territorio.....	124
4.5 Descripción de la vivienda.....	130
Propietarios	130
Características arquitectónicas.....	131

Diseño ambiental y tecnología	133
4.6 Monitoreo térmico (2016)	134
4.7 Monitoreo térmico (2018)	142
4.8 Consumo de electricidad- lectura del medidor	149
4.9 Consumo de energía detallado (semana 19 al 26 de marzo 2018).....	151
4.10 Análisis planillos eléctricas	153
4.11 Conclusiones.....	154
5 CAPÍTULO CINCO: ELABORACIÓN DEL MODELO ENERGÉTICO.....	155
5.1 Elaboración Archivo Climático. epw	157
5.2 Elaboración del modelo	158
Opción de ventilación, ¿programada o calculada?	161
5.3 Resultados de Simulaciones Planta Baja	163
Sala	164
Comedor.....	166
Sala TV	168
Cocina.....	170
Caja de Escalera	172
5.4 Resultados de Simulaciones Planta Alta.....	174
Dormitorio 1	174
Dormitorio 2.....	176
Dormitorio Principal	178
5.5 Conclusiones	180
6 CAPÍTULO SEIS: EVALUACIÓN DEL MODELO ENERGÉTICO	182
6.1 Análisis de confort térmico del modelo base	183
Análisis de confort adaptativo período (19 de marzo al 25 de marzo)	183
Análisis de confort adaptativo anual	185
6.2 Balance Térmico de la vivienda original	188
6.3 Propuestas de mejoramiento.....	191

Mejoramiento de la ventilación natural	192
Disminución de la ganancia solar	199
Mejoramiento de la Cubierta	205
6.4 Análisis de Confort Adaptativo de los prototipos de mejoramiento	211
6.5 Análisis de Confort Adaptativo semana estudio de campo (19 de marzo-25 de marzo)	217
6.6 Conclusiones	224
7 CAPÍTULO SIETE: ANÁLISIS ECONÓMICO	227
7.1 Análisis de planillas y tarifas eléctricas.....	227
7.2 Proyección de ahorro en planillas eléctricas	228
7.3 Costo de las propuestas de mejoramiento.....	229
7.4 Período de amortización de las mejoras	235
7.5 Conclusiones	240
8 CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES.....	244
BIBLIOGRAFÍA	251
ANEXO I	256
ANEXO II	259
ANEXO III	261
ANEXO IV	262
ANEXO V	263
ANEXO VI	264

Listado de Mapas

Mapa 1. Regiones naturales que conforman la República del Ecuador.....	23
Mapa 2. Mapa Político del Ecuador.....	24
Mapa 3. Köppen – Geiger mapa de clasificación del clima para Tropical.....	27
Mapa 4. Climas del Ecuador	31
Mapa 5. Zonas Climáticas del Ecuador	43
Mapa 6. A la derecha, principales cantones conforman la conurbación de Guayaquil (Samborondón, Durán, Daule), a la izquierda “El Gran Guayaquil”	109
Mapa 7. Parroquias más cercanas a Guayaquil, la Puntilla (cantón Samborondón, La Aurora (Cantón Daule)	125
Mapa 8. Urbanizaciones cerradas en la parroquia satélite la Aurora.....	127
Mapa 9. Plan Maestro Urbanización Villa Club.	128
Mapa 10. Urbanización Aura, ubicación caso de estudio.	129

Listado de Esquemas

Esquema 1. Proceso de análisis del sector energético del Ecuador.....	48
Esquema 2. Hipótesis y Variables.....	79
Esquema 3. Esquema metodológico	80
Esquema 4. Metodología Capítulo 4	108
Esquema 5. Metodología Capítulo 5	155
Esquema 6. Metodología Capítulo 6	182
Esquema 7. Metodología Capítulo 7	227

Listado de Figuras

Figura 1. Zona tropical de Latinoamérica.	26
Figura 2. Características climáticas del Ecuador	28
Figura 3. Zona de Convergencia Intertropical.....	28
Figura 4. Variación de temperatura media anual de las estaciones meteorológicas del INAMHI según la altura sobre el nivel del mar (INAMHI, 2010 y años anteriores)	29
Figura 5. Exportaciones petroleras y no petroleras.....	33
Figura 6. Recursos energéticos primarios y secundarios.....	46
Figura 7. Evolución de la oferta de energía por fuentes 1970-2012	50
Figura 8. Evolución del consumo de energía por sectores 1970-2012	51
Figura 9. Evolución del consumo de energía por fuentes 1970-2012.....	51
Figura 10. Matriz Energética del Ecuador.....	52
Figura 11. Producción de energía primaria, 2013-2016 (Kbep).	53
Figura 12. Producción de energía secundaria, 2013-2016 (Kbep).	54
Figura 13. Balance Energético Nacional 2017 (año base 2016) (Kbep).....	55
Figura 14. Estructura del consumo de energía por sectores.	56
Figura 15. Evolución de la energía facturada por las empresas distribuidoras.....	58
Figura 16. Cantidad total de permisos de construcción a nivel nacional.....	59
Figura 17. Cantidad total de permisos de construcción a nivel nacional-construcción residencial.....	59
Figura 18. Gráfico Total clientes y consumo residencial.....	61
Figura 19. Gráfico consumo anual cliente kWh. Elaboración propia	63
Figura 20. Usos finales de la Energía 1993, Sector Residencial (Región Costa)	63
Figura 21. Usos finales de la energía 1993, Sector Residencial (Región Sierra)	64
Figura 22. Demanda Sector Residencial	64
Figura 23. Distribución por estrato del consumo residencial de energía eléctrica (Total nacional 2010).....	65
Figura 24. Sector residencial, promedio mensual kWh/cliente por distribuidora.	67
Figura 25. Número de usuarios del servicio eléctrico por provincia.....	68
Figura 26. Sector residencial, número de clientes y consumo GWh por regiones.....	69

Figura 27. Mapa del Ecuador,.....	69
Figura 28. Gráfico comparativo, uso final de la energía región costa y sierra.	70
Figura 29. Hogares que tienen aire acondicionado	75
Figura 30. Intercambio de calor entre el hombre y alrededores.	84
Figura 30. Intercambio de calor entre el hombre y alrededores.	84
Figura 30. Intercambio de calor entre el hombre y alrededores.	84
Figura 30. Intercambio de calor entre el hombre y alrededores.	84
Figura 31. Gráfico Bioclimático esquemático	87
Figura 32. Diagrama psicométrico de Baruch Givoni.....	88
Figura 33. Porcentaje predicho de insatisfacción (Predicted percentage dissatisfied- PPD)	92
Figura 34. La dependencia estadística de las neutralidades térmicas de espacios interiores con respecto al clima exterior.	93
Figura 35. Los tres componentes de adaptación en un clima interior.	94
Figura 36. El modelo psico-fisiológico de la percepción térmica: El Modelo Adaptativo..	96
Figura 37. Rangos aceptables de temperatura operativa y humedad. Método gráfico estándar ASHRAE 55.	104
Figura 38. Rangos de temperaturas operativas aceptables para espacios naturalmente acondicionados	105
Figura 39. Temperatura superficial del mar de los meses de enero, febrero, y marzo del 2021	109
Figura 40. Temperatura superficial del mar de los meses de julio, agosto y septiembre del 2021	110
Figura 41. Velocidad del Viento.....	112
Figura 42. Frecuencia del Viento	113
Figura 43. Radiación global horizontal	114
Figura 44. Cartas Solares	115
Figura 45. Método gráfico para la obtención de la Temperatura Operativa	118
Figura 46. Diagrama de Confort Adaptativo-90% de aceptabilidad de los usuarios	119
Figura 47. Diagrama de Confort Adaptativo-80% de aceptabilidad de los usuarios	120

Figura 48. Climograma de Givoni y rango de confort adaptativo para Guayaquil	122
Figura 49. Fotografía sector de la urbanización.....	130
Figura 50. Proyecto arquitectónico original	132
Figura 51. Corte A-A.....	132
Figura 52. Fotografía fachada frontal.....	133
Figura 53. Fachada Frontal y Fachada Posterior (antes de la remodelación)	133
Figura 54. HOBO modelo UX100-011	134
Figura 55. HOBO UX100-003	135
Figura 56. Ubicación de micro adquisidores de datos (HOBOS).	135
Figura 57. Diagrama Psicométrico de Givoni- Modelo de confort adaptativo con mediciones interiores (2016)	141
Figura 58. Remodelación planta baja y ubicación de micro-adquisidores de datos (HOBOS)......	142
Figura 59. Corredor de servicio- ubicación de Hobo.....	143
Figura 60. Ubicación de micro-adquisidor de datos en dormitorio 1	144
Figura 61. Monitoreo térmico planta baja, período 14 de marzo 31 de marzo del 2018.	146
Figura 62. Monitoreo térmico planta alta, período 14 de marzo 31 de marzo del 2018.	147
Figura 63. Diagrama Psicométrico de Givoni- Modelo de confort adaptativo con mediciones interiores (2018)	148
Figura 64. Lectura del medidor, inicio del monitoreo térmico	149
Figura 65. Porcentaje Consumo Eléctrico Semanal	153
Figura 66. Consumo y costo de planillas eléctricas (año 2018)	153
Figura 67. Modelo de la vivienda	156
Figura 68. Internal Data Elements Names (Directly aplicable to EPW)	157
Figura 69. Planta Baja, Zonas Térmicas	160
Figura 70. Planta Alta, Zonas Térmicas.....	160
Figura 71. Ventilación Programada. Opciones disponibles en cerramientos y HVAC	161
Figura 72. Ventilación Calculada. Opciones disponibles en cerramientos y HVAC	162
Figura 73. Distribución Planta Baja.....	163

Figura 74. Corte Esquemático con trayectoria solar (mes de marzo)	163
Figura 75. Sala	164
Figura 76. Modelo Design Builder y Fotografía actual del jardín	164
Figura 77. Datos medidos y simulados para la Sala	165
Figura 78. Sala -Modelo de Dispersión.....	166
Figura 79. Interior del Comedor	166
Figura 80. Datos medidos y simulados para el Comedor.....	167
Figura 81. Comedor -Modelo de Dispersión.....	167
Figura 82. Interior Sala de TV	168
Figura 83. Datos medidos y simulados para la Sala TV	169
Figura 84. Datos simulados Sala TV y Comedor.....	169
Figura 85. Sala TV -Modelo de Dispersión.	170
Figura 86. Interior Cocina	171
Figura 87. Datos medidos y simulados para la Cocina.....	171
Figura 88. Cocina-Modelo de Dispersión.....	172
Figura 89. Datos medidos y simulados para la Escalera	173
Figura 90. Escalera-Modelo de Dispersión.	173
Figura 91. Distribución Planta Alta	174
Figura 92. Corte Esquemático planta alta con trayectoria solar (mes de marzo)	174
Figura 93. Datos medidos y simulados para el Dormitorio 1.....	175
Figura 94. Dormitorio 1-Modelo de Dispersión.....	176
Figura 95. Datos medidos y simulados para el Dormitorio 2.....	177
Figura 96. Dormitorio 2 - Modelo de Dispersión.	177
Figura 97. Datos medidos y simulados para el Dormitorio Principal	178
Figura 98. Dormitorio Principal - Modelo de Dispersión.	179
Figura 99. Temperaturas operativas de los ambientes que funcionan con climatización pasiva	185
Figura 100. Puerta tradicional, casa hacienda Graciela, Cantón Daule.....	197
Figura 101. Rejillas superiores.....	198
Figura 102. Ventana tipo chaza, casa patrimonial, barrio las Peñas, Guayaquil	198

Figura 103. Aleros y rejillas superiores en ventanas.....	198
Figura 104. Equinoccios, rayos solares	199
Figura 105. Perspectiva fachada posterior, incorporación de aleros.....	199
Figura 106. Solsticio de invierno y verano- orientación oeste.....	200
Figura 107. Solsticio de Verano-Aleros Planta Alta, orientación oeste.....	200
Figura 108. Equinoccios de primavera y otoño, Alero en mampara de comedor PB.....	200
Figura 109. Equinoccios de primavera y otoño, Aleros Planta Alta, orientación oeste ..	201
Figura 110. Failam, vidrio laminado	202
Figura 111. Vidrio Pilkington Eclipse Advantage.....	203
Figura 112. Detalle de Ganancias Solares en Vidrios	204
Figura 113. Resultados de Ganancia Solares modelo calibrado con opciones de vidrio	205
Figura 114. Kutérmico, PIR.....	206
Figura 115. Curvas de transmisión de calor a través de cámaras de aire	207
Figura 116. Barrera radiante, Air-Bur Termic 10, especificaciones técnicas.....	208
Figura 117. Ubicación de barrera radiante en cámaras de aire horizontal y vertical.....	208
Figura 118. Detalle 1- de colocación de barrera radiante en cámara de aire	209
Figura 119. Sala-temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo)	217
Figura 120. Cocina-temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo).....	218
Figura 121. Comedor-temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo).....	218
Figura 122. Sala de TV-temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo)	219
Figura 123. Dormitorio 2 -temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo)	220
Figura 124. Dormitorio Principal -temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo)	220
Figura 125. Balance térmico Escenario 2.....	221
Figura 126. Balance térmico prototipo M1	221
Figura 127. Balance térmico prototipo M2	222
Figura 128. Balance térmico prototipo M3	222
Figura 129. Ganancias y pérdidas de calor. Porcentajes de mejoramiento	223
Figura 130. Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica (período enero- diciembre 2021).....	227

Figura 131. Ubicación de cielo raso con barrera radiante y áreas de cubierta	230
Figura 132. Plano, códigos de carpinterías de aluminio y vidrio.....	231
Figura 133. Planilla de carpinterías, dimensiones en planta y alzados	232
Figura 134. Cotización 1-carpinterías vidrios laminados Fairis 6 mm color bronce o gris	233
Figura 135. Cotización 2- carpinterías vidrios templado Pilkington Evergreen 6 mm color	233
Figura 136. Cotización 3 -carpinterías vidrio Pilkington Float Evergreen 6 mm.....	234
Figura 137. Diagrama de Givoni y Rango de Confort Adaptativo de prototipo M2	248
Figura 138. Villa Club.....	264
Figura 139. Villa Club.....	264
Figura 140. Club Social de una de las urbanizaciones.....	265
Figura 141. Vivienda en construcción.....	265
Figura 142. Viviendas de etapas recientemente construidas	266
Figura 143. Viviendas de etapas recientemente construidas	266

Listado de Tablas

Tabla 1. Clasificación Climática de Köppen- Categoría principal.	26
Tabla 2. Köppen-Grupo A: Tropical	27
Tabla 3. Clasificación Climas del Ecuador.	31
Tabla 4. Regiones del Ecuador.....	32
Tabla 5. GLP, generación nacional, importación y despacho a comercializadoras privadas	39
Tabla 6. Valor económico importación GLP (2016-2017)	39
Tabla 7. Zonificación Climática	43
Tabla 8. Requisitos de envolvente para la zona climática 1	44
Tabla 9. Producción de energía primaria, 2013-2016 (Kbep)	53
Tabla 10. Producción de energía secundaria, 2013-2016 (Kbep).	54
Tabla 11. Evolución de la energía facturada (GWh) por las empresas distribuidoras.....	57
Tabla 12. Total, clientes, Consumo de energía período 2000-2016.....	60

Tabla 13. Consumo anual kWh/cliente.....	62
Tabla 14. Consumo eléctrico regional por sectores.	66
Tabla 15. Sector residencial, número de clientes y consumo GWh por regiones.	67
Tabla 16. Evaluación cualitativa de tendencias de demanda en el sector vivienda en Ecuador	74
Tabla 17. Intercambio de calor entre el ser humano y los alrededores.	83
Tabla 18. Factores de confort.....	84
Tabla 19. Factores de confort Fuente: MAyHS-Clima y Confort	85
Tabla 20. Clasificación de los modelos formales que abordan el tema de confort higrotérmico	90
Tabla 21. Escala termal ISO7730	91
Tabla 22. Factores que intervienen en un modelo conceptual de adaptación térmica....	95
Tabla 23. Porcentaje de inconformidad debido al calor.....	100
Tabla 24. Porcentaje de inconformidad debido a la ausencia de calor (frío).....	100
Tabla 25. Temperaturas neutras en función de T _g , coeficiente de correlación y ecuación para cada grupo de encuestas y para la integración de todas.....	102
Tabla 26. Precipitaciones	110
Tabla 27. Temperatura.....	111
Tabla 28. Humedad Relativa.....	112
Tabla 29. Radiación Solar.	113
Tabla 30. Resumen análisis del clima.	116
Tabla 31. Temperatura neutral/zona de confort.....	117
Tabla 32. Temperaturas horarias (anual)	123
Tabla 33. Manzanas, cantidad de viviendas y orientación	129
Tabla 34. Información de la familia.	130
Tabla 35. Superficies y retiros de la vivienda.....	131
Tabla 36. Coeficientes de transmitancia térmica de la envolvente de la vivienda	134
Tabla 37. Temperatura exterior 16-21 de enero	136
Tabla 38. HR exterior período 16-21 de enero	137
Tabla 39. Temperatura y HR exterior período 16-21 de enero.....	137

Tabla 40. Monitoreo térmico planta baja, período 16 enero al 24 de enero del 2016...	138
Tabla 41. Monitoreo térmico planta alta, período 16 enero al 24 de enero del 2016....	139
Tabla 42. Detalle temperaturas, enero 2016 (máximas, medias y mínimas).....	140
Tabla 43. Temperatura exterior, máximas, medias y mínimas.....	144
Tabla 44. HR máxima, media, mínima.	145
Tabla 45. Temperatura máxima y mínima- HR máxima y mínima.	145
Tabla 46. Monitoreo térmico, detalle de temperaturas (marzo 2018).....	148
Tabla 47. Consumo medidor de luz (kWh) y horas de uso de climatización mecánica...	150
Tabla 48. Consumo Semanal detallado de energía eléctrica kWh.....	152
Tabla 49. Datos utilizados en el modelo energético.....	159
Tabla 50. Climatización activa y pasiva de la vivienda (19 de marzo hasta el 25 de marzo)	184
Tabla 51. Ambientes y período de análisis (19 de marzo al 25 de marzo)	184
Tabla 52. Escenario 1- Período de funcionamiento de ventanas y puertas.....	186
Tabla 53. Escenario 1- Análisis de confort adaptativo anual (períodos ocupados por los usuarios)	187
Tabla 54. Escenario 1- Análisis de confort adaptativo anual (todos los períodos).....	188
Tabla 55. Balance térmico anual (Escenario 1).....	189
Tabla 56. Balance térmico semana 19 al 25 de marzo (Escenario 1)	190
Tabla 57. Radiación solar incidente (fachada oeste)	191
Tabla 58. Horarios de apertura de puertas y ventanas, Escenario 2	193
Tabla 59. Rango de Confort Adaptativo escenarios 1 y 2 (períodos ocupados por los usuarios)	196
Tabla 60. Número de horas de confort (horarios ocupados anual)	196
Tabla 61. Vidrios, propiedades térmicas, solares, visibles y coeficientes de LSG y SHGC203	
Tabla 62. Coeficiente K de Transmitancia térmica- Prototipo M1	210
Tabla 63. Coeficiente K de Transmitancia térmica - Prototipo M2	210
Tabla 64. Coeficiente K de Transmitancia térmica - Prototipo M3	211
Tabla 65. Horas de Confort y Disconfort (períodos ocupados) prototipo M1	211
Tabla 66. Horas de Confort y Disconfort (períodos ocupados) prototipo M2	212

Tabla 67. Horas de Confort y Disconfort (períodos ocupados) prototipo M3	212
Tabla 68. Cuadro comparativo no. horas de confort (períodos ocupados)	214
Tabla 69. Porcentaje horas de confort (períodos ocupados).....	214
Tabla 70. Cuadro comparativo no. horas de confort (todos los períodos)	215
Tabla 71. Porcentaje horas de confort (todos los períodos).....	216
Tabla 72. Consumo eléctrico año 2018 con precios kWh año 2021	228
Tabla 73. Consumo eléctrico año 2018 con precios kWh año 2021 (Ahorro 50%)	229
Tabla 74. Costo por m2-Cielo raso, barrera radiante y cubierta con aislación	229
Tabla 75. Resumen de carpinterías	234
Tabla 76. Costo carpinterías, línea base y propuestas.....	235
Tabla 77. Costos-Sistemas de Carpinterías.....	235
Tabla 78. Precio prototipos de mejoramiento y período de amortización	237
Tabla 79. Cubierta y Barrera Radiante-Análisis económico comparativo	238
Tabla 80. Carpinterías- Análisis económico comparativo.....	239
Tabla 81. Costo total de mejoras en costo final de la vivienda.....	243

Listado de Acrónimos

AIE - *Agencia Internacional de Energía*

ASHVE - *American Society of Heating and Ventilation Engineers*

ASHRAE - *American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers*

AME - Asociación de Municipalidades del Ecuador

ARCONEL – Agencia de Regulación y Control de Electricidad

BEP - Barril Equivalente de Petróleo.

BIESS – Banco del Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social

BTU – British Thermal Units

CNEE - Comité Nacional de Eficiencia Energética

CNEL – Corporación Nacional de Electricidad

CONELEC - Consejo Nacional de Electricidad

CONICET- Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

CIBSE – *Chartered Institution of Building Services Engineers*

COOTAD - Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización

EPW - *EnergyPlus Weather Data File*

GAD - Gobierno Autónomo Descentralizado

GEI – Gases de Efecto Invernadero.

GLP – Gas Licuado de Petróleo

HVAC – *Heating Ventilation Air Conditioning*

IESS – Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social

IGM – Instituto Geográfico Militar

INAMHI - Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología

INEC - Instituto Nacional de Estadística y Censos

INECEL - Instituto Ecuatoriano de Electrificación

INEN - Instituto Ecuatoriano de Normalización

INER- Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables

INOCAR – Instituto Oceanográfico y Antártico de la Armada

IRAM – Instituto Argentino de Normalización y Certificación

LSG – *Light Solar Gain*

MAYHS - Maestría en Arquitectura y Hábitat Sustentable de la Universidad Nacional de la Plata.

MEER - Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

MERNNR - Ministerio de Energía y Recursos Naturales no Renovables.

MIDUVI - Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda

MTOP – Ministerio de Transporte y Obras Públicas

NEC - Norma Ecuatoriana de la Construcción

OCDE - Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico

ONU – Organización de las Naciones Unidas

PEC – Programa de Cocción Eficiente

PME – Plan Maestro de Electricidad

PNBV - Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017

PIB – Producto Interno Bruto

PIR – Poliisocianurato

PCMs - *Phase Change Materials*

PDOT – Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial

PLANEE - Plan de Eficiencia Energética

PMV - Voto Medio Previsto

PPD - *Predicted percentage dissatisfied*

SENPLADES - Secretaría Nacional de Planificación del Ecuador

SNEE - Sistema Nacional de Eficiencia Energética

SHGC - *Solar Heat Gain Coefficient*

SPNF - Sector Público No Financiero

Tn -Temperatura Neutral

UNDP - Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas

UV – Radiación Ultravioleta

ZCIT - Zona de convergencia intertropical

1 CAPÍTULO UNO - GENERALIDADES DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR

1.1 Perfil Geográfico y Climático

Ecuador es un pequeño país ubicado en la zona andina sudamericana, cuenta con una población total 16.278.844 habitantes¹, con una extensión de 256.370 km², valor que incluye el territorio continental e insular (Islas Galápagos). La superficie del continente es atravesada de norte a sur por la cordillera de los Andes conformada por un doble sistema de montañas, la Occidental y la Oriental dividiendo el territorio en 3 regiones:

- Región Costa
- Región Sierra
- Región Amazónica



Mapa 1. Regiones naturales que conforman la República del Ecuador

Fuente: Disponible en internet: https://www.researchgate.net/figure/Figura-1-Regiones-naturales-que-conforman-la-Republica-del-Ecuador-Ademas-la-presencia-fig1_308229797

1 Proyección de la población según provincia por grupos etarios, año 2015. Proyecciones poblacionales del Ecuador a partir del VII Censo de Población y VI de vivienda 2010 (en absolutos). Fuente: Compendio Estadístico 2014, INEC.

La Región Insular conformada por 13 islas mayores, 215 islotes pequeños conforman el Archipiélago de Galápagos declarado Patrimonio Natural de la Humanidad en 1978, Reserva de Biosfera, Santuario de ballenas y Área de Protección de Humedales.

Las 4 regiones están distribuidas en 23 provincias cada una con distintas características geográficas, variedad de suelos, paisajes y climas que varían en distancias cortas, rango que se presenta desde el cálido hasta el frío glaciario presentándose en la sierra ecuatoriana las amplitudes térmicas más significativas (IGM 2013). Todas estas particularidades ubican al Ecuador como uno de los 17 países con más biodiversidad² del planeta, ya que, si se reúne toda su diversidad terrestre y marina, tiene el mayor número de especies por extensión geográfica” (SENPLADES 2013).



Mapa 2. Mapa Político del Ecuador

Fuente: <http://www.forosecuador.ec/forum/ecuador/educaci%C3%B3n-y-ciencia/11390-mapa-pol%C3%ADtico-del-ecuador-con-sus-provincias-y-capitales-actualizado>

Las ciudades más importantes del país son Quito y Guayaquil. Quito, la capital del país tiene una población 2.239.191 habitantes, está ubicada a 2850 msnm en la sierra

2 Son un grupo de países que albergan el mayor índice de biodiversidad de la Tierra. El Centro de Monitoreo de la Conservación del Ambiente organismo perteneciente a las Naciones Unidas ha identificado a 17 países megadiversos. Se trata principalmente de países tropicales en el sureste asiático y de Iberoamérica. Fuente: Disponible en internet https://es.wikipedia.org/wiki/Pa%C3%ADses_megadiversos.

ecuatoriana en la provincia del Pichincha. Fue nombrada por la UNESCO Patrimonio Cultural de la Humanidad en 1978.

En la región costa, en la provincia del Guayas, se encuentra Guayaquil con una población de 2.350.915 habitantes según el censo de población y vivienda INEC 2010³. Su entorno natural es caracterizado por los cuerpos de agua que la rodean, grandes ríos y brazos de mar por su cercanía con el Océano Pacífico. En la época de la colonia fue considerado uno de los más importantes Astilleros de la Costa del Pacífico por su estratégica ubicación y recursos maderables. Es una ciudad con tradición marítima- fluvial, actualmente es el primer puerto marítimo del país ya que la mayor parte de las importaciones- exportaciones llegan y salen de esta ciudad y es reconocida a nivel local como “El Puerto Principal”.⁴

1.2 Clima del Ecuador

Para realizar un primer acercamiento general del clima del Ecuador, se utilizó la Clasificación Climática de Köppen y en segunda instancia se empleó la Clasificación Climática del Instituto Nacional de Meteorología (INAMHI)⁵ para identificar las distintas zonas y características climáticas del territorio ecuatoriano.

Clasificación climática de Köppen

La “Clasificación Climática de Köppen” es el sistema más utilizado para la categorización de los climas en el mundo, se basa en los promedios anuales y mensuales de temperatura y precipitación implementando seis principales categorías, cada una representada por una letra mayúscula. Cada categoría se subdivide en 24 subcategorías posibles las cuales se basan en la temperatura y precipitación.

3 Instituto Nacional de Estadísticas y Censos.

4 “Guayaquil posee el primer puerto nacional para el movimiento de la carga del comercio exterior, de la cual maneja aproximadamente el 70%. Tiene suficientes áreas de expansión (...) No posee las mejores condiciones físicas en marea baja los barcos se demoran 6 horas en salir a mar abierto, pero su largo historial comercial y las instalaciones portuarias disponibles desde 1958, le afirman el liderazgo que ha mantenido celosamente”. Disponible en internet < <http://www.marcotradenews.com/noticias/los-puertos-del-ecuador-18935>>

5 Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología, entidad gubernamental ecuatoriana responsable del pronóstico del tiempo, recopila, estudia, procesa, publica, y difunde la información hidrometeorológica.

Köppen Type	Climate	Description
A		Tropical Moist Climates: all months have average temperatures above 18 degrees Celsius
B		Dry Climates: with deficient precipitation during most of the year
C		Moist Mid-latitude Climates with Mild Winters
D		Moist Mid-Latitude Climates with Cold Winters
E		Polar Climates: with extremely cold winters and summers
H		Highland areas: Due to mountainous areas, this classification can encompass any of the previous five.

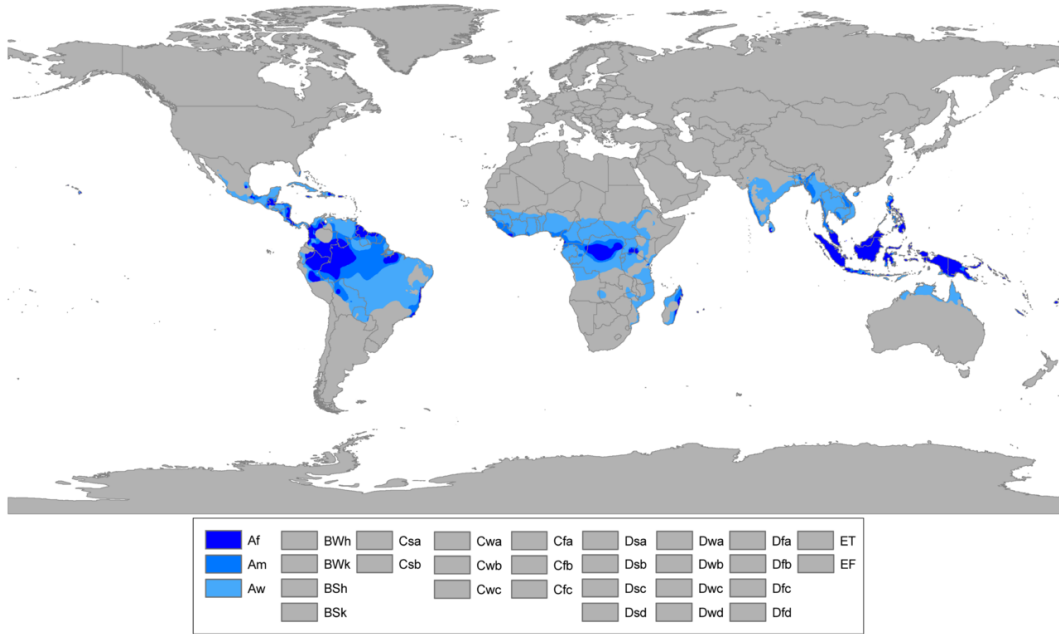
Tabla 1. Clasificación Climática de Köppen- Categoría principal.
Fuente: Auxiliary Program-U.S. Department of Energy, 2018

La zona de estudio le corresponde la categoría A que presenta los climas húmedos tropicales que se extienden hacia el norte y hacia el sur desde la línea ecuatorial hasta 25 grados de latitud. En esta categoría climática todos los meses tienen temperaturas promedio mayores a 18° C. **Tabla 1- Figura 1.**



Figura 1. Zona tropical de Latinoamérica.
Fuente: Google Earth Pro

La segunda letra representa la subcategoría la cual se basa en el régimen de precipitaciones (Tabla 2).



Mapa 3. Köppen – Geiger mapa de clasificación del clima para Tropical

Fuente: "Mapas actuales y futuros de clasificación climática de Köppen-Geiger con resolución de 1 km" (Beck, HE, Zimmermann., NE, McVicar., TR, Vergopolan., N., Berg, A., y Wood, EF, 2018)

GRUPO A: TROPICAL		Húmedo, ningún mes con temperaturas inferiores a 18°C
Af: Ecuatorial	Cálido y lluvioso todo el año, sin estaciones. Es el clima de la selva lluviosa.	Se da en el ecuador hasta los 10° de latitud, hasta los 25° en algunas costas orientales. Es el clima de la cuenca Amazónica, cuenca del Congo o parte de la zona Indo-Malaya en Asia.
Am: Monzónico	Cálido todo el año, con una estación seca corta seguida por una húmeda con fuertes lluvias. Es el clima de los bosques monzónicos.	En el oeste de África y sobre todo en el sudeste asiático es donde mejor está representado este clima: Tailandia, Indonesia.
Aw: Sabana	Cálido todo el año, con estación seca. Es el clima propio de la sabana.	Este clima aparece conforme nos alejamos del ecuador, a continuación de la zona Af. Es el clima de Cuba, de amplias zonas de Brasil, del África tropical y de gran parte de la India.

Tabla 2. Köppen-Grupo A: Tropical

Fuente: Disponible en internet: < <http://meteo.navarra.es/definiciones/koppen.cfm>>

Según la clasificación de Köppen la zona de estudio le corresponde el grupo Aw: Sabana que se caracteriza por la presencia de temperaturas cálidas en todo el año con estación seca. Este método ayuda a establecer de una forma rápida las características generales del clima de cualquier lugar del mundo, obviando ciertos detalles propios de cada lugar, razón por la cual se recomienda un análisis más detallado de acuerdo a la información meteorológica de cada país o región.

Clasificación climática Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI)



Fuente: IGM (2013)

Figura 2. Características climáticas del Ecuador
Fuente: IGM 2013

El clima en el Ecuador está relacionado con factores atmosféricos tales como la geografía (latitud y altitud), los sistemas montañosos como la Cordillera de los Andes (que influye en la humedad de ciertas regiones), las corrientes oceánicas que contribuyen en el aumento de temperatura superficial del mar que genera mayor evaporación y precipitaciones.

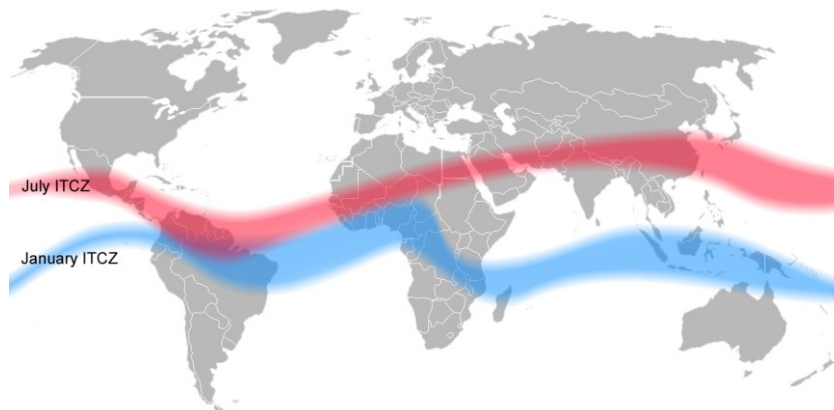


Figura 3. Zona de Convergencia Intertropical.
Fuente: Halldin Mats, 2006

Cerca del Ecuador se localiza la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), región que rodea la tierra cerca de la zona ecuatorial (**Figura 3**), en este sector se unen los vientos alisios de los hemisferios norte y sur. La intensa radiación solar y el agua tibia de los océanos aumentan la temperatura del aire y la humedad en la ZCIT. El aire caliente se dilata

disminuyendo su densidad y se eleva por la acción de los vientos alisios, éste se expande, se enfría y libera la humedad que se ha acumulado ocasionando intensas lluvias. “Los cambios estacionales en la ubicación de la ZCIT afectan drásticamente las precipitaciones en muchas naciones ecuatoriales, lo que da como resultado las estaciones húmedas y secas de los trópicos en lugar de las estaciones frías y cálidas de las latitudes más altas. Los cambios a largo plazo en la ZCIT pueden provocar sequías severas o inundaciones en áreas cercanas.”⁶ Las consecuencias del ZCIT en conjunto con las corrientes marinas afectan principalmente a las zonas costeras.

En la sierra ecuatoriana la Cordillera de los Andes es un factor determinante en las características climáticas. La altitud de una región determina la temperatura, una región costera tiene una temperatura mayor en comparación con las regiones que se alejan en altura. La temperatura es inversamente proporcional a la altitud, esta característica se denomina gradiente térmico⁷.

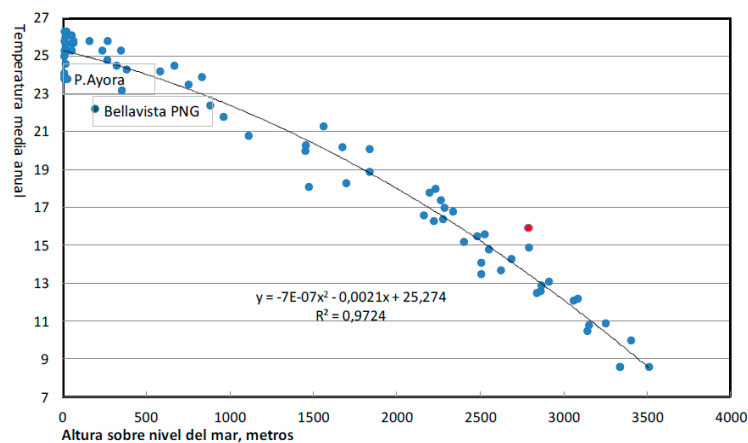


Figura 4. Variación de temperatura media anual de las estaciones meteorológicas del INAMHI según la altura sobre el nivel del mar (INAMHI, 2010 y años anteriores)⁸

6 Disponible en internet < <https://earthobservatory.nasa.gov/images/703/the-intertropical-convergence-zone>>

7 “El gradiente térmico se refiere al descenso de la temperatura con la altitud. Se debe a que la fuente de calor en la atmósfera es la irradiación desde el suelo por tanto mientras más alejado de la fuente, más frío estará el aire. Este gradiente es alterado por variados procesos tales como calentamiento intenso del suelo, movimiento turbulento de aire, vientos fuertes, subsidencia anticiclónica o descenso violento de la temperatura del suelo” Fuente: Disponible en internet:

<https://noticias.eltiempo.es/meteopedia/gradiente-termico-vertical/>

8 Citado del trabajo: Evans, John Martin - de Schiller, Silvia “Promoción de Eficiencia Energética y Uso de Energía Solar en Vivienda del Ecuador” Primer Congreso Internacional y Expo Científica, Investigación Sostenible: Energías Renovables y Eficiencia Energética (ISEREE 2013)

El INAMHI con su estudio “Climas del Ecuador” del año 2006, presenta la clasificación climática del territorio continental ecuatoriano mediante el uso de la metodología de Thornthwaite que proporciona un especial énfasis en la evapotranspiración potencial⁹ (ETP), descartando clasificaciones que sólo se basan en la temperatura y precipitaciones.

Por la ubicación geográfica del territorio ecuatoriano no existen las cuatro estaciones, pero se destaca la presencia de microclimas principalmente en el “callejón interandino”

En primera instancia se identifica las regiones del país a nivel continental (se excluye la región insular).

- Región Litoral
- Región Interandina
- Región Oriental

Se identifican tres principales caracteres climáticos, los dos primeros se basan en la humedad y el tercero en la característica térmica del lugar.

- Índice hídrico: Superhúmedo, Húmedo, Subhúmedo, Seco y Árido
- Variación estacional de la humedad: Nulo, Moderado déficit hídrico en época seca, gran déficit hídrico en época seca, moderado exceso hídrico en época lluviosa, nulo o pequeño exceso hídrico.
- Régimen térmico: Cálido, Semicálido, Templado Cálido, Templado frío, Semifrío.

Las tres regiones se las subclasifica de acuerdo al Índice Hídrico dominante (Húmedo, Subhúmedo y Seco) representado por una letra mayúscula, de igual manera el Régimen Térmico acompañado con (‘), y la variación estacional de la humedad es representada con letras minúsculas. En la **Tabla 3** se presenta la clasificación climática de las tres regiones del Ecuador representados gráficamente en el **Mapa 4**. En la región costa las lluvias se registran

9 La evapotranspiración es el conjunto de pérdidas físicas del suelo en vapor de agua mediante el proceso físico de la evaporación y el proceso biológico de la transpiración de las plantas. Los factores que intervienen son varios: de índole climático tales como, (radiación, humedad del aire, viento), las plantas (cubierta vegetal) y edáficos (tipos de suelo). La ETP es la “cantidad máxima, teórica, de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación y constantemente abastecido de agua. En relación con las precipitaciones recogidas, la ETP se usa como un indicador de humedad o aridez climática. La estimación se realiza mediante la fórmula de Penman-Monteith; los valores medios anuales son mayores en ambiente seco que en húmedo”

Disponible en internet:

https://www.ign.es/espsmap/mapas_clima_bach/pdf/Clima_Mapas_08texto_corregido.pdf

de diciembre a mayo y en los meses restantes las precipitaciones son de menor intensidad o nulas. En la sierra se presentan dos períodos de intensas lluvias, sus máximas precipitaciones se presentan en abril y octubre con un período seco entre junio y septiembre. La región oriental se encuentra bajo la influencia de las perturbaciones que provienen de la cuenca amazónica provocando inestabilidad atmosférica que se manifiestan en lluvias en gran parte del año (Climas del Ecuador, INAMHI 2006).

Región Litoral		
Climas húmedos	Climas subhúmedos	Climas secos
$A r A'$	$C_2 d A'$	$D d A'$
$A r B'_3$	$C_2 r A'$	$E d A'$
$B_3 r A'$	$C_2 s A'$	
$B_3 r B'_3$	$C_2 s_2 A'$	
$B_3 s A'$	$C_2 s_2 B'_3$	
	$C_2 w A'$	

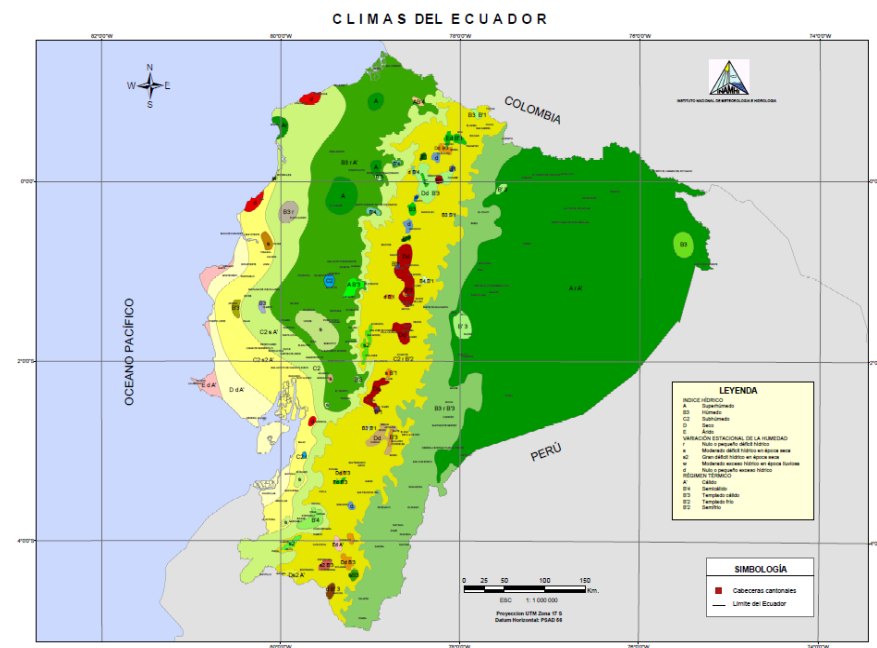
Región Interandina		
Climas húmedos	Climas subhúmedos	Climas secos
$A r A'$	$C_2 d B'_1$	$D d B'_1$
$A r B'_3$	$C_2 d B'_2$	$D d B'_2$
$A r B'_4$	$C_2 d B'_3$	$D d B'_3$
$B_3 r B'_1$	$C_2 d B'_4$	$E d A'$
$B_3 r B'_2$	$C_2 r B'_1$	$E d B'_3$
$B_3 r B'_3$	$C_2 r B'_2$	
$B_3 r B'_4$	$C_2 s B'_1$	
$B_3 s B'_4$	$C_2 s B'_3$	
	$C_2 s_2 B'_2$	
	$C_2 s_2 B'_3$	
	$C_2 w B'_2$	

Región Oriental
Climas húmedos
$A r A'$
$A r B'_3$
$A r B'_4$
$B_3 r B'_3$
$B_3 r B'_4$

- Índice hídrico**
 - A Superhúmedo
 - B₃ Húmedo
 - C₂ Subhúmedo
 - D Seco
 - E Árido
- Variación estacional de la humedad**
 - r Nulo o pequeño déficit hídrico
 - s Moderado déficit hídrico en época seca
 - s₂ Gran déficit hídrico en época seca
 - w Moderado exceso hídrico en época lluviosa
 - d Nulo o pequeño exceso hídrico
- Régimen térmico**
 - A' Cálido
 - B'₄ Semicálido
 - B'₃ Templado cálido
 - B'₂ Templado frío
 - B'₁ Semifrío

Tabla 3. Clasificación Climas del Ecuador.

Fuente: Moya, René, Climas del Ecuador, Quito, INAMHI, 2006



Mapa 4. Climas del Ecuador

Fuente: INAMHI

En la tesis de doctorado “The confort triangles: A new tool for bioclimatic design” (J. Evans, 2007) se elaboraron algunas zonas bioclimáticas para Latinoamérica como Argentina, Brasil, Chile, Ecuador, México y otros países de la región. Fue desarrollada una zonificación para el Ecuador que por su pequeña extensión territorial cuenta con un rango limitado de latitudes; sin embargo, posee un amplio rango de altitudes sobre el nivel del mar, condicionante por la cual se dividió al territorio ecuatoriano en 5 regiones indicadas en la

Tabla 4.

Tierras bajas costeras	Desde la costa hasta unos 700 metros, hay un clima ecuatorial cálido y húmedo, con bajas oscilaciones de la temperatura promedio y valores promedio altos, sin variaciones significativas en diferentes estaciones del año. La precipitación es generalmente alta con cerca de 2000 mm anuales, aunque algunas áreas en esta región tienen una sombra de lluvia que reduce la precipitación promedio a 500 mm.
Zona Intermedia	De 700 a 1500 metros, el clima es templado con temperaturas promedio agradables y menor humedad absoluta
Tierras altas ecuatoriales	La mayoría de la población vive en los valles altos, entre 1500 y 2800 metros sobre el nivel del mar, con temperaturas frescas y templadas, humedad relativa cómoda y lluvias moderadas, con una estación más seca y húmeda. Los cambios de temperatura son más altos, aunque hay muy poca variación templada en diferentes meses.
Páramo	En las zonas más altas, por encima de los 2800 m sobre el nivel del mar, las temperaturas son frías a muy frías con cambios bruscos de alta temperatura diaria, precipitaciones altas pero variables y poca vegetación sin árboles. Debido a las condiciones desfavorables, la población en esta zona es muy limitada.
Amazonía	En el lado oriental del país, en la cuenca del Amazonas, a una altura inferior a 700 metros, se encuentra otra zona ecuatorial húmeda y cálida, con precipitaciones altas y vegetación densa. Los requisitos de diseño son muy similares a los requeridos en la costa occidental.

Tabla 4. Regiones del Ecuador¹⁰

Fuente: Evans, John Martin, “The confort triangles: A new tool for bioclimatic design”, tesis de doctorado, 2007

En un estudio más reciente no publicado por el autor realizado en el marco del intercambio académico con el Instituto de Investigación Avanzada de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Central del Ecuador, se establecieron pautas de diseño para cada zona. Actualmente se encuentra vigente la zonificación climática

¹⁰ Traducido al español por la autora.

establecida en la Norma de Eficiencia Energética (febrero 2018), que forma parte de los capítulos de la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC).

1.3 Perfil Político y Económico

En el sector económico ecuatoriano, el petróleo es el principal protagonista de las energías primarias cuya exportación representa el más importante generador de divisas que ingresan al Presupuesto General del Estado¹¹.

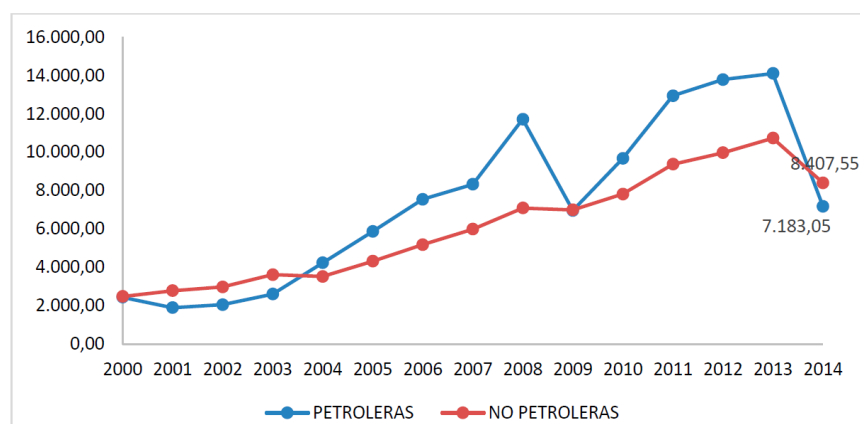


Figura 5. Exportaciones petroleras y no petroleras.

Fuente: Banco Central del Ecuador¹²

Previo a la etapa petrolera, las principales actividades económicas estaban relacionadas con el sector agropecuario. El Boom Cacaotero (1880-1920), llevó al país a convertirse en el primer productor mundial de cacao, fruto denominado localmente como “La Pepa de Oro”¹³. Años después, sobrevino el Boom Bananero (1944-1948) y en 1951 el país se convirtió en el primer exportador mundial.

11 El presupuesto General del Estado estima los recursos financieros del Ecuador, entre los ingresos más importantes se encuentran las ventas de petróleo, recaudación de impuestos, etc. Dentro de este rubro también se encuentra los gastos en el sector de la educación, salud, vivienda, agricultura, seguridad, transporte, electricidad, etc.

12 Tomado de la tesis Andrade Paula, Felipe-Albuja Christian “Dependencia del presupuesto general del estado ecuatoriano en los ingresos petroleros. Análisis y alternativas” Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Economía, Quito, Ecuador, 2016, pág.43.

13 Según los registros históricos Ecuador produce Cacao desde 1780, sus máximas exportaciones se realizaron en 1911 convirtiendo al Ecuador en uno de los principales países exportadores de cacao.
Fuente: <https://www.revistalideres.ec/lideres/cacao-ecuatoriano-historia-empezo-siglo.html>

La explotación petrolera se originó en la región Costa en el poblado de Ancón¹⁴, la primera exportación de crudo se realizó en 1928. En esta región continuó la explotación hasta 1958, cuyas exportaciones representaron el 6% del total del país. En los años posteriores se descubrieron pozos más rentables en la Región Amazónica y en la Costa.

En 1972 comenzó la exportación petrolera a gran escala, actividad que fue favorecida por la “Primera Crisis del Petróleo” en 1973. El aumento de los precios del crudo en el mercado internacional favoreció económicamente al país, bonanza denominada como “El Boom Petrolero” (1972-1982). En los años posteriores la economía dependiente del petróleo fue en descenso debido a los bajos precios en el mercado internacional, y al cese temporal de la extracción y exportación de crudo por los daños producidos en el Oleoducto Transecuatoriano por los dos terremotos ocurridos en el mes de marzo 1987.¹⁵

En el gobierno de Rafael Correa, (2007-2017), cinco de los principales productos de exportación, incluyendo el petróleo conforman el 90% del total de las exportaciones. Con respecto a las políticas económicas, Correa fortaleció el rol del Estado en la economía nacional considerando tres aristas: potenciamiento del gasto corriente, fortalecimiento de la política social y ejecución de grandes obras de infraestructura (centrales hidroeléctricas, carreteras, hospitales, obras de mitigación de desastres) proyectos que estaban pendientes por administraciones anteriores. Esta fuerte inversión ocasionó el aumento del gasto del sector público no financiero (SPNF) que pasó del 24.6% del PIB en 2007 a 41.2% en 2012 (Mosquera-Vaca 2014).

La inversión del estado generó la reducción de la pobreza, (26% al 17% en zonas urbanas y del 61% al 49% en zonas rurales) y la disminución de la tasa de desempleo (6.1% a 5% con

14 “La comunidad de Ancón fue fundada en 1911 como un campamento minero, al perforarse el Primer Pozo Petrolero del Ecuador (pozo Ancón 001, al pie de la playa, entre las actuales Parroquias de Ancón, (cantón Santa Elena) y Anconcito (Cantón Salinas). El pozo fue perforado por la compañía inglesa “The Ancon Oil Company of Ecuador Limited” que fue adquirida por la “Lobitos Oilfields Ltd” en 1917 y luego en 1919, por la Anglo Ecuadorian Oilfields LTD (AEO)”. Fuente: Cobeña, Freddy, “Ancón: 1911-2011, La Otra Historia”

15 Los terremotos acontecidos en 1987 produjeron una catástrofe en términos económicos ya que destruyó una parte del Oleoducto Transecuatoriano que obligó a la suspensión de la producción y exportación de petróleo por seis meses. El PIB descendió a una tasa del -6.5% Fuente: Naranjo Chiriboga, Marco, “Dos décadas perdidas: los ochenta y los noventa” Cuestiones Económicas Vol. 20, No 1:3,2004

un pico de 9.1% en 2009). Entre el 2006 y 2012 el gasto estatal aumentó anualmente un 7.1%, y en los hogares el porcentaje de consumo creció un promedio de 3.9%.

En el ámbito social la inyección de dinero estatal favoreció la generación de empleo en las entidades del gobierno, y en la construcción de obras de infraestructura; en el período 2004-2011 la cantidad de servidores públicos creció en un 32% llegando al 2012 a 454.000 funcionarios que conformaron el 11% de los ocupados plenos del país (Nueva ruta de consumo en Ecuador, EKOS 2012). En 2011 el consumo de los hogares representó el 62% del PIB, lo que se determinó como el “resurgimiento de la clase media”¹⁶, que representó la demanda de otros bienes y servicios como la adquisición de vivienda propia que tuvo como incentivo los préstamos hipotecarios otorgados por el BIESS, (entidad financiera pública que pertenece al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social)¹⁷. Esta institución ofrece varios tipos de créditos¹⁸ de acuerdo a las necesidades de los usuarios con intereses más bajos y mejores condiciones que las instituciones bancarias, situación que ha beneficiado a muchas familias hasta la actualidad.

Ecuador como el resto de los países de América Latina presentan un déficit habitacional que difícilmente puede ser resuelto por entidades gubernamentales, motivo por el cual las empresas inmobiliarias han implementado alternativas en el mercado de la construcción de viviendas por la demanda existente. Esta situación promueve que “la producción privada puede enfocarse solo a un segmento de la población con ingresos medio o altos relegando a

16 Nueva ruta de consumo en Ecuador, EKOS 2012

17 Los empleadores tienen la obligación de acuerdo a las leyes laborales ecuatorianas de afiliarse a su personal al Instituto Ecuatoriano de Seguridad Social, (IESS). También las personas que no están bajo relación de dependencia o autónomos tienen la opción de afiliarse. El IESS otorga a sus afiliados pensión por vejez, invalidez y montepío, auxilio de funerales, riesgos de trabajo, asistencia por enfermedad y maternidad, cobertura de salud para hijos menores de 18 años, por el pago de un porcentaje adicional sobre la materia gravada para seguro de salud de cónyuge. El BIESS es una entidad financiera pública perteneciente al IESS, que otorga préstamos hipotecarios y quirografarios para sus afiliados y jubilados.

18 Préstamos hipotecarios BIESS se destinan para la adquisición de bienes inmuebles o situaciones: 1) Vivienda de interés público, 2) Vivienda terminada, 3) Construcción de vivienda, 4) Remodelación y ampliación de vivienda, 5) Adquisición de terreno, 6) Adquisición de terreno y construcción, 7) Adquisición de oficinas, locales comerciales y consultorios, 8) Sustitución de Hipoteca.

un sector importante de la población con menor poder adquisitivo”.¹⁹ Cabe mencionar que los organismos estatales en los últimos años se han enfocado mayormente en la construcción de planes habitacionales de vivienda social a raíz del terremoto del 16 de abril del 2016 que provocó la destrucción de algunas ciudades y poblados principalmente de las provincias costeras de Manabí y Esmeraldas.

1.4 Políticas Públicas sobre Eficiencia Energética -Marco Jurídico Ecuatoriano

La Constitución del Ecuador publicada en el Registro Oficial 449 el 20 de octubre de 2008²⁰, en su artículo 413 indica “El Estado promoverá la eficiencia energética, el desarrollo y uso de prácticas y tecnologías ambientalmente limpias y sanas, así como de energías renovables, diversificadas, de bajo impacto y que no pongan en riesgo la soberanía alimentaria, el equilibrio ecológico de los ecosistemas ni el derecho al agua”. Esto se refleja en el objetivo 7 del Plan Nacional para el Buen Vivir 2013-2017 (PNBV), en las políticas y lineamientos estratégicos 7.7, 7.8 y 7.9, que señalan la necesidad de “Implementar tecnologías, infraestructuras y esquemas tarifarios para incentivar la eficiencia energética en los diferentes sectores de la economía”, así como “Promover patrones de consumo conscientes, sostenibles y eficientes con criterios de suficiencia dentro de los límites del planeta”. En el nuevo (PNBV) 2017-2021 tiene nuevos objetivos, el número 5 “Impulsar la productividad y competitividad para el crecimiento económico sustentable de manera redistributiva y solidaria” en su política no. 4 “Fomentar la producción nacional con responsabilidad social y ambiental, promoviendo el manejo eficiente de los recursos naturales y el uso de tecnologías duraderas y ambientalmente limpias, para garantizar el abastecimiento de bienes y servicios de calidad”.

19 “Urbanización y Políticas de vivienda en China y América Latina y el Caribe” Perspectivas y estudios de caso” Capítulo IX Vivienda y bienestar: Diagnóstico y políticas en América Latina

20 En el Gobierno de Rafael Correa se realizó una consulta popular para redactar una nueva constitución, mediante una Asamblea Constituyente. La nueva Constitución aprobada entró en vigencia en octubre del 2018, la cual he tenido modificaciones en el 2011, 2014, y 2018.

Ley de Eficiencia Energética

Emitida en marzo del 2019 por la Asamblea Nacional de la República del Ecuador en su artículo 1, Objeto y ámbito, “ La presente Ley tiene por objeto establecer el marco legal y régimen de funcionamiento del Sistema Nacional de Eficiencia Energética (SNEE), y promover el uso eficiente, racional y sostenible de la energía en todas sus formas, a fin de incrementar la seguridad energética del país; al ser más eficiente, aumentar la productividad energética, fomentar la competitividad de la economía nacional, construir una cultura de sustentabilidad ambiental y eficiencia energética, aportar a la mitigación del cambio climático y garantizar los derechos de las personas a vivir en un ambiente sano y a tomar decisiones informadas”²¹. En el artículo 5 se establece el (SNEE) conformado por instituciones, políticas, planes y programas de inversión para el cumplimiento de objetivos y metas del Plan de Eficiencia Energética (PLANEE).

El Ministerio de Energía y Recursos Naturales no renovables (MERNNR) estableció el Comité Nacional de Eficiencia Energética (CNEE), conformado por los ministros de Eficiencia Energética, de Industria y Productividad, el de Transporte, de Desarrollo Urbano y Vivienda, de Ambiente, de Economía y Finanzas, Asociación de Municipalidades del Ecuador (AME), entre otros miembros.

Desde el territorio los municipios, actores educativos y ambientales promoverán el uso responsable y eficiente de la energía. En el artículo 9 se presentan las responsabilidades de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD) para ejecutar el plan de acción del (PLANEE) en los sectores de tránsito - transporte, y en normas de construcción eficiente. Los GAD en coordinación con el (CNEE), deberán de emitir, socializar, y poner en operación las normas necesarias para que las políticas y metas nacionales se cumplan. El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) encargado de emitir las NORMAS NEC en conjunto con el Servicio Ecuatoriano de Normalización y los municipios elaborarán las normativas dirigidas a las edificaciones de uso industrial, comercial, recreativo, residencial. La norma es de cumplimiento obligatorio para los diseñadores, constructores, propietarios y usuarios de las edificaciones.

21 Ley Orgánica de Eficiencia Energética. Marzo 2019.

Programa para la Renovación de Equipos de Consumo Energético Ineficiente

Según el estudio del consumo de energía final de INECEL²² 1993 indica que en el sector residencial la refrigeración de alimentos registró el mayor consumo en la región costa 50% y en la sierra 60%. Con este antecedente se implementó en la presidencia de Rafael Correa el programa de renovación de refrigeradoras de consumo ineficiente (mayor de 10 años de uso) por nuevas tecnologías de eficiencia (rango A), proyecto ejecutado en el período 2012-2016. Al 31 de diciembre de 2016, a través de las Empresas Eléctricas de Distribución se sustituyeron 95.652 refrigeradoras a nivel nacional, lo que generó una reducción aproximada de 38.200 MWh/año de electricidad y 5,53 MW de potencia. (PLANEE 2016-2035).

Proyecto de “Sustitución de focos ahorradores por Incandescentes”

Tomando como sustento el estudio de INECEL 1993, en la sierra y en la costa la iluminación consume el 20% de la energía total respectivamente y en horas pico el consumo se incrementa en 43% en la costa y 55% en la sierra. Se implementó el proyecto de sustituir las luminarias incandescentes por focos ahorradores, iniciativa pionera de eficiencia energética ejecutada por el Gobierno de Correa con el fin disminuir la demanda de potencia y energía del Sistema Eléctrico Nacional en horas con alto consumo eléctrico. Este proyecto se inició en el 2008 hasta el 2014 con la sustitución de 6 millones de focos ahorradores (Primera Fase), destinado al sector residencial con consumos menores a 150 kWh/mes. En el 2010 se continuó con la sustitución de 10 millones de focos ahorradores (Segunda Fase) destinada a otros sectores como salud, educación, servicio social y usuarios residenciales con consumos de hasta 200 kWh/mes. Esta medida logró una reducción aproximada de 287.000MWh/año y 263 MW de potencia (PLANEE 2016-2035).

Proyecto Piloto de Cocinas de Inducción

Según el Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, el sector residencial consume el 90% de la oferta total de GLP principalmente en el uso de tres equipos: cocina, calentadores

22 Instituto Ecuatoriano de Electrificación, entidad pública liquidada en 1999.

instantáneos de agua y la secadora de ropa. Una familia mensualmente en la zona urbana consume 1.24 cilindros y en la zona rural 1.22 cilindros (INEC 2011). De la demanda total de GLP, el país sólo produce el 20% mientras que el 80% restante se lo consigue mediante la importación, **Tabla 5**.

Año	Generación GLP nacional (BlS) ²³	Importación GLP por Petroecuador (BlS) ²⁴	Despachos a las comercializadoras privadas (BlS) ²⁵
2016	2872.124	10086.449	12288.416
2017	2921.062	10436.429	12818.908

Tabla 5. GLP, generación nacional, importación y despacho a comercializadoras privadas
Elaboración propia. Fuente: Petroecuador-Informe Estadístico enero-diciembre 2017

El GLP que se comercializa en el país tiene un subsidio, el precio final del tanque de 15 Kg es de 1.60 USD según el precio oficial vigente por el Ministerio de Hidrocarburos al cual se le asigna un valor por comercialización, el precio final es 3.00 USD. El bajo valor económico del tanque ha provocado su contrabando hacia países vecinos; en Colombia el precio oficial del tanque de 15 kg (33 libras) es de 16.98 USD²⁶ y en Perú se comercializa el kilo de GLP a 2.1240 soles²⁷, con un precio aproximado de 9.72 USD²⁸ por unidad de 15 Kg. En la **Tabla 6** se presenta el valor destinado a la importación de GLP, en el año 2017 el gobierno nacional destinó más de 470 millones de dólares para abastecer la demanda del mercado local.

Año	Importación GLP por Petroecuador (BlS)	Precio US \$/Bl	Valor US \$
2016	10086.449	28.84	290.932.456,89
2017	10436.429	45.09	470.616.392,2

Tabla 6. Valor económico importación GLP (2016-2017)
Elaboración propia. Fuente: Petroecuador-Informe Estadístico enero-diciembre 2017

23 Petroecuador-Informe Estadístico enero-diciembre 2017. Disponible en internet: <https://www.eppetroecuador.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/02/INFORME-ESTADISTICO-DICIEMBRE-2017-V1-12-01-2018.pdf>

24 Ibid., p.44

25 Ibid., p.34

26 Disponible en internet < <http://ccenergia.org.co/nw/energeticos.pdf> > [Consulta: 25 de agosto 2018]

27 Disponible en internet

<http://opecu.org.pe/wpcontent/uploads/2018/08/peperu_var_prec_11AGO18_17AGO18.pdf> [Consulta: 25 de agosto 2018]

28 Cotización 1 dólar estadounidense/sol peruano= 3.27 soles

El alto costo que el gobierno invierte en la importación del GLP sumado al subsidio vigente y el contrabando da como resultado una ecuación en desequilibrio que genera pérdidas económicas al estado ecuatoriano.

En el gobierno de Rafael Correa se construyeron varios proyectos hidroeléctricos para disminuir la generación de electricidad mediante centrales térmicas y aumentar la cantidad de electricidad por fuentes renovables. Esta política de estado originó la implementación de un proyecto piloto en el 2010 con la finalidad de determinar cuál sería el impacto social, técnico y económico de la sustitución parcial del GLP por energía eléctrica para la cocción de alimentos mediante la utilización de cocinas de inducción. Los usuarios que se acogieron a este programa pagaron una tarifa mensual por la cocina que se incorpora en la planilla de electricidad²⁹. Los beneficiarios obtuvieron un rango de energía cuyo valor fue asumido por el gobierno; 80 kWh en cocción de alimentos y 20 kWh para calentamiento de agua. La gratuidad de este servicio se mantuvo hasta el año 2018, después de esa fecha el valor correspondiente a 80 kWh tendrá un valor de 3.20 dólares. Para la comercialización de las cocinas, se coordina con el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), El Plan “Casa para todos”, Ecuador Estratégico y demás instituciones públicas y privadas para la creación de alianzas estratégicas que incorporen el plan de cocinas de inducción en los programas de viviendas sociales que ejecuta el Gobierno Nacional.³⁰

Se contabilizó un total de 579.637 familias hasta diciembre de 2016³¹ que utilizan las cocinas de inducción y los beneficios tarifarios; sin embargo, la cantidad de usuarios existentes no cumplió con los objetivos iniciales del programa, por tal motivo el 5 de marzo del 2018 se efectuó un relanzamiento del plan con una campaña de comunicación más agresiva que resalte los beneficios de la utilización de cocinas de inducción.³² Actualmente

29 La cocina de inducción se puede pagar en 12, 24 o 36 meses.

Fuente: Disponible en internet < <http://www.ecuadorcambia.com/preguntas-frecuentes/>>

30 Disponible en internet < <https://www.cnelep.gob.ec/2017/11/acciones-encaminan-la-excelencia-corporativa/>>

31 PLANEE 2016-2035 p.27.

32 Un total de 750.000 hogares apostaron por esta tecnología. La meta del gobierno fue el introducir 3 millones de cocinas hasta el 2023, objetivo que debió ser logrado en el 2018, pero por la poca demanda se tuvo que extender el plazo. Representantes del Ministerio de Electricidad indicaron que uno de los problemas

el panorama es incierto para las cocinas de inducción, todavía existen miles de unidades y ollas almacenadas y la tarifa eléctrica subvencionada por el estado por el uso de las cocinas finalizó el 31 de diciembre del 2021.³³

Tarifa de la Dignidad

El Ministerio de Electricidad y Energías Renovables mediante Decreto Ejecutivo No. 451-A SRO No. 125 (12 de julio 2007) dispuso la Tarifa de la Dignidad (aún vigente). Es un subsidio para los consumidores del Sector Residencial cuyos consumos mensuales sean inferiores a 110 kWh en la Región Sierra y 130 kWh en la Región Costa. Esta línea base de consumo está relacionada con otros beneficios correspondientes a la tercera edad y discapacidad, es decir los usuarios que deseen recibir los descuentos tendrán que consumir lo estipulado en la Tarifa de la Dignidad. Para ayudar con la financiación de este subsidio, los usuarios cuyo consumo esté por encima de la línea base se les asigna un cobro adicional que corresponde al 10% del consumo eléctrico incluyendo su valor de comercialización.

Norma NEC- Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales

El ente que tiene la responsabilidad de la emisión de las normativas para el sector de hábitat y vivienda es el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI). La Norma Ecuatoriana de la Construcción cuenta con varios capítulos y guías que se dividen en cuatro enunciados: 1) Seguridad Estructural de las Edificaciones³⁴, 2) Guías Prácticas de Diseño de Conformidad con la NEC-15, 3) Habitabilidad y Salud y Servicios Básicos.

para la implementación del programa fue la debilidad del sistema eléctrico, ya que es necesario que las viviendas cuenten con medidores de 220 voltios, para lo cual se colocaron aproximadamente 3 millones de unidades hasta finales del 2017. Las personas que utilicen este sistema se les otorga un incentivo tarifario de no pagar por el consumo de hasta 80 kW, y 20 kW del consumo destinado al calentamiento de agua (duchas o calefones eléctricos). Disponible en internet < <https://www.elcomercio.com/actualidad/programa-cocinas-induccion-relanzamiento-ecuador.html>>

33 Disponible en internet < <https://www.pichinchacomunicaciones.com.ec/subvencion-por-uso-de-cocinas-de-induccion-termina-el-31-de-diciembre-de-este-ano/>>

34 El Ecuador se ubica en una zona de alta actividad sísmica, la Norma NEC cuenta con un capítulo específico para la Seguridad Estructural en las Edificaciones que se enfoca en el peligro sísmico, el diseño sismo resistente, en la Evaluación, Rehabilitación de Estructuras, Geotécnica y Cimentaciones y los parámetros de diseño y construcción para viviendas de hasta dos pisos hasta 5m. Se incluyen normas de acuerdo a los

El MIDUVI mediante acuerdo Ministerial no. 004-18 el 5 de febrero del 2018 expidió tres nuevos capítulos entre ellos, NEC-HS-EE: Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales³⁵ en la cual se definen “Los principios básicos, criterios funcionales y características constructivas en las edificaciones para el diseño y ejecución de las construcciones, basado en la optimización del consumo energético y el confort térmico de las edificaciones”. La obligatoriedad de esta norma comenzó un año después de su emisión específicamente desde el mes de febrero del 2019.

Las Normas NEC son obligatorias y según el Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización (COOTAD) en su artículo 84 establece las funciones de los Gobiernos Autónomos Descentralizados (GAD), como la de “Regular y controlar las construcciones en la circunscripción del Distrito Metropolitano, con especial atención a las normas de control y prevención de riesgos de desastres”. En resumen, los Municipios tendrán la responsabilidad del cumplimiento de las Normas NEC dentro de su jurisdicción con la implementación de ordenanzas municipales, seguimiento, revisión de acuerdo a los procesos internos de cada GAD.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)³⁶ en su capítulo de “Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales (EE), ha clasificado el territorio nacional en seis zonas climáticas:

sistemas constructivos más utilizados en el ámbito local como, las Estructuras de Hormigón Armado, Estructuras de Acero, Mampostería Estructural, Estructuras de Madera y Estructuras de Guadúa. Disponible en internet: <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/documentos-normativos-nec-norma-ecuatoriana-de-la-construccion/>

35 La normativa fue elaborada sobre la base del anteproyecto realizado por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), mediante compromiso establecido en el Convenio de Cooperación entre MIDUVI - MEER - MINTEL, suscrito con fecha 13 de febrero del 2015.

36 El Código Orgánico de Organización Territorial (COOTAD), establece la organización político-administrativa del Estado ecuatoriano y es la normativa a cumplir por los gobiernos autónomos descentralizados. Un extracto del Art 140, indica lo siguiente “Los gobiernos autónomos descentralizados municipales adoptarán obligatoriamente normas técnicas para la prevención y gestión de riesgos en sus territorios con el propósito de proteger las personas, colectividades y la naturaleza, en sus procesos de ordenamiento territorial. Para el caso de riesgos sísmicos los Municipios expedirán ordenanzas que reglamenten la aplicación de normas de construcción y prevención”

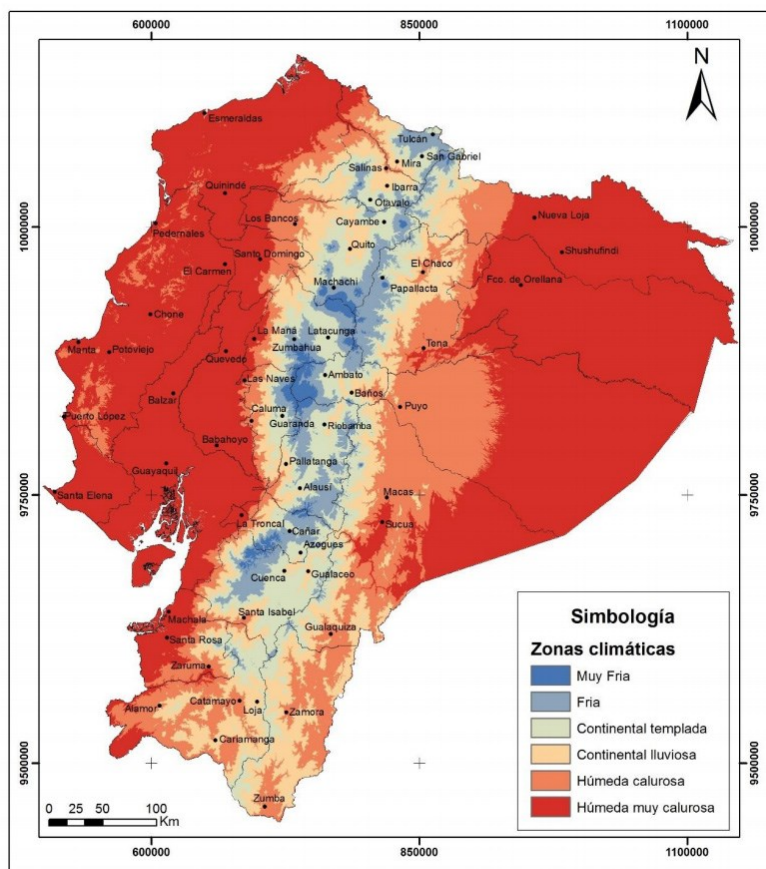
El Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI) es el ente rector al que le corresponde formular y emitir “las políticas públicas de hábitat, vivienda, gestión del suelo”. La normativa emitida para vivienda es la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC), de cumplimiento obligatorio, por ser mencionadas en el COOTAD. Las normas NEC se clasifican en varios capítulos, uno de ellos es el código NEC-HS-EE, “Eficiencia

ZONA CLIMÁTICA (Ecuador)	ZONA CLIMÁTICA (ASHRAE 90.1)	NOMBRE	CRITERIO TÉRMICO
1	1A	HÚMEDA MUY CALUROSA	5000 < CDD10°C
2	2A	HÚMEDA CALUROSA	3500 < CDD10°C ≤ 5000
3	3C	CONTINENTAL LLUVIOSA	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000
4	4C	CONTINENTAL TEMPLADO	2000 < HDD18°C ≤ 3000
5	5C	FRÍA	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000 2000 < HDD18°C ≤ 3000 3000 m < Altura (m) ≤ 5000 m
6	6B	MUY FRÍA	CDD10°C ≤ 2500 y HDD18°C ≤ 2000 2000 < HDD18°C ≤ 3000 5000 m < Altura (m)

Tabla 7. Zonificación Climática

Fuente: Norma de Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales

En el **(Mapa 5)** se encuentran coloreadas las diferentes zonas climáticas con su respectiva clasificación.



Mapa 5. Zonas Climáticas del Ecuador

Fuente: Norma de Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales

Energética en Edificaciones Residenciales”. Esta normativa se expidió mediante Acuerdo Ministerial 004-18 de fecha 05 de febrero de 2018, y se encuentran publicadas en el registro oficial nro. 358 –edición especial. Un año después de la emisión de la norma, el 5 de febrero del 2019, el cumplimiento es obligatorio.

Los municipios son los responsables del cumplimiento de las normas NEC aterrizándolas mediante ordenanzas en sus respectivos territorios.

La norma NEC fue elaborada con la metodología de ASHRAE en el cual clasifican los espacios de la vivienda en Habitable y No Habitable. Los espacios habitables tienen una subclasificación, Climatizado y No Climatizado, en el cual se le otorgan diferentes valores de transmitancia térmica (U). Ver **Tabla 8**.

Los valores de transmitancia para los espacios No Climatizados son menos estrictos en comparación con los Espacios Climatizados. La norma incorpora valores mínimos de aislamiento térmico para techos, paredes, pisos y para los vidrios se determinan coeficientes de SHGC para disminuir las ganancias solares en los espacios interiores.

Elementos opacos	Habitable				No habitable	
	Climatizado		No climatizado		Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento
	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento	Montaje máximo	Valor Min. R de aislamiento		
<i>Techos</i>	U-0.273	R-3.5	U-3.5	R-0.3	U-4.7	R-0.21
<i>Paredes, sobre nivel del terreno</i>	U-0.857	R-1.0	U-4.61	R-0.2	U-5.46	NA
<i>Paredes, bajo nivel de terreno</i>	C-6.473	NA	C-6.473	NA	C-6.473	NA
<i>Pisos</i>	U-1.825	R-1.5	U-3.4	R-0.3	U-3.4	NA
<i>Puertas opacas</i>	U-3.2	NA	U-3.2	NA	U-3.2	NA
<i>Ventanas</i>	<i>Transmitancia máxima</i>	<i>Montaje máximo SHGC</i>	<i>Transmitancia máxima</i>	<i>Montaje máximo SHGC</i>	<i>Transmitancia máxima</i>	<i>Montaje máximo SHGC</i>
<i>Área translúcida vertical $\geq 45^\circ$</i>	U-6.81	SHGC-0.25	U-3.84	SHGC-0.77	U-6.81	NA
<i>Área translúcida horizontal $< 45^\circ$</i>	U-11.24	SHGC-0.19	U-11.24	SHGC-0.19	U-11.24	NA

Tabla 8. Requisitos de envolvente para la zona climática 1

Fuente: Norma de Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales

También se otorga requerimientos para los valores de reflectancia solar para los materiales de cubiertas, valores de aislamiento de los muros sobre el nivel de terreno y bajo el nivel de terreno, aislamiento de pisos en contacto con el nivel del terreno y la transmitancia de las puertas opacas. Con respecto a los elementos traslúcidos se dan recomendaciones con los valores de transmitancia térmica, las áreas máximas del vidrio en las cuales deben ser menor del 40% del área neta del muro y los coeficientes de ganancia de calor solar (SHGC)³⁷

37 El coeficiente de ganancias de calor solar (SHGC en inglés: Solar Heat Gain Coefficient), representa las ganancias solares a través de una ventana o unidad de acristalamiento, divididas por la radiación solar que incide sobre ella. Mientras más bajo sea el SHGC es más efectivo el acristalamiento para bloquear el calor. Por ejemplo, los coeficientes de 0.40 y 0.60 indica que el cristal permite el paso del 40% y el 60% del calor. Fuente: Disponible en internet: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/parametros-del-acristalamiento>

Normas INEN

El Servicio Ecuatoriano de Normalización tiene la competencia de fortalecer “los sistemas de calidad mediante procesos de normalización, reglamentación técnica, evaluación de la conformidad y metrología, para contribuir a la competitividad, confianza y satisfacción de la sociedad ecuatoriana”

Las normas INEN cuentan con normas de uso voluntario sobre Eficiencia Energética destinadas a las edificaciones que se presentan a continuación:

- NTE INEN 2506 (2009) “Eficiencia Energética en Edificaciones. Requisitos”
- NTE INEN 2507 “Rendimiento térmico de colectores solares en sistemas de calentamiento de agua para uso sanitario. Requisitos”
- NTE INEN 2567 “Eficiencia Energética en cocinas de inducción de uso doméstico. Requisitos”
- NTE INEN 2555 “Seguridad en cocinas de inducción”
- NTE INEN “Asoleamiento y sus aplicaciones para el diseño climatológico de la vivienda en el Ecuador, 1978. Arq. Ing. Sjoerd Nienhuys & Arq. Guillermo Lara, Instituto Ecuatoriano de Normalización (INEN), Quito.

INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables)

Otra entidad que fue importante para el mejoramiento del uso de la energía fue el INER (Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables) ³⁸ el cual se dedicó a la generación de conocimiento científico tecnológico y el fortalecer las capacidades locales en el ámbito de la eficiencia energética y las energías renovables. Contribuyeron con información para la toma de decisiones en la diversificación de la matriz energética para mitigar los efectos del cambio climático

38 El INER manejó dos ramas en su línea de investigación: Energías Renovables con proyectos investigativos sobre energía solar, eólica, biomasa y geotermia y Eficiencia Energética en transporte, alumbrado público, edificaciones e industrias.

Disponible en internet < https://www.iner.gob.ec/wp-content/uploads/2015/01/DossierINER_ESP.pdf>

Fusión de los Ministerios

El presidente Lenin Moreno con la finalidad de reducir el déficit fiscal, implementó la fusión y eliminación de varios Ministerios y Secretarías. Estas acciones incluyeron a las entidades estatales responsables en temas de energía, y eficiencia energética.³⁹

1.5 Matriz Energética: Concepto

La matriz energética es una representación cuantitativa de las fuentes energéticas de un determinado país o territorio. Estos recursos se dividen en energía primaria y secundaria.

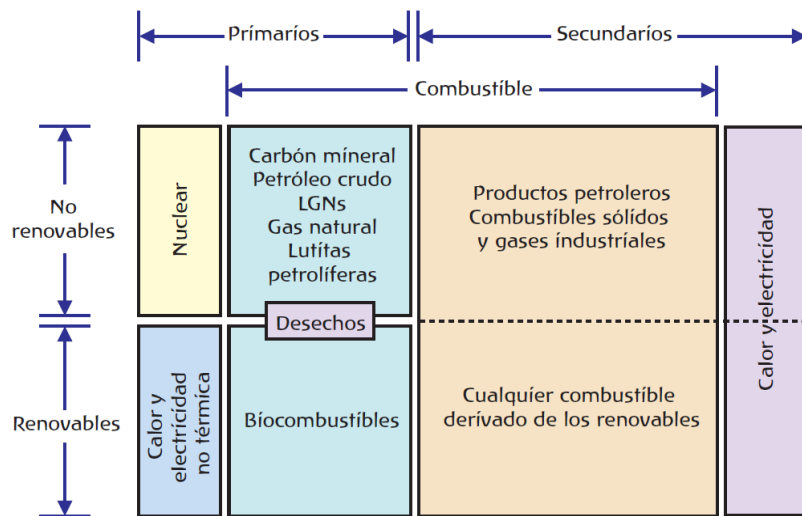


Figura 6. Recursos energéticos primarios y secundarios.
Fuente: Agencia Internacional de Energía (AIE 2007)

La energía primaria se encuentra en los recursos naturales disponibles y que aún no ha sido procesada bajo ningún mecanismo de conversión. La energía en estado natural comprende la energía solar, hidráulica, geotérmica, eólica, biomasa y los recursos fósiles (petróleo, carbón, gas natural). Otro recurso energético natural que se obtiene mediante la

39 Mediante el decreto no. 399 expedido el 15 de mayo de 2018 en su artículo 1 se emite lo siguiente: "Fusiónese por absorción al Ministerio de Hidrocarburos, las siguientes instituciones: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, Ministerio de Minería y la Secretaría de Hidrocarburos.

En el artículo 2 se indica que se modifica el Ministerio de Hidrocarburos a "Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables".

En el artículo 4 indica "Fusiónese por absorción el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables al Instituto Nacional de Investigación Geológico Minero y Metalúrgico, y una vez concluido el proceso de fusión por absorción, modifíquese su denominación a "Instituto de Investigación Geológico y Energético", el mismo que será adscrito al Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables".

recolección es la leña, la cual puede ser utilizada directamente ya que no necesita ningún proceso de transformación.

La energía secundaria es el resultado o conversión de la energía primaria en los centros de transformación por ejemplo la energía hidráulica en electricidad, el petróleo en sus diferentes derivados como la gasolina, fuel oil, gas licuado (GLP), entre otros.

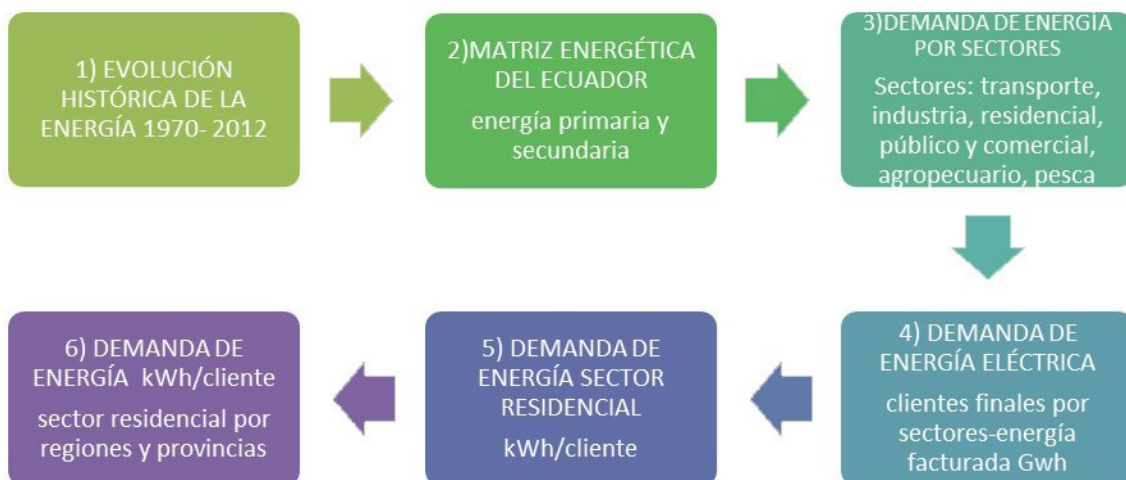
El consumo total de energía se suele expresar como energía primaria, pues se refiere al total de fuentes básicas de energía que se utiliza para generar los servicios energéticos.

La generación de energía se utilizará en los siguientes sectores de consumo⁴⁰:

- Sector residencial: El consumo final de este sector es el correspondiente a los hogares urbanos y rurales del país.
- Sector comercial, servicios y administración pública: Incluye el consumo de todas las actividades comerciales y de servicio de carácter privado, los consumos energéticos del gobierno a todo nivel (nacional, provincial, municipal), instituciones y empresas de servicio público como educación, salud, etc.
- Sector transporte: Incluye los consumos de energía de todos los servicios de transporte dentro del territorio nacional, sean públicos o privados, para los distintos medios y modos de transporte de pasajeros y carga (carretera, ferrocarril, aéreo y fluvial-marítimo).
- Sector agricultura, pesca y minería: Comprende los consumos de combustibles relacionados con toda la actividad agropecuaria, silvicultura y la pesquería. Incluye, además, todos los consumos de energía de las actividades extractivas e industriales vinculadas a la minería.
- Sector industrial: Comprende los consumos energéticos de toda la actividad industrial, ya sea extractiva o manufacturera (pequeña, mediana y gran industria), y para todos los usos, excepto el transporte de mercaderías, que queda incluido en el sector transporte.
- Construcción y otros: Incluye el consumo energético de las actividades de la construcción y eventualmente otros sectores menores no incluidos en los anteriores.

40 Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Balance Energético Nacional 2013, año base 2012, Series históricas 1995-2012.

Esquema de análisis de la situación energética del Ecuador



Esquema 1. Proceso de análisis del sector energético del Ecuador.

Elaboración propia

En el **Esquema 1**, se presentan las variables analizadas en el sector energético del Ecuador cuyo desarrollo se indica a continuación:

1. Evolución histórica de la energía desde 1970-2012, la oferta de energía por fuentes, el consumo de energía por sectores y el consumo de energía por fuentes.
2. El presente análisis se lo ha realizado a nivel macro, realizando un repaso de la evolución histórica de la energía en el Ecuador, su matriz energética y las principales fuentes de energía primaria y secundaria.
3. Se analizó la demanda de energía por sectores que incluye los sectores de transporte, industria, residencial, público y comercial, agropecuario, pesca y minería con la finalidad de determinar al sector con mayor consumo de energía.
4. Posteriormente el análisis se concentra en una sola fuente de energía, la electricidad, con el estudio del número de clientes por sectores y la cantidad de energía facturada respectivamente.
5. El siguiente proceso es el estudio de la demanda de energía del sector residencial para determinar el valor kWh/ cliente, realizando un análisis histórico.

6. El último análisis se enfoca en determinar la región y la provincia que concentra el mayor consumo de energía mediante la revisión en el sector residencial, de la cantidad de clientes y sus consumos kWh/cliente.

A continuación, el desarrollo de los temas antes mencionados

1.6 Evolución histórica de la energía en el Ecuador (1970-2012)

En el sector energético ecuatoriano, el petróleo predomina en la matriz de energía primaria mientras que la producción de energía secundaria que comprende los derivados del petróleo es limitada y su demanda en constante aumento en el mercado local obliga a las entidades gubernamentales a la importación de estos productos de países vecinos, destinando un importante porcentaje del presupuesto nacional para la compra de estos insumos. (PME 2007-2016). La **Figura 7** presenta la producción y oferta de la energía primaria desde 1970 hasta el 2012; el petróleo⁴¹ es el principal rubro para el abastecimiento de la demanda interna y como generación de recursos fiscales, con los excedentes de su producción destinados a la exportación. Las energías renovables provenientes de la biomasa (leña y bagazo⁴²) y la hidráulica tienen una participación mínima en esta matriz. La producción de petróleo comenzó a disminuir a partir del año 2017 por el agotamiento de los principales pozos Shushufindi-Aguarico y Libertad-Atacapi (Balance Energético Nacional base 2010)⁴³. Otro acontecimiento importante que influyó en la producción fue el terremoto de 1987 con la rotura del Sistema de Oleoducto de Crudos pesado que desencadenó en la disminución de la actividad extractiva.

41 El barril equivalente de petróleo (BEP) es una unidad de energía equivalente a la energía liberada durante la quema de un barril aproximadamente (42 galones estadounidenses o 158.9873 litros) de petróleo crudo. El Servicio de Impuestos Internos estadounidense lo define equivalente a $5,8 \times 10^6$ BTU. El valor es necesariamente una aproximación, pues las diferentes calidades de petróleo tienen poderes caloríficos ligeramente distintos. Fuente: https://es.wikipedia.org/wiki/Barril_equivalente_de_petr%C3%B3leo

42 Sobrante de la caña de la caña de azúcar.

43 Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos

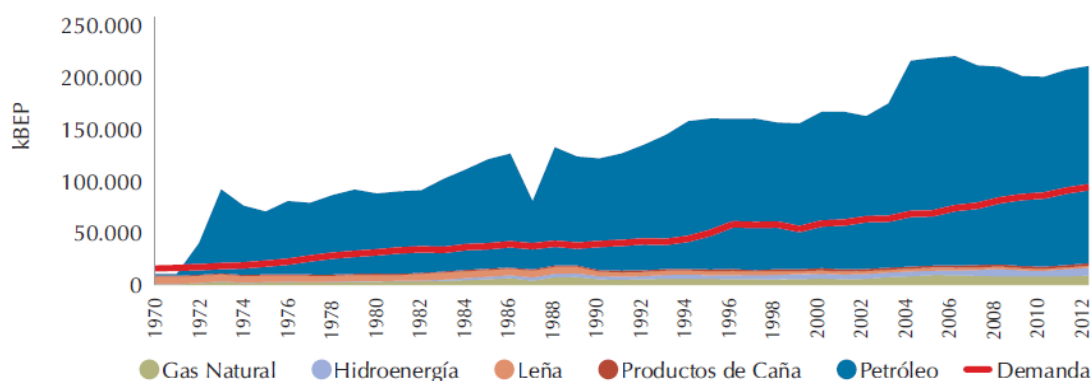


Figura 7. Evolución de la oferta de energía por fuentes 1970-2012

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Balance Energético Nacional 2013 base 2012

En los siguientes gráficos se presentarán los datos a partir de 1970 al 2012 sobre la evolución de la oferta de la energía, los sectores que presentan un mayor consumo y cómo se configura la oferta de energía por fuente. En la **Figura 8** se observa un aumento gradual del consumo de energía en el período de análisis, con la excepción del rubro consumo propio⁴⁴. El transporte es el sector que presenta el mayor consumo, situación influenciada por los subsidios a los derivados del petróleo⁴⁵. En segunda ubicación se encuentra el sector residencial, que en el transcurso de esta tesis se detallará que rubros representan el consumo final de la energía. En tercera posición se presenta el sector industrial, seguido por el de la construcción. El sector comercial y las actividades productivas como la agricultura, pesca y ganadería son los procesos que consumen menor energía.

44 La energía primaria se modifica en secundaria en los centros de transformación mediante procesos de industrialización o conversión energética por medio de procesos físicos y/o químicos. El consumo propio es la energía que consume el sector energético en su transformación, en la etapa de producción que comprende los procesos de transformación, transporte, distribución y almacenamiento.

45 Los principales productos derivados del petróleo son los siguientes:
 Gas de refinería (GR): Utilizado en las refinerías, el cual es quemado en la antorcha. Gas licuado de petróleo (GLP): Mezcla de gas propano y butano, se utiliza principalmente en actividades domésticas en el sector residencial. También es utilizado en el sector de transporte, comercial e industrial. Gasolina motor (GM): Comprende las gasolinas extra y súper utilizadas en el parque automotor. Kerosene y jet fuel (KJ): Combustibles más livianos que el diésel, el jet se utiliza en aeronaves propulsados por turbinas. Diesel oil (DO): Destilados medios, se los utiliza en los motores de ciclo diésel, en la industria y en la generación termoeléctrica. Fuel oil (FO): Es un hidrocarburo pesado, es utilizado en algunos usos industriales, en la generación eléctrica en turbinas de vapor y de motores de media velocidad. El Fuel oil se clasifica en 6 clases. El número 2, se utiliza en motores diésel de vehículos ligeros, camiones de gran tonelaje y maquinarias. No energéticos (NE): Se generan mediante el proceso de los residuos de los combustibles pesados, tales como los asfaltos, el azufre, y otros. Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Balance Energético Nacional 2013 base 2012, pág. 21

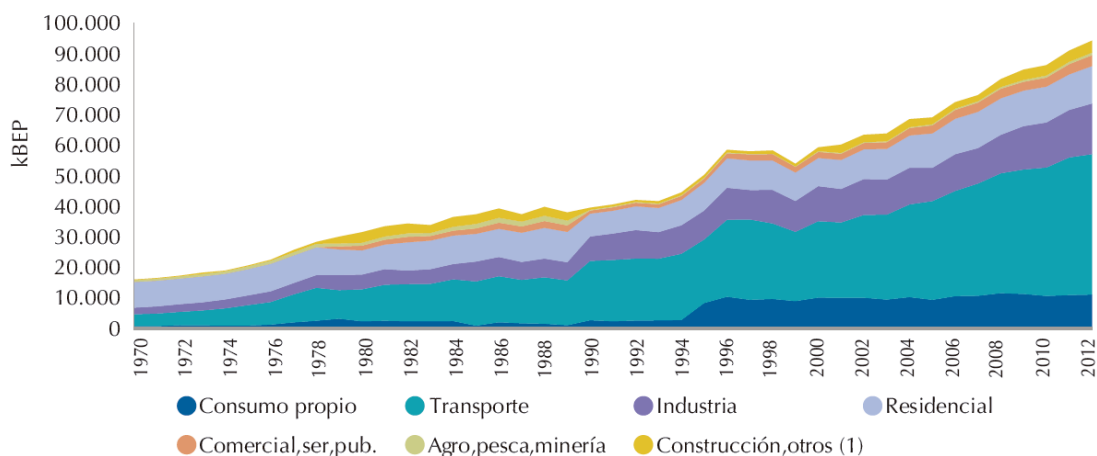


Figura 8. Evolución del consumo de energía por sectores 1970-2012

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Balance Energético Nacional 2013 base 2012

En la **Figura 9** expone el consumo por fuentes de energía primaria y secundaria, predominando el uso de los derivados del petróleo como la gasolina-nafta, el diésel oil y el fuel oil utilizados en el sector transporte acorde con la **Figura 8** que presenta a este sector como el mayor consumidor de recursos energéticos. Con un menor consumo se presenta la leña, el gas licuado GLP y la electricidad.

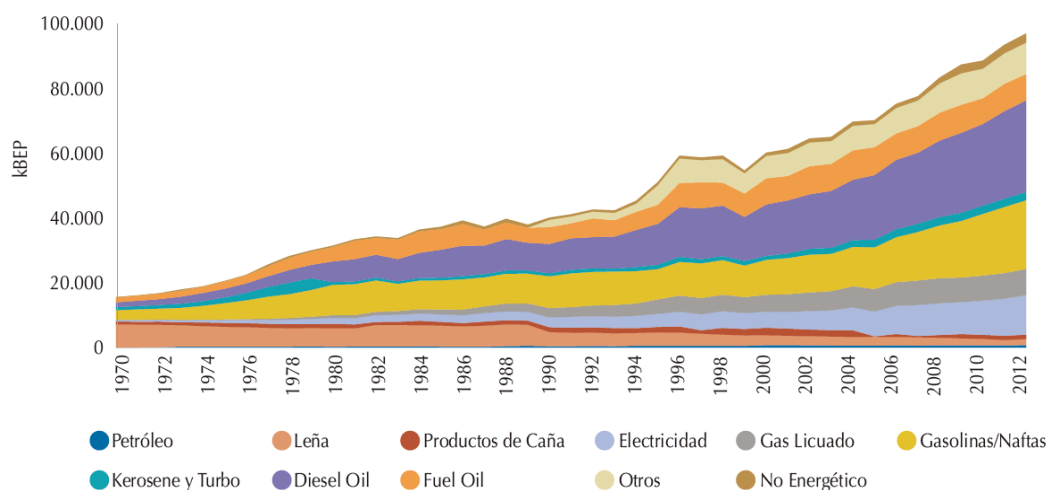


Figura 9. Evolución del consumo de energía por fuentes 1970-2012

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, Balance Energético Nacional 2013, base 2016

1.7 Matriz energética del Ecuador

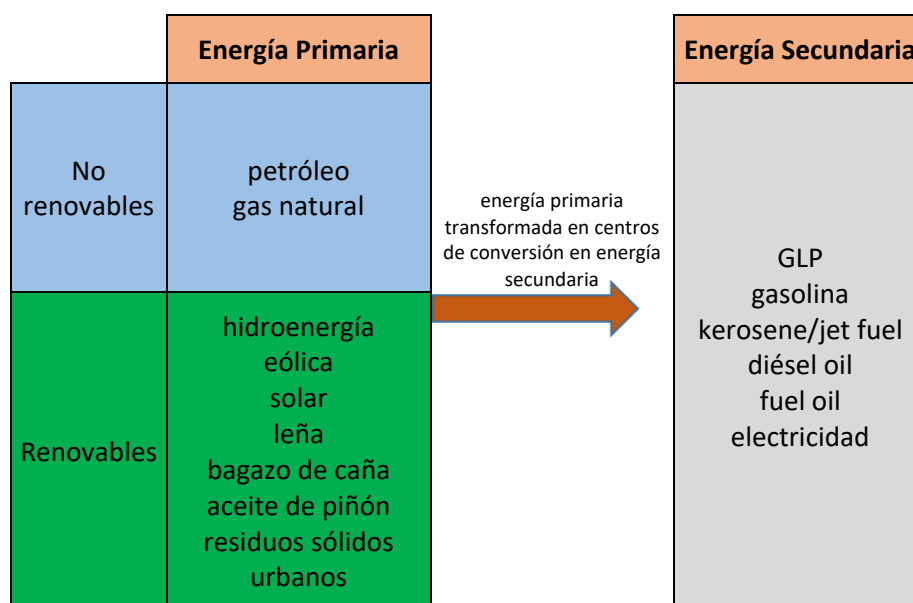


Figura 10. Matriz Energética del Ecuador

Elaboración propia. Fuente: Balance Energético Nacional 2017 (año base 2016)

Energía primaria

Las energías primarias presentes en el Ecuador son las siguientes: el petróleo, el gas natural, energía hidráulica, energía solar, energía eólica, biomasa y geotérmica⁴⁶.

Las energías secundarias comprenden la electricidad, el GLP, la gasolina, kerosene/jet fuel, diésel oil y fuel oil. En la **Tabla 9** y en la **Figura 11** se especifican las cifras de los recursos naturales (Kbep⁴⁷) que conforman la energía primaria del Ecuador. El petróleo (consumo propio y para exportación) es el principal recurso natural no renovable de la matriz energética, situación que se mantiene desde 1970. Desde el año 2016 con la implementación siete nuevas hidroeléctricas⁴⁸, los recursos hídricos cuentan con un mayor

46 En el Ecuador, la energía geotérmica actualmente está en fase de exploración. En ninguna de las áreas prospectivamente interesantes se ha llegado hasta la fase de perforación con el fin de determinar con exactitud el recurso potencial aprovechable. A diferencia de otras fuentes de energía renovable, la identificación y evaluación del potencial geotérmico requiere de elevadas inversiones en la etapa de exploración, lo que hace necesario acceder a capitales de riesgo. Por esto, el desarrollo de esta fuente de energía renovable es menos competitivo y, por lo tanto, su desarrollo en el país es prácticamente nulo (Peláez y Espinoza, 2015), Análisis de las oportunidades de I+D+i en Eficiencia Energética y Energías Renovables en Ecuador, un enfoque desde el sector académico) INER 2016.

47 Miles de barriles equivalentes de petróleo

48 En el año 2016 entraron en funcionamiento siete hidroeléctricas, (Baba, Topo, Victoria, Hidrotambo y la central Alazán), por su magnitud se destaca la central Coca Sinclair con una potencia nominal de 1.500 MW y la

aprovechamiento para la producción de energía eléctrica más limpia sin emisión de gases de efecto invernadero con un aumento del 20.90% con respecto al año 2015 (**Tabla 9**). En orden descendente se ubica el gas natural con 10488 Kbp, y dentro de los recursos energéticos renovables se presentan en menor cantidad la leña 1824 Kbp, el bagazo de la caña de azúcar 3750 Kbp y dentro del grupo de “otras primarias”, los residuos sólidos urbanos, aceite de piñón, energía eólica y solar con un incremento de producción del 49.05% constituyen el sector de mayor crecimiento con respecto al año 2015.

	2013	2014	2015	2016	Variación % 2016/2015
petróleo	192408	203456	198527	201012	1.25
gas natural	9724	11455	10029	10488	4.58
hidroenergía	8550	8874	10143	12263	20.9
leña	2014	2019	1865	1824	-2.2
productos de caña	3340	3722	4374	3750	-14.26
otras primarias	37.77	59.74	83.7	124.76	49.05
total, primarias	216074	229586	225022	229462	1.97

Tabla 9. Producción de energía primaria, 2013-2016 (Kbp)

Elaboración propia. Fuente: Balance Energético Nacional 2017 (año base 2016) Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

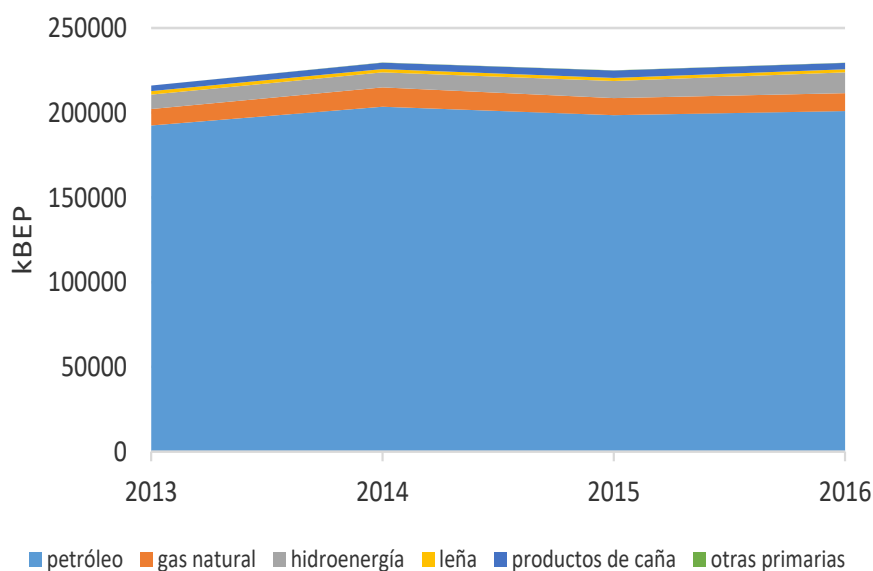


Figura 11. Producción de energía primaria, 2013-2016 (Kbp).

Fuente: Balance Energético Nacional 2017 (año base 2016) Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

central Sopladora con 487 MW. Fuente: Estadística Anual y Multianual del Sector Eléctrico Ecuatoriano-ARCONEL (2016 pág.7)

Energía secundaria

En la **Tabla 10** y **Figura 12** se presenta la producción de la energía secundaria del año 2016 la cual tuvo un incremento del 17.65% con respecto al 2015. El fuel oil fue el combustible de mayor producción con 26.19%, seguido en orden descendente por la electricidad 22.18%, diésel oil 18.50% y las gasolinas, 15.985%. Se observa una tasa de incremento del 79.27% del GLP, gasolinas 60.73% y el diésel oil 30.53%.

	2013	2014	2015	2016	Variación % 2016/2015
electricidad	14412	15061	16079	16924	5.25
gas licuado	1912	1508	1146	2055	79.27
gasolinas	9794	8686	7586	12193	60.73
kerosene/jet fuel	2856	2662	2650	2593	-2.16
diésel oil	11831	10981	10812	14112	30.53
fuel oil	19127	16762	16959	19980	17.82
gases	512	545	702	291	-58.54
otras secundarias	6971	7023	6971	6412	-8.02
no energético	2865	2682	1937	1725	-10.93
total	70280	65910	64842	76285	17.65

Tabla 10. Producción de energía secundaria, 2013-2016 (Kbep).

Elaboración propia. Fuente: Balance Energético Nacional 2017 (año base 2016) Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

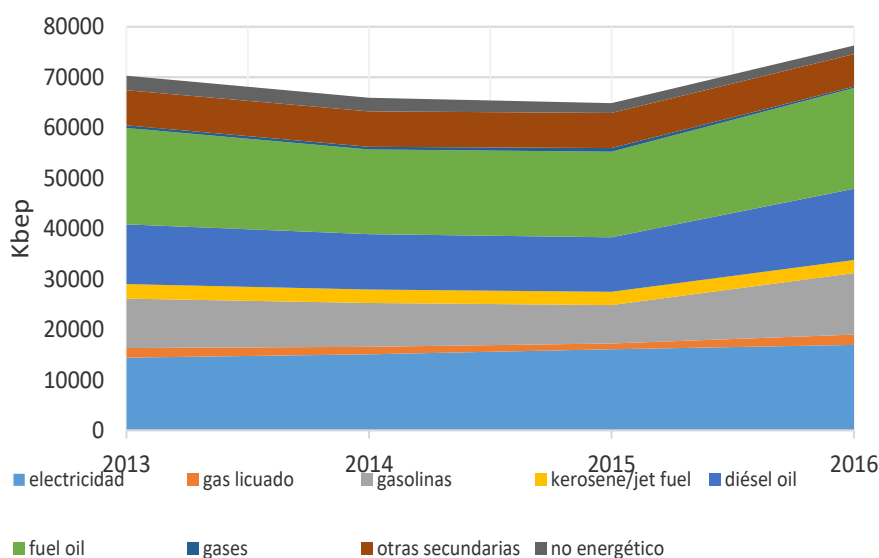


Figura 12. Producción de energía secundaria, 2013-2016 (Kbep).

Elaboración propia. Fuente: Balance Energético Nacional 2017 (año base 2016) Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

Una representación completa del sector energético se representa en la **Figura 13**, el cual muestra el Diagrama de Sankey del balance energético del Ecuador año base 2016⁴⁹. Se representa los flujos de energía por líneas coloreadas de acuerdo a las diferentes fuentes de energía, los anchos de las mismas son proporcionales a la cantidad suministrada de energía. (Barriga 2015). Del lado izquierdo del diagrama se presentan las fuentes de energía primaria, cinco en total: 1) Petróleo 87.60%, 2) Hidro-energía 5.34%, 3) Gas natural 4.57%, 4) Leña 0.79%, 5) Producto Caña 1.63%. En menor proporción 0.054% de origen renovable se encuentran Otras Primarias que comprende la energía solar, eólica, los residuos sólidos y el aceite de piñón. En el centro del diagrama están los centros de transformación de energía primaria en energía secundaria como son: (a) destilerías de alcohol, (b) centrales eléctricas, (c) centros de gas y (d) las refinерías. En estos centros de transformación se utilizan en la entrada uno o varios tipos de energía primaria y se obtiene en la salida energía secundaria como la electricidad y diferentes tipos de combustibles. Los procesos de transformación generan pérdidas las cuales son contabilizadas definiendo tasas de rendimiento.

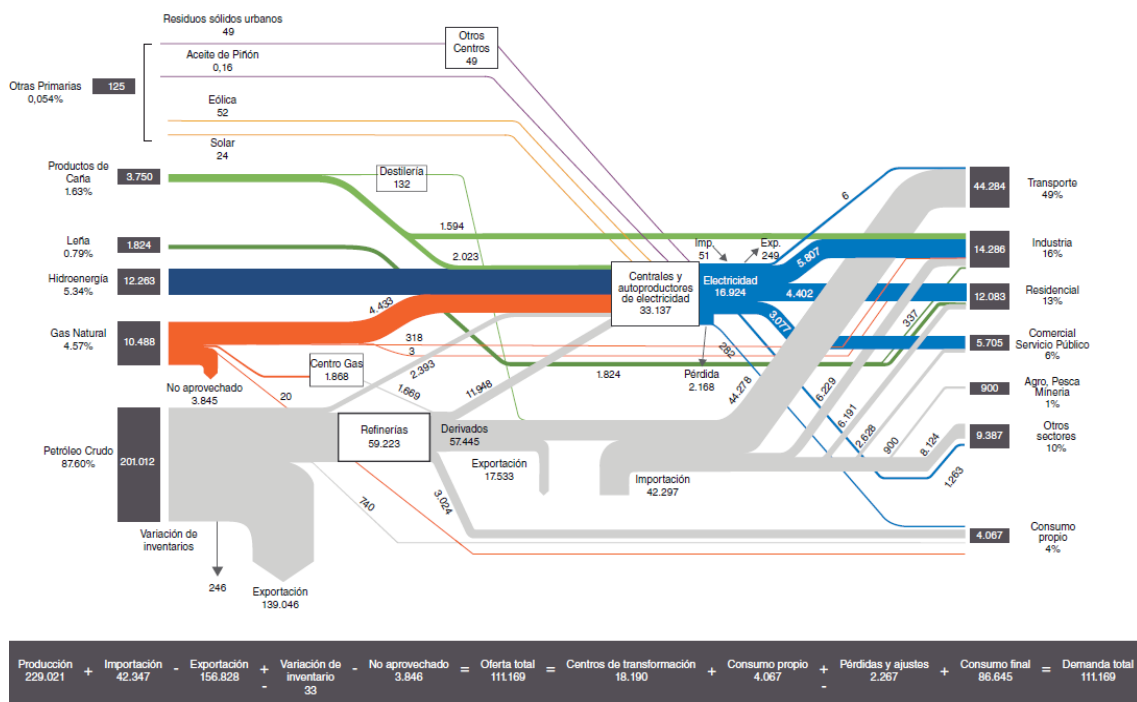


Figura 13. Balance Energético Nacional 2017 (año base 2016) (Kbp)

Fuente: Balance Energético Nacional 2017 (año base 2016) Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

49 Para la redacción del diagrama de Sankey, se tomó como referencia el trabajo de Holger Raúl Barriga Medina "Análisis del Balance Energético del Ecuador a través de Dinámica de Sistemas".

Un problema que aqueja al sector eléctrico son las pérdidas de energía en el traslado hacia los centros de distribución. El CONELEC (Consejo Nacional de Electricidad) realizó un informe de la situación del sector eléctrico ecuatoriano, denominado “Plan Maestro de Electrificación 2007-2016”. En este documento se indica que se pondrá especial énfasis en la utilización de energías renovables, la protección ambiental, la eficiencia energética y la energización rural, con el fin de aminorar la producción de electricidad mediante centrales térmicas, la dependencia de combustibles líquidos y el gasto económico que conlleva.

1.8 Demanda de energía por sectores 2016

Para el año 2016, el sector del transporte⁵⁰ ocupó el primer lugar en el consumo de energía a nivel país con un 49%, por los subsidios a los combustibles vigentes desde la década del 70, siendo los más comercializados el diésel, el fuel oil y la gasolina.

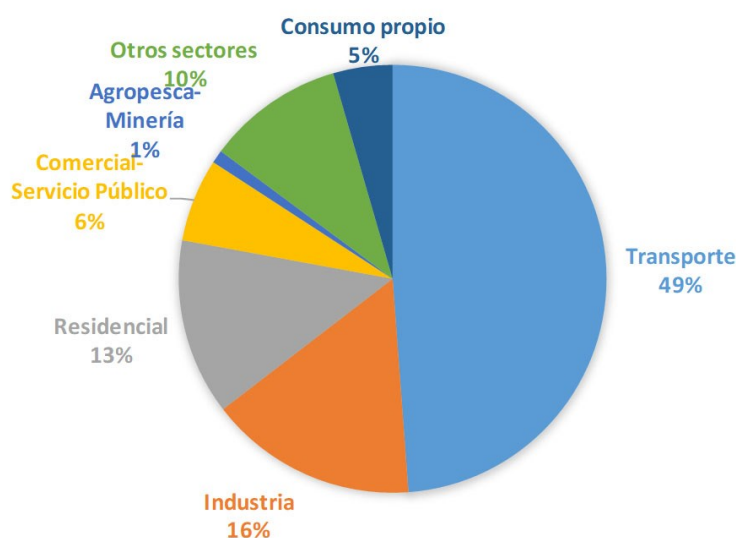


Figura 14. Estructura del consumo de energía por sectores.

Elaboración propia. Fuente: Balance Energético Nacional 2017 (año base 2016) Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

Los siguientes grupos de consumo, se presentan en orden descendente, la industria con 16%, el sector residencial 13%, otros sectores 10%, comercial/ servicio público 6%, consumo propio 4% y finalmente la agro-pesca/minería con 1%.

50 En el año 2015 el número de vehículos matriculados fue 1.925.368. Las provincias más representativas son Pichincha (25.6%) y Guayas (18.8%). Otras formas de transporte, ferrocarril, aéreo, marítimo.

Por motivos de austeridad fiscal, a mediados y finales del 2018 el presidente del Ecuador, Lenin Moreno procedió a la eliminación paulatina de los subsidios a los combustibles, mediante el Decreto Ejecutivo No. 490⁵¹ y 619.⁵²

Demanda de energía eléctrica por sectores (total nacional)

El objetivo de este análisis es identificar la demanda de energía de cada uno de los sectores de consumo a nivel nacional.

Energía Facturada		Residencial	Comercial	Industrial	Alumbrado Público	Otros	Total
	2000	2803.32	1362.01	2218.43	620.24	900.29	7904.29
	2001	2915.74	1432.41	2139.39	634.09	888.61	8010.24
	2002	3098.30	1496.52	2460.19	663.68	893.74	8612.43
	2003	3269.65	1805.04	2589.59	675.04	812.00	9151.32
	2004	3515.64	2051.34	2792.61	696.54	938.17	9994.30
	2005	3702.24	2377.57	3052.41	715.82	962.70	10810.74
	2006	3896.09	2598.15	3332.52	741.24	1068.81	11636.81
	2007	4095.19	2633.77	3332.07	765.46	1216.52	12043.01
	2008	4384.86	2519.61	3418.36	806.4	1524.20	12653.43
	2009	4672.28	2532.71	4147.86	819.57	1045.50	13217.92
	2010	5114.18	2672.01	4416.76	812.03	1061.30	14076.28
	2011	5350.95	2955.49	4480.50	882.97	1261.00	14930.91
	2012	5628.67	3209.14	4685.93	913.08	1411.18	15848.00
	2013	5881.39	3485.54	4684.27	963.73	1728.01	16742.94
	2014	6364.00	3785.72	4974.56	1023.34	1810.68	17958.30
	2015	6927.71	3981.06	4972.67	1081.32	1979.83	18942.59
2016	7104.85	3838.26	4778.08	1127.10	2049.14	18897.43	

Tabla 11. Evolución de la energía facturada (GWh) por las empresas distribuidoras.

Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, CONELEC, MEER/ Estadística de Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016 ARCONEL

51 Mediante el Decreto Ejecutivo no.490 (expedido el 27 de agosto del 2018), se elimina el subsidio de la gasolina Super, se incrementa de 2.26 dólares a 2.98 dólares por galón, aumentando el octanaje del 90 a 92.

52 El Decreto Ejecutivo no. 619 (con fecha del 26 de diciembre del 2018) determina que el precio de venta del galón de las gasolinas extra y extra con etanol (Ecopaís), pasará de \$1,17 a \$1,50. Además se indica que el precio de las gasolinas extra comercial y extra con etanol comercial será de \$ 1,1689 por cada galón. Esto es que se mantendrá el subsidio total y se beneficiará de ese precio sólo el sector del transporte terrestre público y el de transporte comercial. "La decisión no afectará al transporte terrestre público ni al transporte comercial, sobre todo de mercancías, para evitar una escalada de precios. La información de los beneficiarios del subsidio será remitida por el Ministerio de Transporte y Obras Públicas (MTOPE), la Agencia Nacional de Tránsito (ANT) y otras entidades que regulen la actividad de los beneficiarios a la Agencia de Regulación y Control Hidrocarbúrico (ARCH). Esta entidad será la encargada de implementar los controles correspondientes para la aplicación de este decreto" Fuente: Secretaría Nacional de Comunicación, Boletín Oficial no.673

La **Tabla 11** se ha elaborado con información de dos fuentes, los datos del año 2000 hasta el 2010 se consideraron teniendo en cuenta el Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, CONELEC-MEER y desde el 2011 al 2016 se utilizó la Estadística del Sector Eléctrico Ecuatoriano, ARCONEL, con la finalidad de complementar y actualizar la información con datos más recientes. Dentro del período de análisis, el sector Residencial es el que posee el mayor consumo; en orden descendente se ubican el Industrial, el Comercial, Otros y finalmente el Alumbrado Público. Se realizó el cálculo del incremento de todos los sectores desde el 2000 al 2016 con los siguientes resultados: Residencial (153%), Comercial (182%), Industrial (115.38%), Alumbrado Público (81.72%) y Otros (127.61%). El sector comercial tiene el más alto incremento que empezó con un mayor porcentaje desde el año 2012.

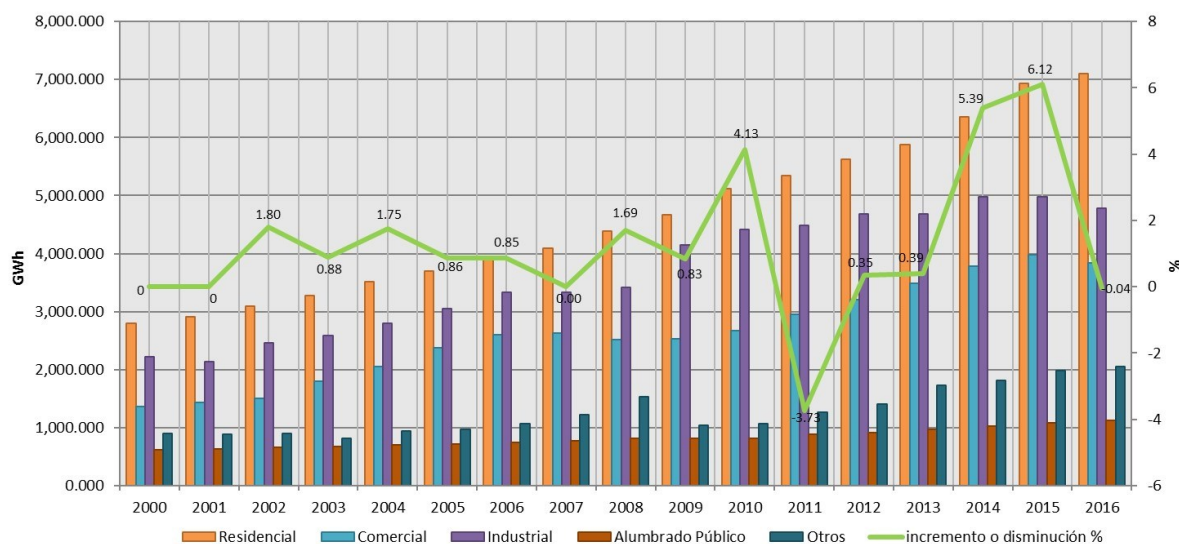


Figura 15. Evolución de la energía facturada por las empresas distribuidoras.

Elaboración propia. Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, CONELEC, MEER/ Estadística de Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016 ARCONEL

Análisis histórico de la demanda de energía del sector residencial

El sector residencial es el grupo de mayor desarrollo urbano especialmente en las principales ciudades del Ecuador de acuerdo a los datos del compendio 2014 del Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), período 2007-2013 de cada una de las provincias del Ecuador; información graficada en la **Figura 16**. Se observa el predominio de las provincias más pobladas, Pichincha y Guayas, siguiéndole las provincias de Manabí y Azuay.

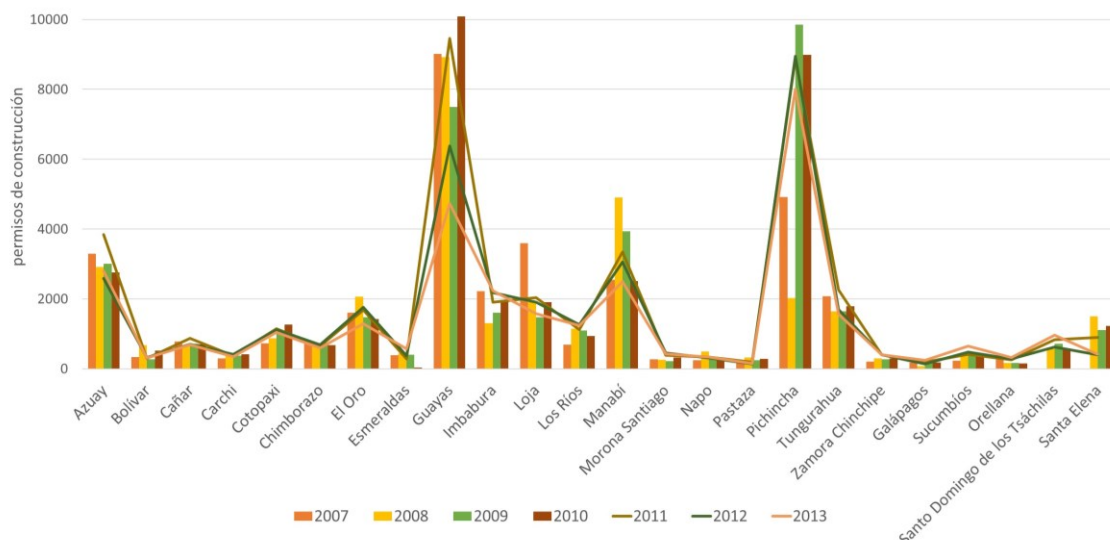


Figura 16. Cantidad total de permisos de construcción a nivel nacional.
Elaboración propia Fuente: Compendio Estadístico 2014, INEC

En la **Figura 17** se presentan en el período 2007-2013 los permisos de construcción a nivel nacional especificando la cantidad y porcentajes pertenecientes al sector residencial. En los años 2007, 2008, 2009, y 2011 más del 90% de los permisos de construcción fueron destinados a residencias para una familia, dos familias y para tres o más familias (INEC 2014).

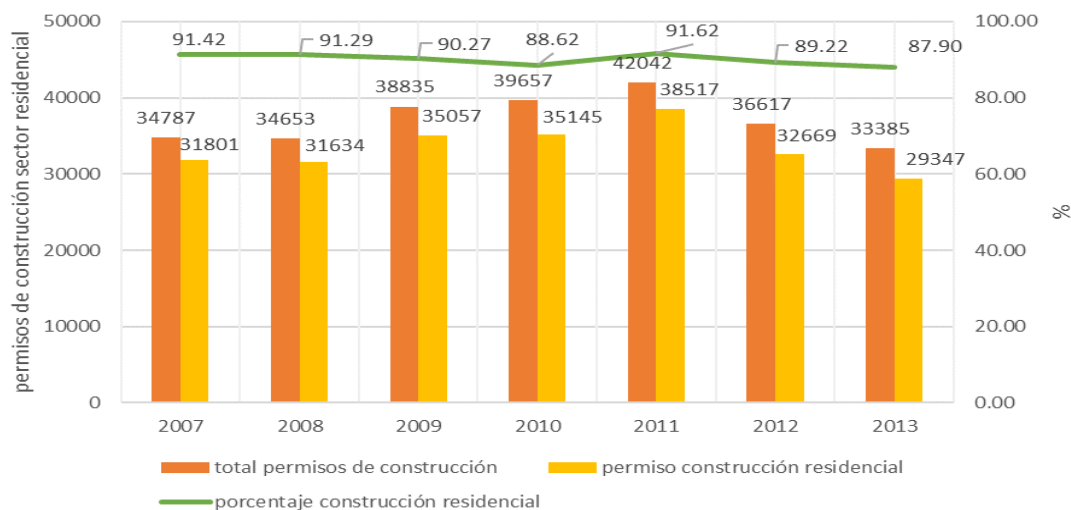


Figura 17. Cantidad total de permisos de construcción a nivel nacional-construcción residencial
Elaboración propia. Fuente: Compendio Estadístico 2014, INEC

Con el crecimiento del sector residencial en los núcleos urbanos de mayor desarrollo distribuidos entre la sierra y la costa, el aumento de la demanda eléctrica es una constante que este sector debe de afrontar y suministrar cada año, además de la expansión de la

cobertura del servicio eléctrico, que en 2002 fue del 86%, en el 2013 aumentó al 93.4% (PME 2012-2021), y en el 2016 llegó al 97.24 % (Agencia de Regulación y Control de Electricidad 2016).

A continuación, se presenta un análisis del consumo eléctrico en el sector residencial, empezando con la **Tabla 12** en la cual se presenta la cantidad de clientes y el consumo eléctrico con su respectiva variación anual, los datos graficados se presentan en la **Figura 18**. Al realizar un análisis general se verifica que el número de clientes se ha duplicado ya que en el año 2000 se contabilizó 2.144.233 usuarios y el año 2016 alcanzó la cifra de 4.333.914, representando un aumento del 102.12%. La variación anual del número de clientes se encuentra entre el 3.82% en el 2001 como valor mínimo y como máximo 5.93% en 2011, y la variación anual de consumo, valor mínimo del 4.01% en el 2001 y como valor máximo 9.46% en 2010.

	Total, Clientes Residencial	Consumo Residencial GWh	Variación Anual Clientes %	Variación Anual Consumo %
2000	2.144.233	2803.32		
2001	2.226.19	2915.74	3.82	4.01
2002	2.338.399	3098.30	5.04	6.26
2003	2.454.627	3269.65	4.97	5.53
2004	2.583.15	3515.64	5.24	7.52
2005	2.691.757	3702.24	4.20	5.31
2006	2.826.369	3896.09	5.00	5.24
2007	2.948.585	4095.19	4.32	5.11
2008	3.110.473	4384.86	5.49	7.07
2009	3.288.798	4672.28	5.73	6.55
2010	3.470.331	5114.18	5.52	9.46
2011	3.675.992	5351.00	5.93	4.63
2012	3.853.176	5623.78	4.82	5.10
2014	4.117.661	6364.00		
2016	4.333.914	7104.85		

Tabla 12. Total, clientes, Consumo de energía período 2000-2016.

Elaboración propia. Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, CONELEC, MEER (datos tablas 2.7 y 2.8)

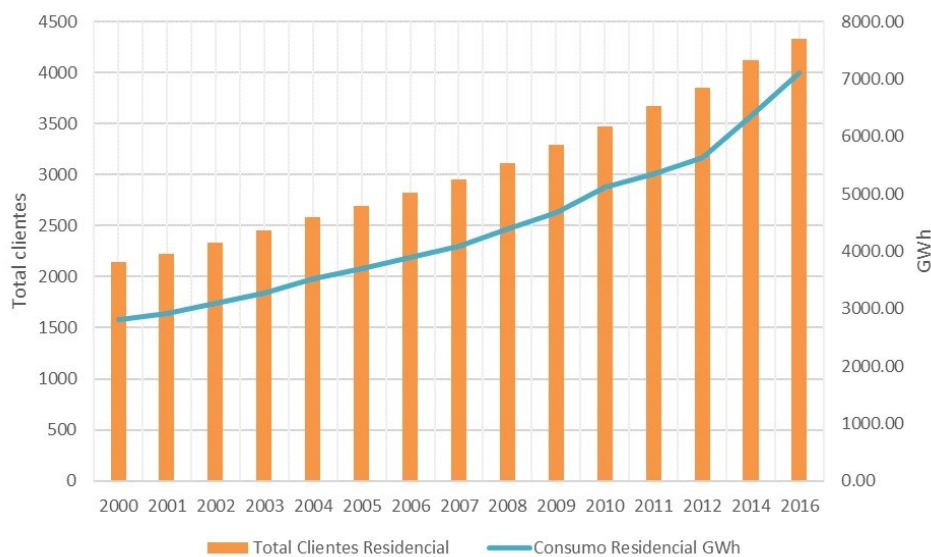


Figura 18. Gráfico Total clientes y consumo residencial.
Elaboración propia. Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, CONELEC, MEER

Demanda de energía sector residencial kWh/cliente

Una vez analizado de manera general el número de clientes y los consumos del sector residencial se analizó la demanda kWh/cliente⁵³ con la finalidad de establecer los promedios de consumo de los hogares por año y su incremento o disminución anual.

En la **Tabla 13** y **Figura 19** se muestra el consumo promedio anual kWh/cliente período 2000 -2016; se observa un crecimiento paulatino desde el año 2000 con 111 kWh llegando a 136 kWh en el 2016 incremento del 23.07%, con el punto más alto desde el 2014 al 2016. Esta situación coincide con la implementación del Programa de Eficiencia Energética para cocción por inducción y calentamiento de agua con electricidad (PEC)⁵⁴, este programa en 2016 ha subsidiado 151.40 GW (ARCONEL 2016).

53 Es la unidad que expresa la relación entre energía y tiempo, se la utiliza para medir el consumo de energía en kilovatios por hora. Actualmente, el kWh es el que utiliza el sector energético para facturar a los consumidores su gasto tanto de luz como de gas natural.

Fuente: <https://tarifasgasluz.com/faq/diferencia-kw-kwh>.

54 “En el año 2010 el sector residencial consumió cerca del 36% del total de la energía eléctrica del país; además debe considerarse el alto porcentaje de demanda de gas licuado de petróleo (GLP) para el sector residencial, que oscila en el 90% de la oferta total. La razón de este nivel de consumo del sector residencial respecto al total de energía, es que durante los últimos años el sector residencial ha migrado del uso de la electricidad al GLP, situación que se mantiene en básicamente tres tipos de electrodomésticos: los calentadores instantáneos de agua o calefones, la cocina y la secadora de ropa, todo esto debido al precio público por unidad energética que promueve considerablemente el uso del GLP. Fuente: (PME 2012-2021,

El programa promovido por el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) tuvo como finalidad disminuir o reemplazar el consumo de gas licuado de petróleo (GLP) en el sector residencial en la cocción de alimentos y calentamiento de agua por otras fuentes de energía, enfatizando el uso de energías renovables como la hidroeléctrica con la implementación de cocinas de inducción⁵⁵. Según las estadísticas del 2016 del sector eléctrico ecuatoriano emitido por ARCONEL el programa PEC cuenta con 481.858 clientes.

	Año	Consumo kWh	Incremento o Disminución %
Promedio consumo mensual kWh/cliente	2000	111.00	0
	2001	111.00	0
	2002	113.00	1.80
	2003	114.00	0.88
	2004	116.00	1.75
	2005	117.00	0.86
	2006	118.00	0.85
	2007	118.00	0.00
	2008	120.00	1.69
	2009	121.00	0.83
	2010	126.00	4.13
	2011	121.30	-3.73
	2012	121.73	0.35
	2013	122.20	0.39
	2014	128.79	5.39
	2015	136.67	6.12
	2016	136.61	-0.04

Tabla 13. Consumo anual kWh/cliente.

Elaboración propia. Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, ARCONEL/ Estadística de Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016 ARCONEL

pág.82). Según el Ministerio de Hidrocarburos el precio oficial del tanque de GLP es 1.60 USD, valor que es incrementado por las comercializadoras de gas entre 2.60 a 3.00 USD.

55 Las cocinas de inducción funcionan con electricidad durante el tiempo necesario; su funcionamiento es a base de un principio electromagnético que calienta sólo la olla que tiene ser de un material ferro magnético estableciendo una circulación de corriente eléctrica que genera calor, el cual es transferido al interior del recipiente, que una vez retirado se detiene la generación de calor.

Fuente: Disponible en internet: < <http://www.ecuadorcambia.com/> >

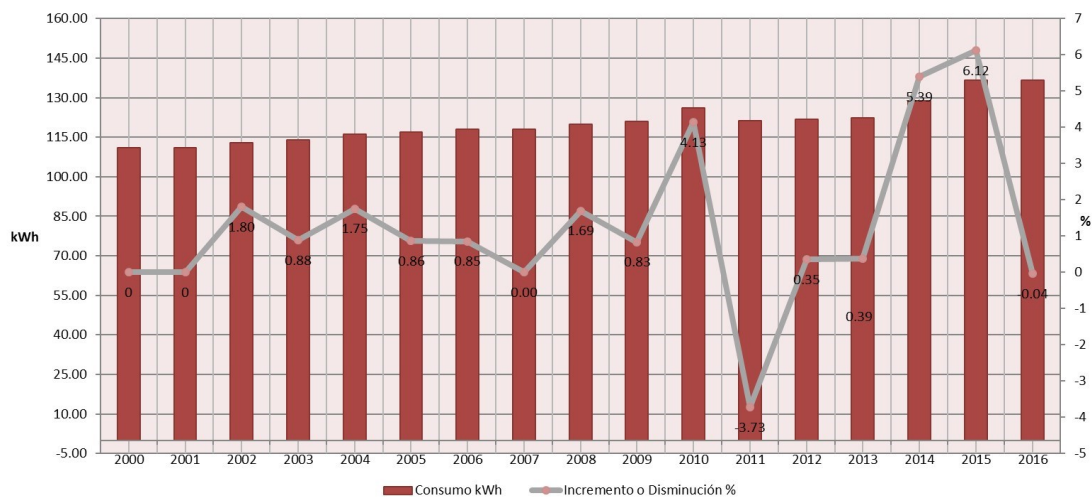


Figura 19. Gráfico consumo anual cliente kWh. Elaboración propia

Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, ARCONEL/ Estadística de Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016 ARCONEL pág.131, tabla 153

En la actualidad queda como interrogante si el aumento kWh/cliente en el sector residencial es promovido en parte por el uso de las cocinas de inducción u otros electrodomésticos, o por otras razones, ya que no existen estudios actualizados sobre el uso final de la energía; el único que hace referencia en el PME 2012-2021 es un informe del año 1993 elaborado por INECEL⁵⁶ en el cual se presenta el consumo final de energía en la región costa y sierra. En la **Figura 20** se grafica los usos finales del sector residencial. En la costa, se observa que el mayor uso de energía (50%) estaba destinada para la refrigeración de alimentos. En orden descendente le sigue la iluminación (16.67%), el aire acondicionado (14.3%), cocción de alimentos (10%), y finalmente Otros (9.05%).

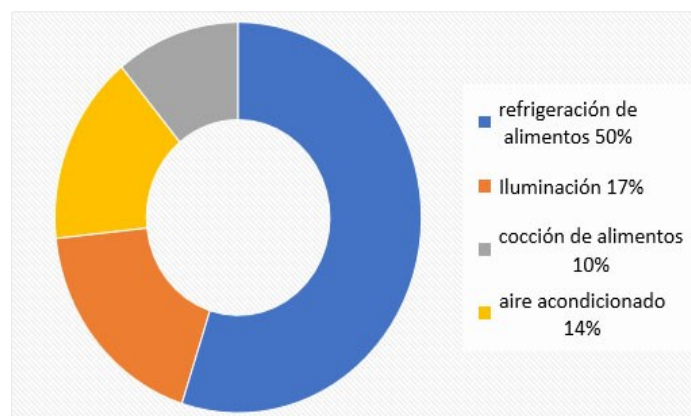


Figura 20. Usos finales de la Energía 1993, Sector Residencial (Región Costa)

Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, ARCONEL, según los datos de INECEL 1993

56 Instituto Ecuatoriano de Electrificación fundado en 1961, se encargó de todo el sector eléctrico del Ecuador, incluyendo la generación, transmisión y distribución de electricidad. Desaparece en 1996.

En la **Figura 21** presenta el consumo de energía final de la región sierra. La refrigeración de alimentos ocupó el primer lugar (60%), en segundo lugar, se ubica la iluminación (20%), Otros (15%) y finalmente la cocción de alimentos (5%).⁵⁷

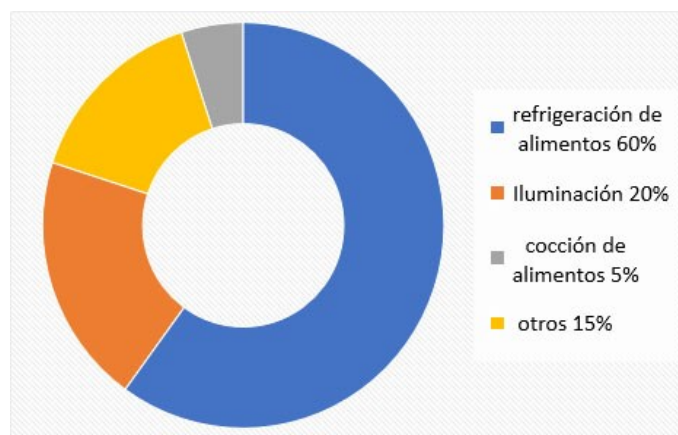


Figura 21. Usos finales de la energía 1993, Sector Residencial (Región Sierra)

Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, ARCONEL, según los datos de INECEL 1993

En el Estudio de INECEL 1993 se adjunta en la **Figura 22**, la demanda coincidente en las horas pico en regiones de la costa y sierra, el sector residencial predomina con el uso de iluminación, en segundo lugar, la refrigeración de alimentos, le sigue el calentamiento de agua y finalmente el uso del aire acondicionado.



Figura 22. Demanda Sector Residencial

Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, ARCONEL, según los datos de INECEL 1993

En la **Figura 23** se presenta una clasificación del consumo residencial del año 2010 por segmento social de acuerdo a la cantidad kWh/mes estableciéndose rangos entre 0-50

⁵⁷ En la sierra ecuatoriana no es común el uso de calefacción en el sector residencial, pero en altitudes a partir de 3.000 mts se presenta el inicio de una demanda de calefacción. (J.M. Evans, S. Schiller 2013)

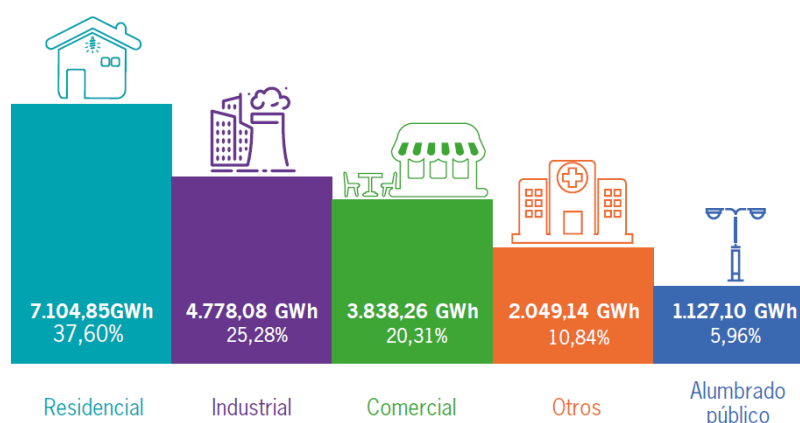
(baja) hasta mayor de 1000 kWh. El mayor número de abonados tiene un rango promedio de 51-200 kWh/mes que corresponde al segmento social medio bajo con 1.615.158 (46.5%) del total de los usuarios. En la **Tabla 13** se indica que el promedio del año 2010 fue 126 kWh. En segundo lugar, se ubica el segmento social bajo de 0-50 kWh/mes con 1.289.439 usuarios (37.2%).

Segmento Social	Estrato kWh/mes	Usuarios Abonado	%	Consumo GWh	%	Facturación (millones USD)	%
Alta	Mayor a 1.000	19.427,0	0,6	423,54	8,3	39,05	8,3
Media Alta	501 - 1.000	63.196,0	1,8	509,24	10,0	46,95	10,0
Media	201 - 500	483.111,0	13,9	1.685,65	33,0	155,42	33,0
Media Baja	51 - 200	1.615.158,0	46,5	2.215,45	43,3	204,26	43,3
Baja	0 - 50	1.289.439,0	37,2	280,31	5,5	25,84	5,5
TOTAL		3.470.331,0	100	5.114,19	100	471,52	100

Figura 23. Distribución por estrato del consumo residencial de energía eléctrica (Total nacional 2010)
Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, CONELEC, MEER

Demanda de energía 2016 del sector residencial por regiones y provincias

En esta sección se analizó el consumo residencial del año 2016 para identificar la región o provincia que presenta el mayor consumo eléctrico. Se revisó el total de la demanda nacional de energía eléctrica cuyo valor fue 18.801.93 GWh. El sector residencial es el grupo de mayor consumo con 7.104,85 GWh, representando el 38% del total de electricidad del país⁵⁸. En orden descendente se ubica el sector industrial con 4.681,57 GWh (25%), le sigue el sector comercial con 3.838,50 GWh (20%), otros (11%), alumbrado público (6%). **Tabla 14.**



58 Otras energías utilizadas en el sector residencial son el GLP y la leña ésta última principalmente en áreas rurales.

Región	Provincia	Residencial	Comercial	Industrial	Alumbrado	Otros
Región Costa	El Oro	314.45	142.85	186.26	72.93	114.54
	Esmeraldas	177.86	72.00	96,50	32.77	71.32
	Guayas	2343.75	1585.49	2159.63	246.25	813.90
	Los Ríos	299.65	121.03	93.05	29.11	85.91
	Manabí	542.49	201.52	257.97	108.14	219.83
	Santa Elena	133.52	95.10	53.69	28.23	51.89
	Zonas en estudio ⁵⁹	4.74	1.32	5.71		0.33
Región Sierra	Azuay	325.90	125.97	359.78	87.45	46.66
	Bolívar	46.31	10.55	0.41	16.63	8.75
	Cañar	82.68	28.32	63.42	9.37	9.91
	Carchi	46.13	18.63	7.49	4.03	8.29
	Chimborazo	147.50	59.77	78.33	30.58	26.76
	Cotopaxi	122.34	42.13	208.17	26.58	30.14
	Imbabura	150.32	56.35	31.80	40.16	27.56
	Loja	139.83	53.05	9.37	33.05	28.84
	Pichincha	1609.27	893.34	942.56	232.49	309.61
	Santo Domingo de los Tsáchilas	165.87	118.70	58.12	38.19	48.78
	Tungurahua	205.01	69.71	109.50	63.91	48.50
Región Amazónica	Morona Santiago	37.54	15.66	1.84		11.62
	Napo	29.19	14.66	15.46		10.48
	Orellana	50.75	29.15	15.34	0.63	19.55
	Pastaza	25.17	13.86	5.30		10.01
	Sucumbíos	61.59	43.01	10.63	24.60	29.31
	Zamora Chinchipe	24.93	9.80	7.34		6.40
Región Insular	Galápagos	18.06	16.33	0.40	1.98	10.24
Total, por sectores		7104.85	3838.30	4681.57	1127.08	2049.13
					Total	18800.93⁶⁰

Tabla 14. Consumo eléctrico regional por sectores.

Elaboración propia. Fuente: Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Estadística Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016

En la **Tabla 15** presenta el consumo de electricidad GWh y porcentaje del sector residencial por regiones de acuerdo al número de clientes. En el año 2016 la región Sierra contaba con 2.246.250 clientes (51.83%) con un consumo de 3.041.160 GWh (42.80%), la Costa con 1.890.306 usuarios (43.62%) presentó el mayor consumo por región con 3.816.460 GWh (53.72%), la Amazonía 188.513 clientes (4.35%) con un consumo de 229.170 GWh (3.23%) y finalmente región Insular o Islas Galápagos con 8.825 usuarios (0.20%) con un consumo de 18.060 GWh (0.25%). La región costa representa el 43% del total de clientes

59 Áreas o zonas no delimitadas

60 El valor de la suma total de la tabla 4 (18,800.93) difiere del valor del documento oficial (18.897.42).

siendo la zona de más alto consumo de energía eléctrica del Ecuador, sin embargo, la región sierra la supera con mayor cantidad de usuarios correspondiente a 51.83%.

Región	No. Clientes Residencial	% clientes	Consumo de electricidad GWh	% consumo de electricidad
Costa	1890.306	43.62	3816.46	53.72
Sierra	2246.250	51.83	3041.16	42.80
Amazonía	188.513	4.35	229.17	3.23
Galápagos	8.825	0.20	18.06	0.25
Totales	4333.894	100.00	7104.85	100.00

Tabla 15. Sector residencial, número de clientes y consumo GWh por regiones.

Elaboración propia. Fuente: Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Estadística Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016

En la **Figura 24** se presentan los promedios mensuales por regiones kWh/cliente de las distribuidoras de electricidad del año 2016 con la finalidad de establecer cuáles fueron los promedios mensuales kWh/cliente por región.

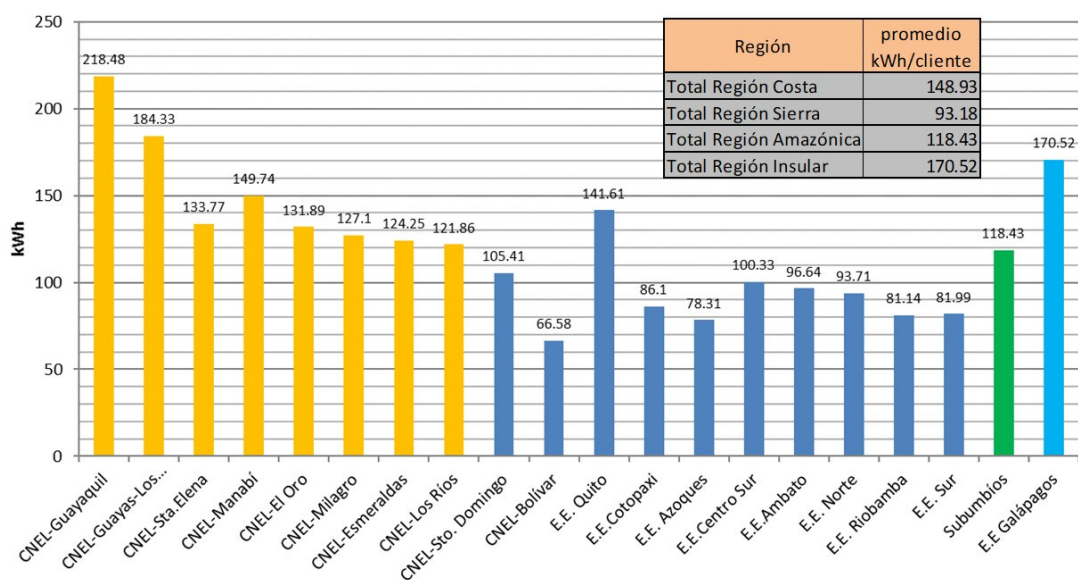


Figura 24. Sector residencial, promedio mensual kWh/cliente por distribuidora.

Elaboración propia. Fuente: Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Estadística Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016.

En el análisis por regiones las Islas Galápagos presentan el mayor consumo con 170.52 kWh, en segundo lugar, la Costa con un promedio de 148.93 kWh, en tercer lugar, Sucumbíos en la Amazonía con 118.43 kWh y finalmente la región sierra con 93.18 kWh. Analizando los consumos por distribuidora se observa que los proveedores de electricidad de la región costa tienen los mayores valores mensuales kWh/cliente, ubicándose en orden

descendente está CNEL-Guayaquil (218 kWh/cliente), CNEL-Guayas-Los Ríos (184.33 kWh/cliente), E.E Galápagos en la región Insular (170.52 kWh/cliente), CNEL-Manabí (149.74 kWh/cliente). Recién en la quinta ubicación se observa una distribuidora de la región sierra E.E. Quito (141.61 kWh/cliente). Considerando los valores de consumo de todas las provincias, el promedio anual fue 136.61 kWh/cliente.

Una vez establecido el consumo residencial por regiones en energía consumida GWh y por distribuidora kWh/cliente se procedió a determinar las provincias que registran la mayor demanda de electricidad en el sector residencial de acuerdo al número total de usuarios.

El cuadro representado en la **Figura 25** se elaboró con los datos de usuarios del servicio eléctrico y su respectivo consumo de todas las provincias del Ecuador. Las más pobladas y de mayor demanda eléctrica son Guayas⁶¹ (región costa) y Pichincha⁶² (región sierra).

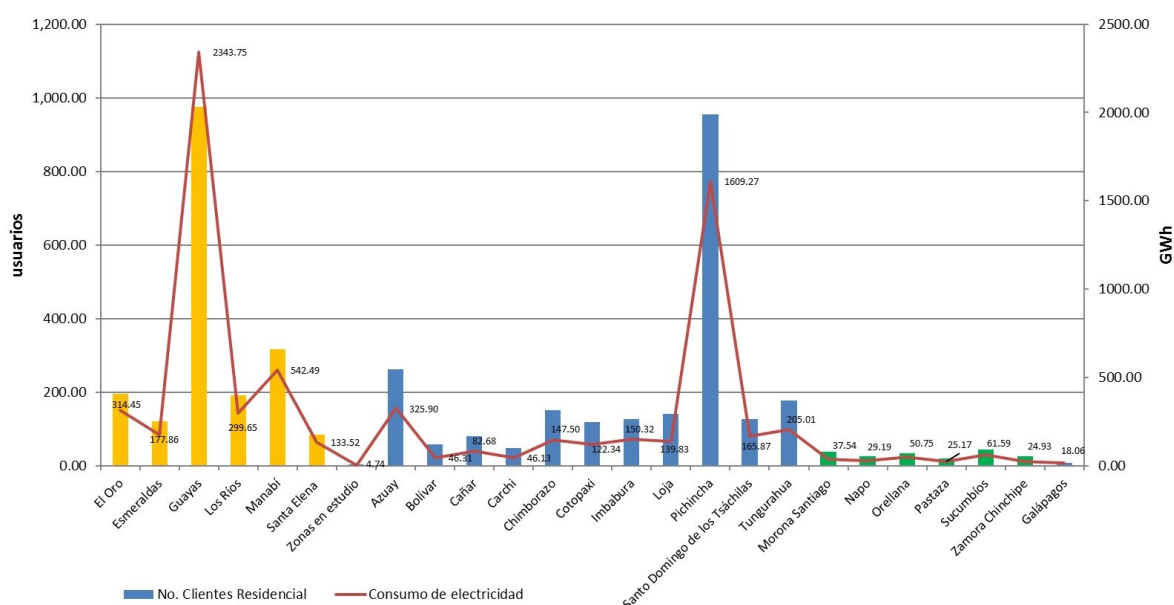


Figura 25. Número de usuarios del servicio eléctrico por provincia.

Elaboración propia. Fuente: Agencia de Regulación y Control de Electricidad, Estadística 2016

El consumo de la provincia del Guayas fue de 2.343.75 GWh correspondiente a 201.40 kWh/cliente, cifra resultante del promedio de los valores de las dos distribuidoras de electricidad de la provincia CNEL-Guayaquil y CNEL-Guayas-Los Ríos. En segunda ubicación se presenta la provincia de Pichincha con una demanda eléctrica de 1609.27 GWh con un promedio kWh/cliente de 141.61.

61 Guayaquil es la capital de la provincia del Guayas.

62 Quito, es la capital del Ecuador y de la provincia del Pichincha.

1.9 Conclusiones

De acuerdo al análisis del consumo eléctrico en el sector residencial resumido en la **Figura 26** se observa que la región costa consume el mayor porcentaje de electricidad con un menor número de usuarios a diferencia de la región sierra que con un mayor número de clientes registra un menor consumo.

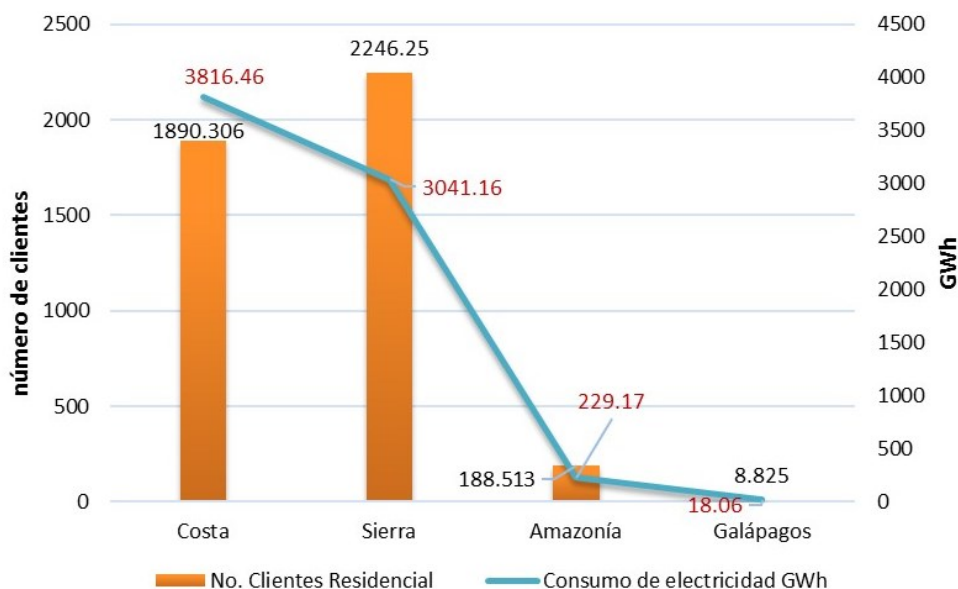


Figura 26. Sector residencial, número de clientes y consumo GWh por regiones.

Elaboración propia. Fuente: Agencia de Regulación y Control de Electricidad. Estadística Sector Eléctrico Ecuatoriano 2016

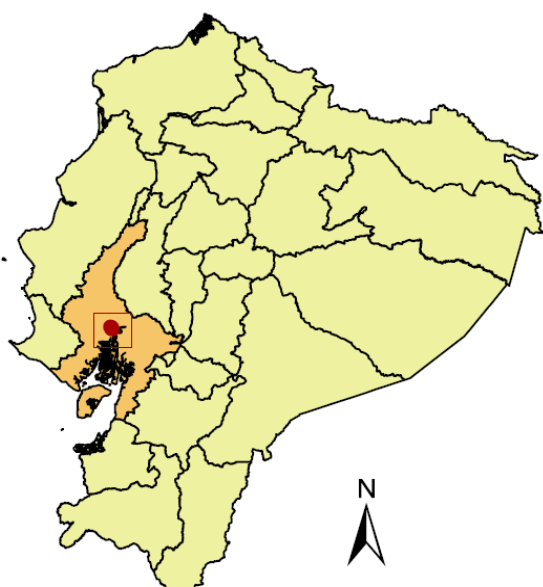


Figura 27. Mapa del Ecuador, provincia del Guayas.

Con respecto al consumo kWh/ cliente las distribuidoras de electricidad de la provincia del Guayas, (**Figura 27**) poseen los valores más altos de consumo de energía eléctrica específicamente CNEL-Guayaquil con 218 kWh/cliente y CNEL Guayas los Ríos con 184.33 kWh/cliente. Otro tema relevante es la falta de datos con respecto al uso final de la energía, que según el único informe de INECEL de 1993 indica que en el sector residencial los usos que demandaron un mayor consumo fueron la refrigeración de alimentos y la iluminación.

Analizando los datos de INECEL mediante un gráfico comparativo (**Figura 28**), se observa que existe un factor importante en la climatización del sector residencial, ya que sólo en la región costa se utiliza el aire acondicionado como un requerimiento adicional de consumo de electricidad en comparación con la región sierra que no emplea ningún sistema de climatización que para este caso sería la calefacción. Tomando esta premisa y revisando los datos actuales de consumo, se podría considerar que el consumo de energía por el uso de climatización artificial sería el causante que la región costa sea el mayor consumidor de energía eléctrica en el Ecuador debido a la rigurosidad del clima especialmente en la temporada lluviosa caracterizada por altas temperaturas y humedad relativa. Actualmente con la evolución de las tecnologías, las diversas marcas de equipos de climatización han diseñado modelos más eficientes con lo cual consumen menos energía que los artefactos de décadas anteriores. En la actualidad se requieren nuevos estudios con la finalidad de conocer cuál es el uso final mayoritario de la energía en el sector residencial y que factores o hábitos están produciendo el aumento en su consumo.

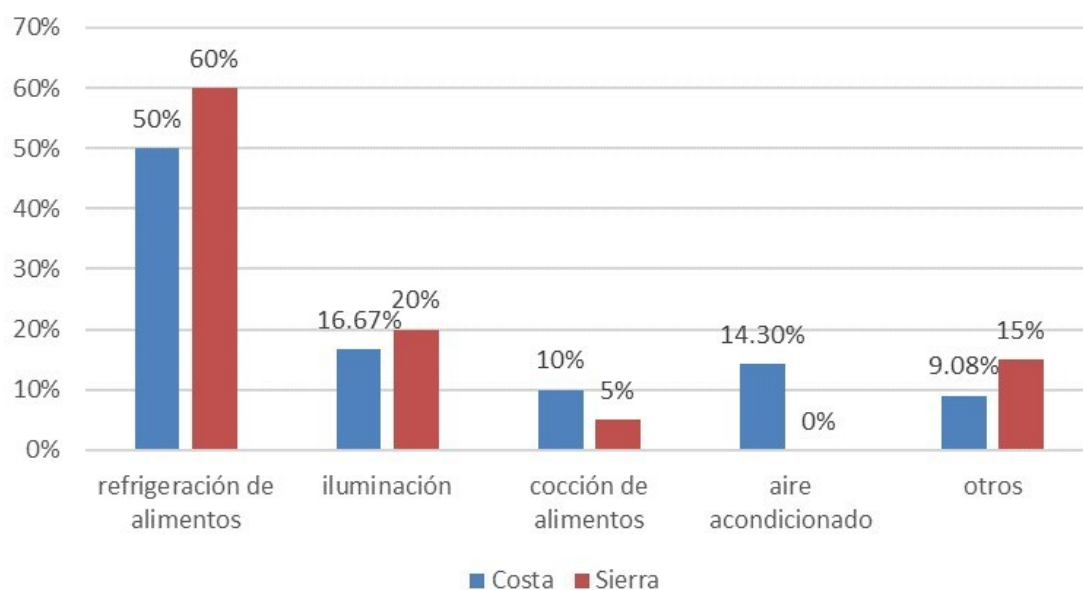


Figura 28. Gráfico comparativo, uso final de la energía región costa y sierra.
Elaboración propia. Fuente: Plan Maestro de Electrificación 2012-2021, ARCONEL, según los datos de INECEL 1993

2 CAPÍTULO DOS - PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Antecedentes

El término energía abarca varios ámbitos, el de la física, el de la energía potencial, y otros factores que intervienen en el desarrollo de un país, como la economía, la política, recursos energéticos disponibles, el medio ambiente y la tecnología existente. La energía es un recurso fundamental para el crecimiento y desarrollo de la economía mundial. Para Rogner y Popescu (2000)⁶³ desde el punto de vista de la sociedad la energía no se la considera un “bien” para el consumo; es un recurso que se utilizará para la producción de bienes y servicios. Un sistema de energía está diseñado para satisfacer la demanda de una variedad de servicios tales como cocción y refrigeración de alimentos, iluminación, proveer confort interior, transporte, información y bienes de consumo. La gente no tiene interés en la energía, sólo en los servicios que con ésta se genera (Rogner y Popescu 2000).

La demanda de energía tiende a aumentar por el crecimiento de la población, factor que impacta en el crecimiento económico que según los datos de las Naciones Unidas la población mundial en el 2017 se contabilizó en 7.600 millones de personas, y las estimaciones indican que ésta aumentará a 8.600 millones para el año 2030, 9800 millones para el 2050 y 11.200 millones para el 2100.⁶⁴ La urbanización masiva es la consecuencia del crecimiento de la población, actualmente el 54% de la población mundial vive en zonas urbanas, porcentaje que aumentará al 66% para el 2050 (ONU, 2014).

El aumento poblacional genera que las ciudades consuman aproximadamente el 75% de la energía global primaria emitiendo a la atmosfera entre un 50% y 60% de gases de efecto invernadero (GEI⁶⁵). Otro factor que incide en el aumento del consumo de energía es el

63 La información citada de los autores Rogner y Popescu se encuentra disponible en el primer capítulo del libro “Energy and the challenge of sustainability” publicado por el Programa de Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP)

64 El estudio indica que el aumento se efectuará aproximadamente en 83 millones de personas cada año, a pesar de la disminución en las tasas de fertilidad. Disponible en internet: <<https://www.un.org/development/desa/es/news/population/world-population-prospects-2017.html>> fecha de consulta 5/23/2018.

65 “Los gases de efecto invernadero (GEI) son aquellos componentes gaseosos de la atmósfera, de origen natural y de actividades humanas, que absorben y reemiten radiación infrarroja. Los GEI son: el vapor de agua

crecimiento económico, en otros casos esta relación puede manifestarse con el efecto opuesto en algunos países, un aumento en el consumo de energía genera un crecimiento económico de un determinado sector (Heres del Valle, CEPAL 2015).

Según Rogner y Popescu (2000), el consumo de energía conlleva a la implementación de un sistema energético el cual tiene dos componentes principales: la oferta y la demanda ⁶⁶, esta última determina la estructura y el tamaño del mismo. Según los autores la demanda y los servicios de energía de un determinado territorio están definidos por los siguientes factores:

- Estructura económica, actividad económica, niveles de ingreso, acceso al capital, precios relativos y las condiciones de mercado.
- Demografía, población, distribución por edad, fuerza de trabajo, tasa de participación, tamaño de las familias y grado de urbanización.
- Geografía, que incluye las condiciones climáticas y las distancias entre los principales centros metropolitanos.
- Base tecnológica: Antigüedad de la infraestructura existente, nivel de innovación, acceso a investigación y desarrollo, habilidades técnicas y difusión de tecnología.
- Dotación de recursos naturales y acceso a los recursos energéticos.
- Estilos de vida, patrones de asentamiento, movilidad, preferencias individuales y sociales, costumbres culturales.
- Factores de política que influyen en las tendencias económicas, la energía, el medio ambiente, normas y códigos, subsidios y bienestar social.
- Leyes, instituciones y regulaciones.

(H₂O), el dióxido de carbono (CO₂), el ozono (O₃), el metano (CH₄), el óxido nitroso (N₂O), los clorurocarbonados (CFC, HFC, PFC) y el hexafluoruro de azufre (SF₆)” Fuente: Ministerio del Ambiente. Inventario Nacional de Gases de Efecto Invernadero del Ecuador, Serie Temporal 1994-2012

⁶⁶ Según el Escenario de Nuevas Políticas de la Agencia Internacional de Energía (AIE), se espera que la demanda energética mundial se incremente en más de un tercio de aquí al 2035 y donde China, la India y el Medio Oriente en particular serán responsables de cerca del 60 % del incremento (AIE, 2012a). En general, el 90% del incremento de la demanda procederá de países ajenos a la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) (AIE, 2012a). A nivel mundial, se espera que la demanda de electricidad se incremente aproximadamente en un 70 % de aquí al 2035. La práctica totalidad de este incremento tendrá lugar en países fuera de la OCDE y China y la India representarán más de la mitad del incremento.

En el caso ecuatoriano el mejoramiento de la calidad de vida por la implementación de obras de infraestructura pública y el aumento de la clase media mediante políticas económicas ha mejorado el poder adquisitivo de familias conformadas por parejas jóvenes. Estas familias han destinado parte de sus ingresos a la compra de una vivienda propia, demanda que se transformó en una oferta inmobiliaria por parte de entidades privadas.

La conurbación del Gran Guayaquil está conformada por varios cantones, siendo los más importantes Durán, Samborondón y Daule, en los cuales se han desarrollado desde hace varios años procesos urbanos de crecimiento horizontal, específicamente en forma de ciudadela cerrada que tiene hasta la actualidad una amplia demanda en el mercado inmobiliario.

De acuerdo al Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial del Municipio del Cantón Daule, la parroquia satélite de la Aurora creada mediante ordenanza municipal el 24 de agosto del 2001 contabiliza 25 urbanizaciones, las más importantes por su extensión territorial y número de habitantes son: Villa Club, La Joya y Villa del Rey, con una población aproximada de 148.000 habitantes⁶⁷. Desde la creación de la parroquia se han construido miles de viviendas de acuerdo a normativas internas de cada urbanización en cuestión de temas urbanísticos y de construcción. Sin embargo, no se han considerado aspectos bioclimáticos en los diseños arquitectónicos que favorezcan los índices de confort térmico en el interior de las viviendas.

En el año 2009, la norma INEN emitió la norma NTE INEN 2506 “Eficiencia Energética en Edificaciones. Requisitos”; por su carácter voluntario la normativa no fue implementada en el sector de la construcción. En el año 2018 el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda emitió la norma NEC-HS-EE: Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales en la que se definen las características constructivas de la envolvente de acuerdo a las zonificaciones

67 Para estimar esta cantidad se consideraron sólo tres urbanizaciones: Villa Club, La Joya y Villa del Rey, por su extensión territorial y cantidad de viviendas entregadas. Actualmente continúan en proceso de planificación y construcción. En la página de internet de cada urbanización se presenta la cantidad de viviendas y habitantes: Villa Club 80.000 hab.-La Joya 41.035 hab. y Villa del Rey 26.830 hab. El total de viviendas entregadas urbanización la Joya 8.207 unidades, Villa de Rey 5.366 unidades. Para el caso de Villa Club no se encontró la cantidad de viviendas entregadas, para lo cual se realizó un cálculo aproximado con el dato de los residentes disponible en la web, 80.000 residentes dividido para 5 personas, resultando un valor de 16.000 viviendas. Total, viviendas de las 3 urbanizaciones: 29.573 viviendas.

Disponible en internet <<https://www.villaclub.ec/nosotros>> < <https://www.lajoya.ec/quienes-somos/> >
< <https://www.villadelrey.ec/quienes-somos/>>

climáticas del territorio ecuatoriano. Las normas NEC son de carácter obligatorio y los municipios tienen la responsabilidad de aplicar la normativa nacional a su respectiva jurisdicción mediante una ordenanza para supervisar su cumplimiento en territorio.

Lamentablemente en la mayoría de municipios de la costa ecuatoriana no existe una ordenanza considerando la norma nacional de Eficiencia Energética y demás criterios bioclimáticos.

2.2 Planteamiento del problema

En el Primer Congreso Internacional y Expo Científica (Investigación Sostenible, Energías Renovables y Eficiencia Energética) del año 2013, el Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables (INER) presentó el trabajo de investigación “Promoción de Eficiencia Energética y Uso de Energía Solar en Vivienda del Ecuador”, de autoría de John Martin Evans y Silvia de Schiller en el cual se realizó un análisis de la demanda de energía en el sector residencial representando el 19% del total global. Esta demanda eléctrica tiene dos rubros importantes: el acondicionamiento térmico y agua caliente de acuerdo a la variación climática del Ecuador. Esta investigación se concentra en el uso de energía solar y su posible utilidad en el calentamiento de agua, ya que los sectores de mayor poder adquisitivo utilizan el 14.5% de GLP para esta finalidad. Los sectores de menor poder adquisitivo utilizan energía eléctrica para el calentamiento de agua a pesar que el GLP tiene subsidio.

Clima cálido-húmedo: Vivienda del sector con limitados recursos económicos	
Existente	Futura
Sin refrigeración artificial	Limitada penetración de equipos Split
Sin instalación de agua caliente	Crecimiento de duchas eléctricas
Limitados electro-domésticos, heladeras, etc.	Crecimiento de cocinas y otras artefactos eléctricas
Clima cálido-húmedo: Vivienda del sector con mayor poder adquisitivo	
Existente	Futura
Con refrigeración artificial, sin saturación	Crecimiento del uso de equipos Split
Con instalación de agua caliente eléctrica	Crecimiento del volumen de agua y saturación
Mayor tenencia de electro-domésticos	Crecimiento del número de electro-domésticos
Clima de sierra, templado a templado frío: Vivienda del sector con limitados recursos económicos	
Existente	Futura
Sin acondicionamiento térmico (calefacción)	Posible necesidad y crecimiento en zonas altas
Limitada saturación de calentadores de agua	Crecimiento de demanda de duchas eléctricas
Electro-domésticos: heladeras, TV, etc.	Crecimiento del número de artefactos y potencia
Clima de sierra, templado a templado frío: Vivienda del sector con mayor poder adquisitivo	
Existente	Futura
Muy limitada demanda de calefacción o refrigeración	Posible aumento por tendencias constructivas y vidrio
Importante demanda para agua caliente	Crecimiento en demanda, artefactos y expectativas
Electro-domésticos: importante demanda	Crecimiento en número de artefactos y potencia

Tabla 16. Evaluación cualitativa de tendencias de demanda en el sector vivienda en Ecuador
Fuente: Promoción de Eficiencia Energética y Uso de Energía Solar en Vivienda del Ecuador, J.M. Evans, S. Schiller, 2013

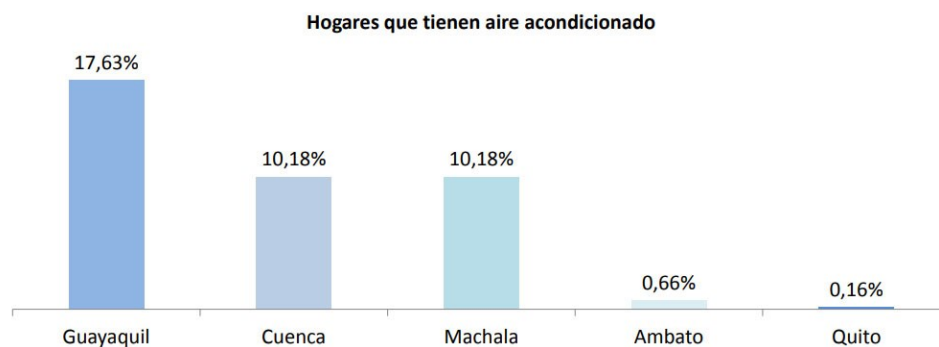
En la **Tabla 16** se expone una evaluación cualitativa de la demanda de energía clasificándola por poder adquisitivo y por las características climáticas de la zona. Las viviendas del clima cálido-húmedo en sectores con limitados recursos económicos tendrán una limitada adquisición de equipos de aire acondicionado con el aumento en el uso de duchas eléctricas, neveras y otros artefactos eléctricos. Las viviendas con mayor poder adquisitivo aumentarán el uso de equipos tipo Split, calentadores de agua eléctricos y demás electrodomésticos.

Lamentablemente no existe información actualizada del INEC entidad que realiza los censos con diferentes temáticas en el Ecuador, sin embargo, se extrae la gráfica del censo “Información ambiental de los hogares” de diciembre del 2011 con los porcentajes de tenencia de equipos de aire acondicionado en los hogares de dos ciudades de la costa (Guayaquil y Machala) y tres ciudades de la sierra (Cuenca, Ambato y Quito). Guayaquil por su extensión y población es la ciudad con mayor porcentaje de equipos de A/C con el 17.63%.



En el hogar tiene aire acondicionado según dominio

Entre 17,63% y 10,18% hogares de las ciudades de la costa como Guayaquil y Machala tienen aire acondicionado.



Según la World Woldlife Found (WWF):

Un aparato de aire acondicionado antiguo tipo ventana prendido en promedio 5 horas al día genera 0.18 tCO₂ al año
 Un aparato de aire acondicionado nuevo tipo ventana prendido en promedio 5 horas al día genera 0.14 tCO₂ al año

Fuente: INEC - Encuesta Nacional de Empleo, Desempleo y Subempleo – ENEMDU – Diciembre 2011

Figura 29. Hogares que tienen aire acondicionado

Fuente: INEC, 2011

Para reforzar las posibles causas de las conclusiones del trabajo de Evans y Schiller, a continuación, se presentan algunas investigaciones desde el 2015 hasta el 2022 sobre análisis de confort térmico de viviendas en dos provincias de la costa ecuatoriana, Guayas y Manabí. Cabe indicar que este tipo de estudios son relativamente nuevos y escasos, enfocándose primordialmente en la vivienda social.

De acuerdo a la bibliografía analizada se toma como referencia la tesis de maestría del Arq. Boris Forero “Mejoramiento de las condiciones térmicas de las viviendas del complejo habitacional Socio Vivienda II Etapa I de la ciudad de Guayaquil, Ecuador”. El plan habitacional construido en el gobierno de Rafael Correa⁶⁸ está conformado por 2.273 viviendas unifamiliares en un área de 44 hectáreas ubicadas en el sector Nueva Prosperina, parroquia Tarqui en el km 26 de la vía perimetral. En las unidades habitacionales se utilizó el sistema constructivo “Forza” compuesto por muros portantes de hormigón con una cubierta de teja de acero prepintado de color rojo con una pendiente mínima de 11 y 7 grados, condición que aumenta su exposición a la radiación. Se realizó el monitoreo térmico de tres viviendas de la urbanización con los siguientes resultados.

Vivienda 1: registró una temperatura máxima de 38,3°C y una mínima de 25,1 °C; humedades relativas estuvieron entre el 80% y el 46%.

Vivienda 2: la temperatura interna registró una máxima de 39,4°C y mínima de 25,5°C; La humedad relativa osciló entre el 79% y 41%.

Vivienda 3: La temperatura interna máxima registrada fue de 39.6°C y una mínima de 24.8 °C, las humedades relativas estuvieron entre el 80% y el 42%.

En otra investigación se analizó la funcionalidad de las viviendas del Recreo en el cantón Durán, (Alcívar, Morales y Forero, 2018), en la cual se realizó una encuesta sobre el confort higrotérmico; el 48% de los usuarios indicaron que las viviendas son calurosas, y el 96% de las familias consideran que el nivel de humedad es elevado dentro de las viviendas. La altura

68 “El proyecto Socio Vivienda se ha convertido en una zona conflictiva, una de las más peligrosas en la periferia de Guayaquil”
Disponibile en internet < <https://www.planv.com.ec/historias/cronica/socio-vivienda-o-la-mala-herencia-correa-miles-familias-pobres>>

de piso a techo es de 2,40, e incluso menos cuando tienen instalado el cielo raso. En este trabajo no se realizaron mediciones de temperaturas y demás variables.

En el año 2021 el Instituto de investigación Geológico y Energético (Godoy, Vallejo y Martínez, 2021) realizaron una investigación en el Complejo Habitacional de Socio Vivienda en Guayaquil sobre el confort térmico utilizando el método del Voto Medio Previsto (PMV) y se realizaron simulaciones energéticas con Phase Change Materials (PCMs) para climas cálidos y húmedos. Se utilizó una metodología mediante el análisis de los consumos de electricidad para la caracterización de 3 tipos de viviendas, el aumento de la demanda de energía eléctrica de acuerdo a las condiciones climáticas y se analizaron los consumos de electricidad desde el 2013 al 2018. Se observó en cada año una tendencia creciente en el consumo de energía y el valor más alto se registró en el 2016; de acuerdo a las condiciones climáticas fue el año más caluroso y ocurrió el terremoto de Manabí y Esmeraldas. Este acontecimiento pudo provocar el aumento de la demanda de energía eléctrica. Desde el 2013 se registró un aumento en la correlación entre el consumo de energía y la temperatura con el aumento de las instalaciones de equipos de A/C por las condiciones desfavorables de confort. Los autores de la investigación proponen la utilización de materiales de cambio de fase para el mejoramiento del confort térmico ya que el aumento del consumo eléctrico y su correlación con el precio final a pagar puede afectar en la economía de este sector popular de bajo poder adquisitivo.

En otro trabajo reciente se realizó un análisis de confort térmico de siete viviendas en varias ciudadelas privadas ubicadas en la ciudad de Portoviejo, provincia de Manabí. (Toala, Cobeña y Vinuesa 2022). Este tipo de proyectos están dirigidos para usuarios de clase media; en la investigación se realizaron encuestas de confort y mediciones de las viviendas. A continuación, algunas de las conclusiones más relevantes:

- Menos de la mitad de las viviendas analizadas registraron temperaturas de confort térmico. Las unidades más confortables tienen una mejor orientación, y aprovechamiento de los vientos dominantes.
- Falta de aislación térmica.

- Se determinaron los valores de HR para la ciudad de Portoviejo, en época lluviosa oscila entre el 65% y el 80%.
- Presencia de hongos en las paredes, producto de la humedad que concede el contrapiso hacia las columnas en época lluviosa por el aumento del nivel freático. Se recomienda implementar aislación hidrófuga en la cimentación para evitar este tipo de patología.

De acuerdo a la bibliografía analizada las investigaciones realizadas en Guayaquil y en su conurbano se han enfocado en vivienda social, mientras que en Portoviejo se ha realizado una investigación reciente en el año 2022 sobre el confort térmico de viviendas de clase media en varias urbanizaciones cerradas. Sin embargo, las investigaciones realizadas sobre confort térmico en climas cálidos húmedo en el Ecuador aún son escasas y relativamente nuevas, de tal manera que esa falta de estudios y datos influyó en la elección del tema de tesis para el analizar el confort térmico de una vivienda de clase media⁶⁹ en el conurbano de Guayaquil. Se realizó una búsqueda exhaustiva por internet y consultas con investigadores locales sobre la existencia de algún estudio de confort sobre este tipo de viviendas, la respuesta fue negativa hasta la fecha (marzo 2022).

La unidad habitacional que representa el caso de estudio tiene un alto nivel de representación en tipología, distribución y materialidad de la vivienda de clase media de uno de los sectores con mayor crecimiento inmobiliario en el conurbano de Guayaquil.

69 De acuerdo al censo del INEC 2011, se implementaron 5 grupos socio económicos (A, B, C+, C-, D), los cuales son el resultado de la sumatoria de puntos de la encuesta que toma como principales variables, nivel de educación, características de la vivienda, acceso a servicios de salud, internet, la tenencia de ciertos electrodomésticos, posesión de vehículos y hábitos de consumo. En la encuesta no se consideró implementar información económica de las familias, razón por la cual la revista especializada en temas económicos Ekos Negocios (mayo 2012), analizó los resultados del censo unificando los estratos C+ y B (34% de la población) que conformarían la clase media, llegando a la siguiente conclusión: “De lo observado en la encuesta se puede asegurar que el 37% de la clase que bautizamos como media, tiene un ingreso mensual que va entre los USD 700 y USD 1.500. El ingreso de esta clase es fijo, ya que se conoce que al menos el 81% de este grupo tiene un empleo estable”.

Objetivo General

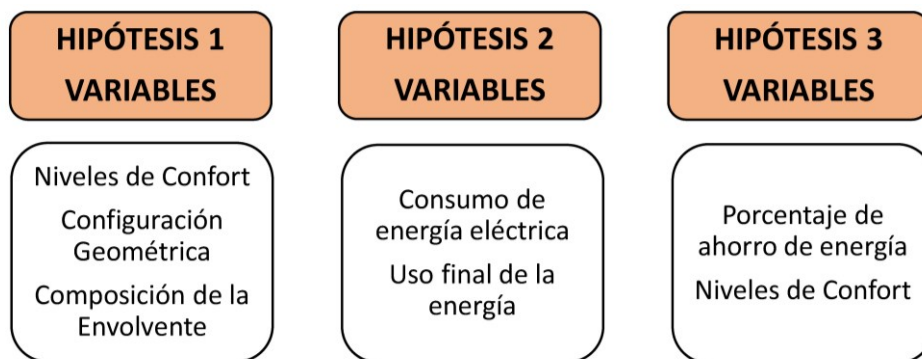
Analizar el confort térmico de una vivienda de clase media ubicada en el conurbano del Gran Guayaquil y establecer propuestas para su rehabilitación energética.

Objetivos Específicos

1. Evaluar las condiciones de confort térmico y el comportamiento energético de la vivienda.
2. Realizar propuestas de mejoramiento de la envolvente térmica.
3. Estudiar el costo de intervención en la envolvente de la vivienda y su período de amortización.

Hipótesis

1. Las viviendas comercializadas de los planes habitacionales del conurbano de Guayaquil no cumplen con los niveles de confort higrotérmico.
2. El sector residencial destina un porcentaje importante de la energía consumida al acondicionamiento térmico interior.
3. La rehabilitación energética con la tecnología disponible en la región permitiría mejorar las condiciones ambientales interiores y reducir el consumo de energía.

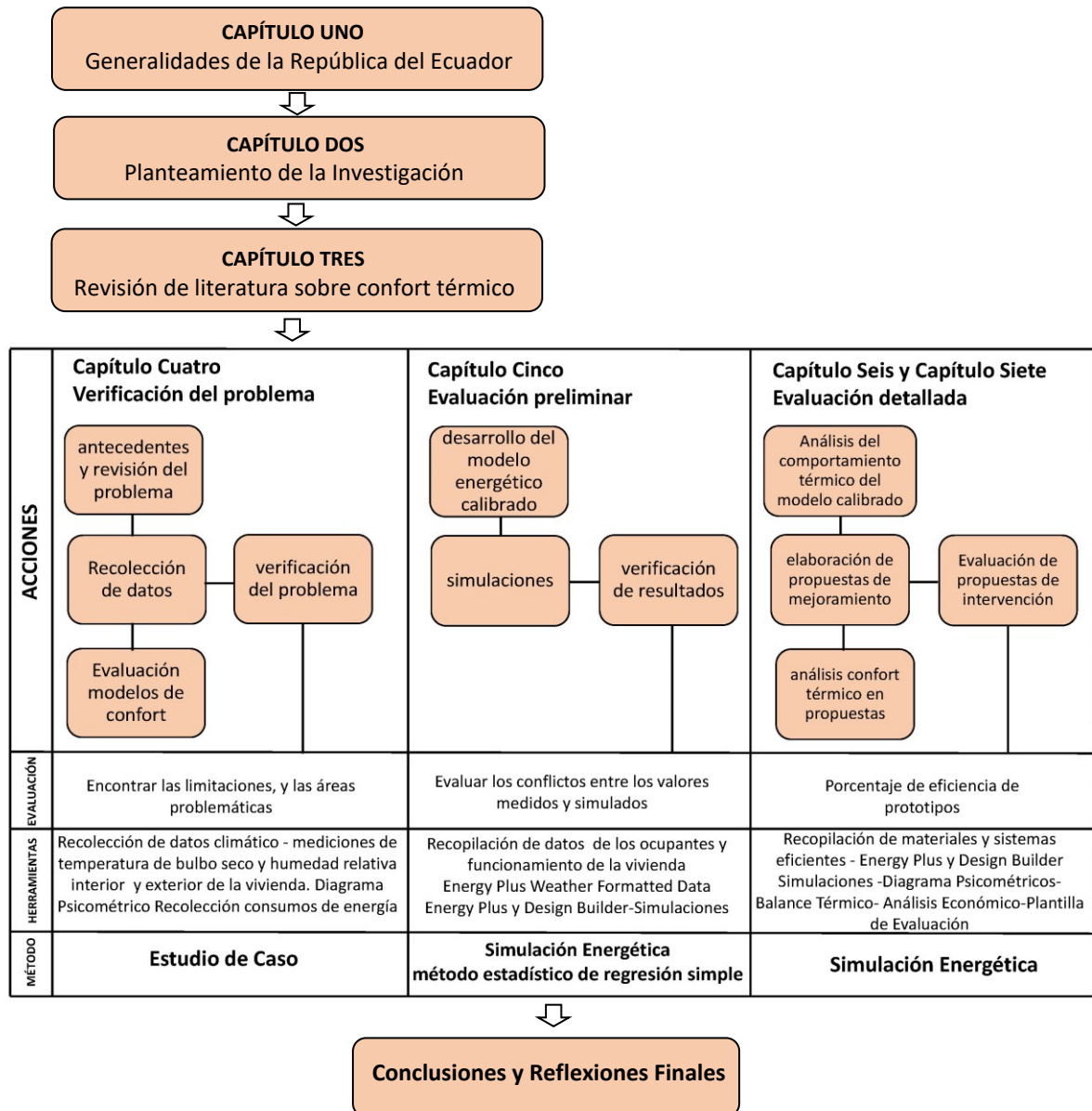


Esquema 2. Hipótesis y Variables
Elaboración Propia

Metodología

La metodología tiene un enfoque cuantitativo ya que se utilizarán datos numéricos que deberán ser recopilados y analizados con distintas herramientas y métodos de acuerdo al

Esquema 3.



Esquema 3. Esquema metodológico ⁷⁰

70 Para la elaboración del esquema metodológico se tomó como referencia el siguiente trabajo: Rodríguez, C.M.; Medina, J.M.; Pinzón, A.; García, A. (2019). A post-occupancy strategy to improve thermal comfort in social housing in a tropical highland climate: A case study in Bogotá, Colombia.

A continuación, se detallan los procesos a utilizar en esta tesis:

- El Análisis del clima de Guayaquil, considerando los datos proporcionados por el INAHMI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología) en un período mínimo de diez años y las recomendaciones de diseño en base de los diagramas bioclimáticos. De acuerdo a los resultados del análisis climático se definirá la zona de confort, mediante la utilización de la metodología de confort adaptativo del Estándar 55 de ASHRAE.
- El Monitoreo en condiciones reales de uso y la Auditoría Energética del caso de estudio se lo efectuará en el período húmedo (temporada lluviosa) en el cual se presentan las temperaturas más altas que inciden en el confort térmico de los usuarios. Se realizará con los adquisidores de datos, tipo HOBO, ubicados estratégicamente en cada área funcional de la vivienda que estarán protegidos para evitar la incidencia del posible ingreso de la radiación solar y/o de las cargas energéticas por el uso propio de la vivienda.
- La definición del modelo termo-físico para estudiar energéticamente el caso de estudio se realizaría a partir de la calibración de datos medidos y simulados con el software Design Builder. La obtención del modelo físico a partir de la simulación con datos reales permitirá aumentar la confiabilidad de los resultados obtenidos en nuevas simulaciones.
- A partir del modelo físico, se estudiarán y simularán las propuestas de mejoramiento energético. Este punto deberá estudiarse en acuerdo con las recomendaciones de diseño para ingresar a la zona de confort obtenidas en los bioclimogramas para la región en estudio.
- Estudio de las facturas eléctricas del caso de estudio.

3 CAPÍTULO TRES - MARCO TEÓRICO

3.1 Confort térmico- justificación

La elección del marco teórico para esta tesis se enfocó en el estudio de las diferentes metodologías para el análisis del confort térmico especialmente los estudios en las zonas ecuatoriales y confort adaptativo. Se realizó un resumen de las primeras teorías que se expusieron en Europa, EEUU, Australia, Asia y Sudamérica. El estudio de las teorías sobre el metabolismo de las personas, las expectativas, las preferencias y el aspecto psicológico nos permite aterrizar estos conceptos hacia el caso de estudio, del porqué los usuarios utilizan los equipos de aire acondicionado aún en situaciones en que no sería necesario.

El grado de aceptación o demanda para la compra de una vivienda que no es confortable desde el punto de vista térmico, es una costumbre local que se ha normalizado por el deseo de una vivienda propia, o por el desconocimiento de la población en temas de eficiencia energética o normativas.

Algo importante para destacar es que la norma NEC de Eficiencia Energética del Ecuador no establece valores referenciales de la carga térmica de una vivienda, no existe una metodología para confirmar el ahorro de energía por el uso de climatización mecánica, como en Argentina con la Norma IRAM 11659-2, ahorro de energía en refrigeración.

Finalmente, para la autora fue necesario realizar esta revisión bibliográfica, para la obtención de un criterio para poder abordar los análisis de las mediciones de la vivienda, las actividades de los usuarios, sus comportamientos, preferencias y mejoramiento de la envolvente para proponer una metodología de análisis y mejoramiento desde el punto de vista del confort térmico.

Antecedentes

A principios del siglo XIX Heberden reconoció que la temperatura del aire no era el único factor incidente en la sensación térmica. En Inglaterra en el año de 1905 Haldane realizó el primer estudio serio sobre el efecto de la humedad con altas temperaturas que contribuye en la generación de un ambiente no confortable. A principios de 1920 empezaron varios estudios, en 1923 los laboratorios de American Society of Heating and Ventilation Engineers

(ASHVE) intentaron definir la “zona de confort”, y en Inglaterra la prioridad fue establecer los límites de las condiciones ambientales para el trabajo (A. Auliciems-S. Szokolay 2007).

Durante y después de la Segunda Guerra Mundial la actividad investigativa de las ingenierías se incrementó a la vez que se involucraron otras disciplinas como la fisiología⁷¹, la medicina, la geografía y climatología. Se realizaron estudios a nivel fisiológico del cuerpo humano, en el cual se afirma que éste produce calor, denominado “calor metabólico” en el cual intervienen dos factores⁷²:

- El metabolismo basal producido por procesos biológicos los cuales son continuos y no conscientes.
- El metabolismo muscular, que se produce mientras se realiza una determinada actividad o trabajo.

El calor producido naturalmente por el cuerpo presenta un intercambio con el medio circundante mediante los procesos de radiación, conducción, convección y evaporación.

calor ganado por el cuerpo		calor cedido por el cuerpo	
Calor producido por:	Proceso basal	Radiación al exterior	Al firmamento
	Actividad		Al medio circundante más frío
	Procesos digestivos		
	Tensión muscular y el tiritar de frío		
Absorción de la energía radiante	Directamente del sol y reflejada	Conducción de calor fuera del cuerpo	Al aire con temperatura más baja que de la piel (activada por la convección del movimiento del aire)
	De radiadores intensos		Por contacto por objetos más fríos
	De objetos calientes no intensos		
Conducción de calor hacia el cuerpo	Del aire a mayor temperatura que la de piel	Evaporación	Del tubo respiratorio
	Por contacto con objetos más calientes		De la piel
	Condensación de humedad atmosférica, (ocasional)		

Tabla 17. Intercambio de calor entre el ser humano y los alrededores.

Elaboración propia. Fuente: Olgyay, V, Clima y Arquitectura en Colombia, Cali, Universidad del Valle, 1968,

71 La fisiología es la ciencia que estudia las funciones de los seres vivos, está estrechamente relacionada con la anatomía que estudia su estructura y su forma.

72 Auliciems A. y Szokolay V. (2007) “Thermal Confort”, pp 5-6 . versión electrónica

Figura 30. Intercambio de calor entre el hombre y alrededores.

Fuente: Olgyay, V, Clima y Arquitectura en Colombia, Cali, Universidad del Valle, 1968, pág.27



En la **Tabla 17** y en la **Figura 30** se exponen los distintos medios en los cuales el cuerpo humano recepta calor, produciéndolo internamente, mediante la absorción de la energía radiante emitida por la radiación solar, por aparatos de calefacción u otros objetos calientes, por la conducción de calor hacia el cuerpo cuando la temperatura del aire es mayor a la temperatura de la piel, y por el contacto con objetos más calientes. En el sentido contrario, el cuerpo humano cede su calor mediante la radiación hacia el exterior mediante la diferencia de temperaturas, al

medio circundante más frío; por convección al aire cuando la temperatura es más baja que de la piel por el contacto con objetos más fríos y por evaporación mediante el tubo respiratorio y la piel. Una vez presentados los distintos elementos que intervienen en la generación y entrega de calor del cuerpo humano al medio en el cual desarrolla sus actividades cotidianas, en la **Tabla 18** se presenta los factores que intervienen en un ambiente de confort, desde el ámbito ambiental, del cuerpo humano y demás factores influyentes.

Ambiental	Cuerpo Humano	Otros Factores
Temperatura del aire	Tasa metabólica (actividad)	comida y bebida
Movimiento del aire	vestimenta	aclimatación
Humedad		forma del cuerpo
Radiación		grasa subcutánea
		edad y género
		Estado de salud

Tabla 18. Factores de confort.

Elaboración propia. Fuente: A, Auliciems, V, Szokolay, Thermal Confort, 2007

En la **Tabla 19**, se adjunta nueva información sobre los factores de confort al cual se le ha agregado una nueva categoría que corresponde al sitio en cual desarrolla el usuario sus actividades denominada “Parámetros Arquitectónicos y de Adaptabilidad del Espacio” con las cuales se provee a sus ocupantes la posibilidad de variar e influenciar las condiciones de los espacios interiores mediante la libre modificación según su conveniencia de elementos arquitectónicos o sistemas de climatización. Por los múltiples factores que intervienen en el estado de confort ambiental es necesario incorporar mecanismos que puedan ser modificados por los ocupantes permitiéndoles ajustar el clima interior según sus requerimientos o gustos personales.

Entre los factores personales se adjunta nuevas variables tales como: el tiempo de permanencia, las expectativas de confort y contactos visual con el exterior.⁷³

Factores Ambientales Exteriores	Parámetros Ambientales Interiores	Factores Personales		Parámetros Arquitectónicos (Adaptabilidad del Espacio)
Temperatura del aire	Fisiológicos y Contributivos	Sexo, Edad, Peso, Tasa de metabolismo basal, Estado de salud, Intercambio de calor por ingestión, Historial térmico aclimatación, Tiempo de permanencia ⁷⁴ , Variabilidad temporal y espacial	Movilidad del ocupante dentro del espacio	
Temperatura radiante				
Humedad relativa				
Velocidad del aire	Socioculturales y Psicológicos	Tipo de vestimenta, Expectativas de confort Contactos visual con el exterior	Modificación de elementos y dispositivos de control ambiental	

Tabla 19. Factores de confort Fuente: MAyHS-Clima y Confort
Fuente: Dr. Arq. Alejandro Mesa

73 Al tener contacto visual con el exterior, se logra una tolerancia mayor a la incomodidad generada por frío o calor.

74 “Tiempo de permanencia: El organismo expuesto a condiciones de calor o frío debe de realizar una labor para disipar calor o evitar la pérdida del mismo. Esta acción no puede ser realizada en forma indefinida, teniendo para cada combinación un tiempo límite, el cual se lo denomina Estrés térmico” Fuente: MAyHS - Clima y Confort- Dr. Arq. Alejandro Mesa.

Mediante el análisis de la **Tabla 18** y **Tabla 19** se observa una evolución en los factores que inciden en el confort térmico, incorporando nuevas variables como los aspectos socioculturales, psicológicos que particularmente afectan al ser humano y los aspectos formales del diseño arquitectónico que afectan el espacio construido y su percepción.

3.2 Definiendo la zona de confort térmico

La influencia del clima tiene una relación directa con la salud y energía del hombre, de acuerdo a las condiciones atmosféricas se estimula o disminuye las actividades o el esfuerzo mental debido a la energía cedida por el cuerpo humano para su adaptación biológica a las características climáticas. La salud del hombre y su energía es afectada por las características del medio ambiente, dependiendo de las características atmosféricas, en ciertos días vigorizan y estimulan, y en otros disminuyen o deprimen los esfuerzos físicos y mentales. Existen condiciones ambientales que fomentan “la productividad, la salud y la energía mental y física alcanzan su máxima eficiencia” (Filippín 2005).

Existen varios factores que influyen en la sensación de confort, pero es posible determinar condiciones de temperatura y humedad satisfactoria para un mayor porcentaje de la población (Evans, Shiller 1994).

Algunos estudios se han realizado con la finalidad de definir las condiciones óptimas de confort, algunos autores consideraron como base el punto medio dentro de los rangos máximos entre los cuales el hombre puede sobrevivir. La Zona de Confort Térmico es aquella en la cual una persona, dependiendo de la actividad que esté realizando, no presenta esfuerzo en su sistema de termorregulación para adaptarse al medio en el que se encuentra (Mesa, Arboit, de Rosa 2009). El comportamiento humano se pone a prueba antes las variaciones térmicas de un determinado ambiente para lo cual se ha definido índices que “expresan las relaciones existentes con la utilización de valores numéricos más representativos de los fenómenos”⁷⁵. Estos valores son la base para establecer las zonas de confort térmico cuyos límites se delimitan sobre cartas y diagramas, indicando cuáles son los parámetros físicos que constituye la zona de confort. La temperatura ideal o zona de

⁷⁵ N.A.Mesa, M. Arboit, C. de Rosa “Modelos de cálculo de los rangos de confort térmico. Verificación de su aplicabilidad y la incidencia de las variables determinantes”.

confort depende de diversos factores, cuyo rango oscila entre 18°C a 28 °C, dependiendo de la latitud geográfica, ya que “una persona sedentaria, situada entre los trópicos, se consideran parámetros de confort entre los 22 y 28 °C, y del 30 al 70 % de HR. En los EEUU esto varía a 14 y 23°C, ya que se ubica en latitudes por arriba de los trópicos.”⁷⁶

Víctor Olgyay en 1968 fue el primero en unificar los principales descubrimientos de las distintas disciplinas interpretándolas y adaptándolas en un lenguaje arquitectónico. Procedió a delinear la zona de confort, estableciendo el rango de las condiciones ambientales en la cual una persona promedio se sentiría cómoda, “La zona de confort no tiene límites precisos, pues la zona de neutralidad térmica que se encuentra dentro del confort, con el mínimo de esfuerzos, varía y de allí fácilmente se pasa a una situación de incomodidad. Por lo tanto, los perímetros del confort se basan en suposiciones más o menos arbitrarias”.⁷⁷ En la **Figura 34** se presenta el Gráfico Bioclimático de Olgyay, tabla que se hizo popular entre arquitectos. En el eje vertical se grafica la temperatura de bulbo seco y en el horizontal la humedad relativa. La zona con forma aerodinámica en el centro de este gráfico es la zona de confort para el verano, la cual está dividida en sub zonas ideales con la zona de confort en invierno en la parte baja del gráfico.

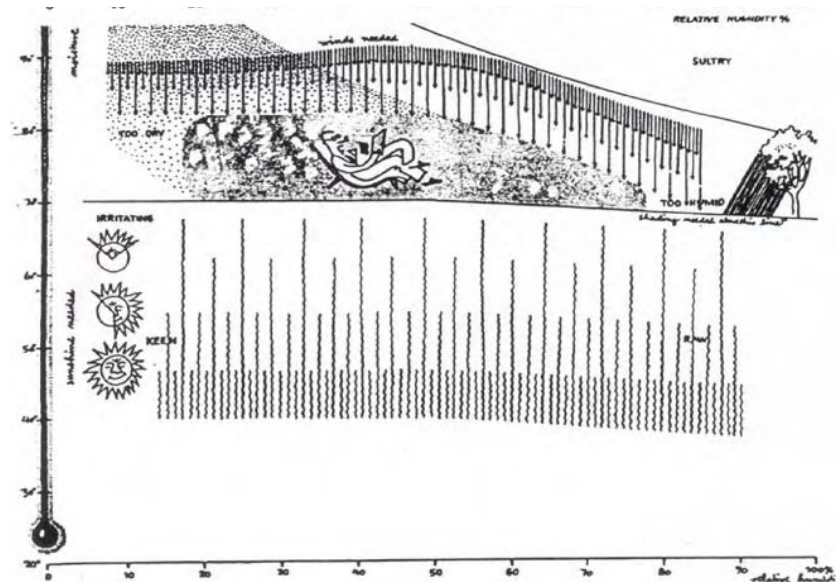


Figura 34. Gráfico Bioclimático esquemático

Fuente: Olgyay, V, *Clima y Arquitectura en Colombia, Cali*, Universidad del Valle, 1968, pág. 32

76 N.A.Mesa, M. Arboit, C. de Rosa “Modelos de cálculo de los rangos de confort térmico. Verificación de su aplicabilidad y la incidencia de las variables determinantes”.

77 *Clima y Arquitectura en Colombia*. V. Olgyay, 1968. Universidad del Valle, Facultad de Arquitectura

Se puede trazar cualquier característica climática con la temperatura de bulbo seco y la humedad relativa para verificar las condiciones de confort y en caso de lo contrario tomar las acciones correctivas (Olgay 1968). Según sea el caso las acciones correctivas que corresponden a estrategias pasivas pueden ser las siguientes: Aumento de la radiación incidente ante bajas temperaturas, aumento de la velocidad del viento en temperaturas y alta humedad relativa y humificación en climas con temperaturas altas y humedad baja.

En 1969 el arquitecto israelí Baruch Givoni investigó la relación que existe entre la temperatura y la humedad relativa, para lo cual implementa el diagrama psicrométrico, (**Figura 35**) en la cual se muestra las zonas de confort higrotérmico para las estaciones con climas más extremos, en verano y en invierno. Su innovación es mostrar las estrategias o medidas de diseño que se deben de aplicar para mantener el confort térmico del interior del edificio analizado (Czajkowski-Gómez 2004).

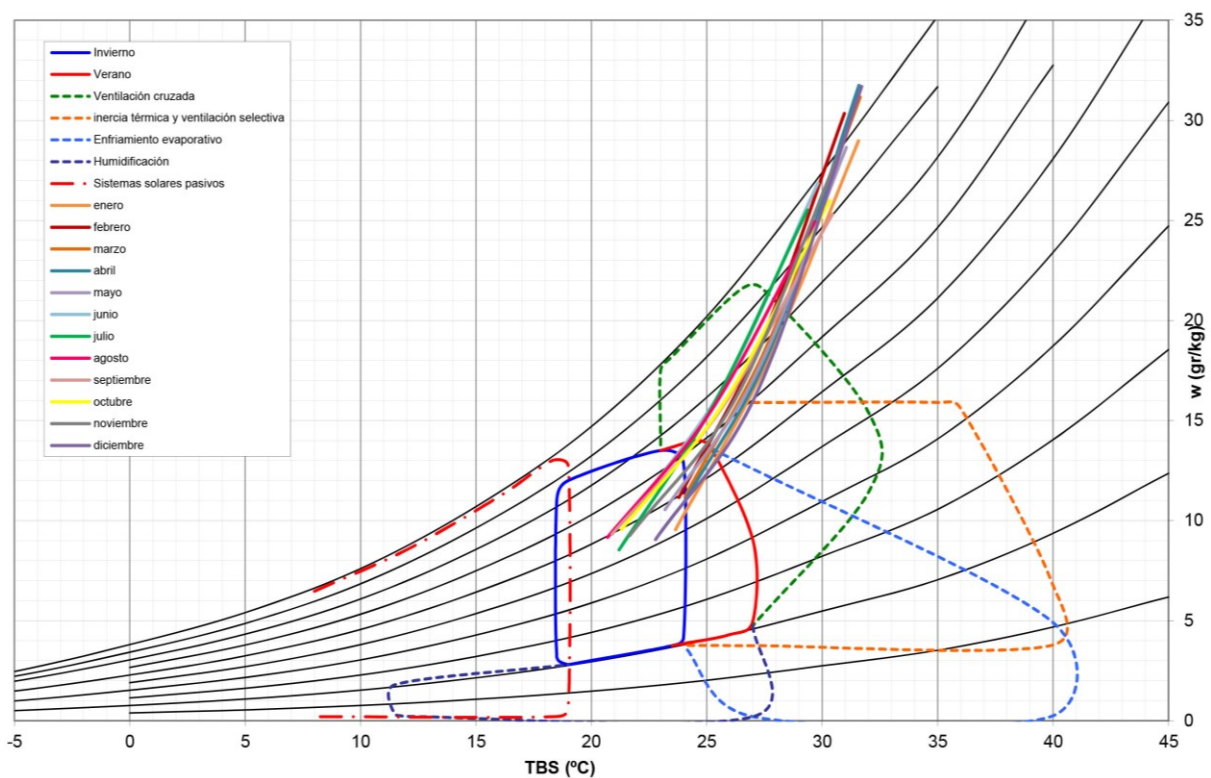


Figura 35. Diagrama psicrométrico de Baruch Givoni
Software: PsicMouseion versión 1.3 -autores J. Czajkowski, A. Gómez, 2007

El diagrama psicrométrico de Givoni, **Figura 35** , al igual que el gráfico bioclimático de Olgay se proponen alternativas (algunas coinciden con las del primer autor), que se muestran a continuación:

- **Ventilación cruzada y ventilación selectiva:** Estrategia recomendada en climas con altas temperaturas con altos porcentajes de humedad relativa. Su efecto doble sobre el confort térmico por la activación de los intercambios por convección y el mejoramiento del proceso de transpiración del cuerpo. La ventilación cruzada produce la disminución de temperatura equivalente a 2°C. Este efecto de refrescamiento no resulta efectivo cuando la humedad relativa es baja ya que puede producir desecación cutánea generando molestias, en estos casos cuando debemos apelar a la ventilación selectiva (Czajkowski-Gómez 2004).
- **Inercia térmica:** Para climas con altas temperaturas, baja humedad relativa y gran amplitud térmica, la inercia térmica favorece la dotación al interior de temperaturas elevadas en horas de la noche, por el almacenamiento de calor durante el día y su posterior devolución en el interior al disminuir la temperatura exterior.
- **Calefacción por sistemas convencionales o por sistemas solares pasivos:** Utilizados para alcanzar la temperatura de confort en el invierno. Los sistemas de climatización convencionales o activos son los que emplean sistemas auxiliares mecánicos para la captación y transportación de calor, mientras que los sistemas pasivos utilizan medios naturales para transportar los flujos térmicos como la radiación, conducción y la convección natural.
- **Enfriamiento evaporativo-humificación:** Estrategia recomendada para disminuir las altas temperaturas en climas con un bajo porcentaje de humedad relativa.

Los métodos de Olgyay y Givoni son los más conocidos dentro del ámbito arquitectónico, pero existen distintos autores e investigadores que fueron aportando en el transcurso de los años diferentes estudios con lineamientos para establecer los límites de la comodidad o confort térmico de acuerdo a la capacidad de adaptación del ser humano en varios climas determinando un rango de temperatura y humedad, (**Tabla 20**).

No.	Año (s)	Autor (es)	Límites de la temperatura del aire para lograr la comodidad térmica	Estudio	Observaciones tipo de clima
1	–	C.E Brooks	23.3°C a 29.4°C 30-70 % de HR	–	Trópicos
2	1925	C.P. Yaglou y Millar	18.8°C a 23°C 30 a 70% de HR	Temperatura Efectiva Corregida	EE.UU. Verano (T.E)
3	1963	Victor Olgyay	23.9°C a 29.5°C 20-75 % de HR	Cartas Psicométricas	Trópicos
4	1973	Carl Mahoney	Para lugares con temperatura media anual mayor 20°C, diferente para día y noche, para el primer caso y para baja humedad < 30% HR es de 26°C a 33°C y para HR >70% es de 22°C a 27°C	Tabla de Mahoney	Prácticamente es para todo tipo de climas
5	1974	Koenigsberger y otros	22°C a 27°C 30-70 % de HR	Temperatura Efectiva (T.E)	Trópicos (T.E)
6	1976	Baruch Givoni	21°C a 26°C 5-17 mm Hg	Carta Bioclimática	Bienestar óptimo límite máximo permisible
7	1977	American Society of heating, Refrigerating Engineers Inc., ASHRAE	20.55°C a 24.44 °C (invierno) 23.33°C a 27.22 °C (verano)	Nueva Temperatura Efectiva (ET)	Bienestar óptimo
8	1993	Auliciems Andris	$T_n = 17.6 + 0.31 T_m$ donde el intervalo se encuentra 2.5°C arriba y por debajo de la T_n	Ecuación para conocer la Neutralidad Térmica	No especifica climas
9	2000	John Martín Evans, Argentina	18°C a 28°C, considera variaciones de este intervalo debido a la oscilación térmica (de hasta 8°C) de cada lugar específico.	Triángulos de Confort	Es para varios tipos de climas donde la oscilación térmica hace que se ubique en un intervalo térmico diferente

Tabla 20. Clasificación de los modelos formales que abordan el tema de confort higrotérmico
Fuente: ANES 2005 J. Raymundo-citado por M.-M. Arauz 2010, modificado por orden cronológico

Para alcanzar un estado de confort térmico es necesario utilizar energía convencional mediante estrategias pasivas de climatización o una combinación de las mismas para llegar un equilibrio que se traduce en eficiencia energética. Los estudios de confort térmico se basan en la investigación de estas variables mediante mediciones realizadas en edificios o cámaras climáticas traduciéndolas en modelos matemáticos.

La ecuación de confort de Fanger

+ 3	Hot
+ 2	Warm
+ 1	Slightly warm
0	Neutral
- 1	Slightly cool
-2	Cool
- 3	Cold

Tabla 21. Escala termal ISO7730

La ecuación de confort de Fanger⁷⁸ (1970) es probablemente el análisis más meticuloso y detallado de la relación térmica humana con su entorno próximo. Su índice analítico el PMV (voto medio previsto) con el formulario PPD (porcentaje predicho insatisfecho), cuya base se incorporó a la norma ISO 7730. El PMV es un índice que predice el valor medio de los votos de un grupo grande personas de acuerdo a escalas de sensación térmica (**Tabla 23**). Se basa en el balance de calor del cuerpo humano cuyo equilibrio térmico se presenta cuando la producción de calor interno en el cuerpo es igual a la pérdida de calor en el medio ambiente, cuando el clima es moderado el sistema termorregulador humano intentará de inmediato modificar la temperatura de la piel y la secreción de sudor para mantener el equilibrio térmico.

El PMV se puede usar para verificar si un entorno térmico determinado cumple con los criterios de comodidad y para establecer los requisitos para diferentes niveles de

78 Este modelo matemático fue desarrollado mediante los resultados de las mediciones de la cámara climática controlada con estudiantes universitarios en fijas condiciones ambientales sujetas a climatización artificial. Fanger declaró que su ecuación de confort y el índice de PMV son válidos para todos los humanos y que las preferencias térmicas de los humanos son las mismas independientemente de ubicación geográfica o clima. (A. Auliciems-V.Szokolay 2007)

aceptabilidad. Al establecer $PMV = 0$ se establece una ecuación que predice combinaciones de actividad, vestimenta y parámetros ambientales que en promedio proporcionarán una sensación térmicamente neutra.

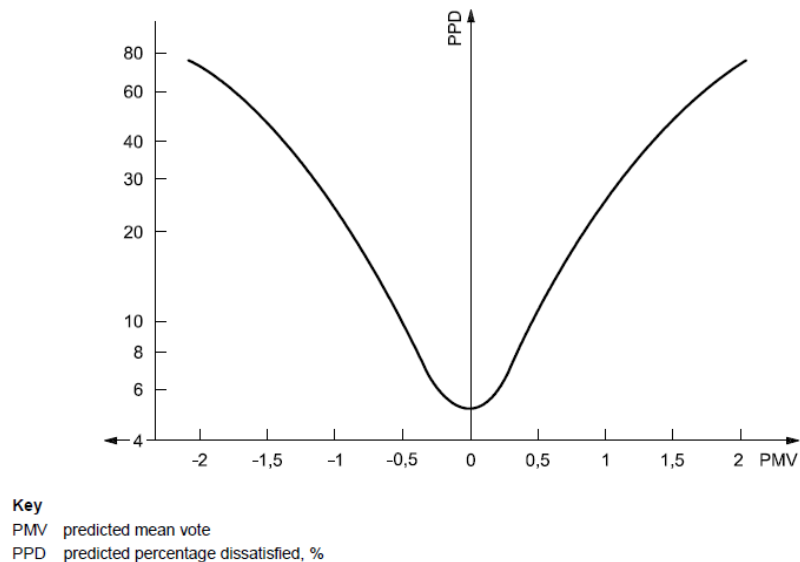


Figura 36. Porcentaje predicho de insatisfacción (Predicted percentage dissatisfied- PPD)

El PMV predice el valor medio de los votos térmicos de un gran grupo de personas expuestas al mismo entorno. Pero los votos individuales están dispersos en torno a este valor medio y es útil poder predecir a la cantidad de personas que se encuentran cómodas o incómodas. El PPD es un índice que establece una predicción cuantitativa del porcentaje de personas insatisfechas térmicamente, las que sienten frío o demasiado calor. A los fines de esta Norma Internacional las personas insatisfechas térmicamente son aquellas que votarán de acuerdo a la escala de sensación térmica de 7 puntos de la **Tabla 21**.

Williamson en 1995 indica que el PMV sobrestima fuertemente la incomodidad con respecto al calor especialmente en climas cálidos y Karyono (1996) también encontró en Indonesia que las personas en ambientes cálidos y húmedos prefieren temperaturas más altas que las predichas por ISO 7730. Humphreys y Nicol (1996) mostraron incoherencias de dicha norma por ser un modelo estático al no considerar los distintos mecanismos que realiza el ser humano para adaptarse a un determinado ambiente térmico.

Auliciems (1969) sugirió que podría existir una relación estadística entre la neutralidad térmica interior y el clima exterior. Humphreys (1978) a partir del razonamiento de

Auliciems encontró evidencia contundente de la adaptación al clima exterior identificando por separado la dependencia estadística de las diferentes temperaturas de neutralidad térmica con el clima exterior en edificios con sistemas de climatización artificial y con ventilación artificial respectivamente.

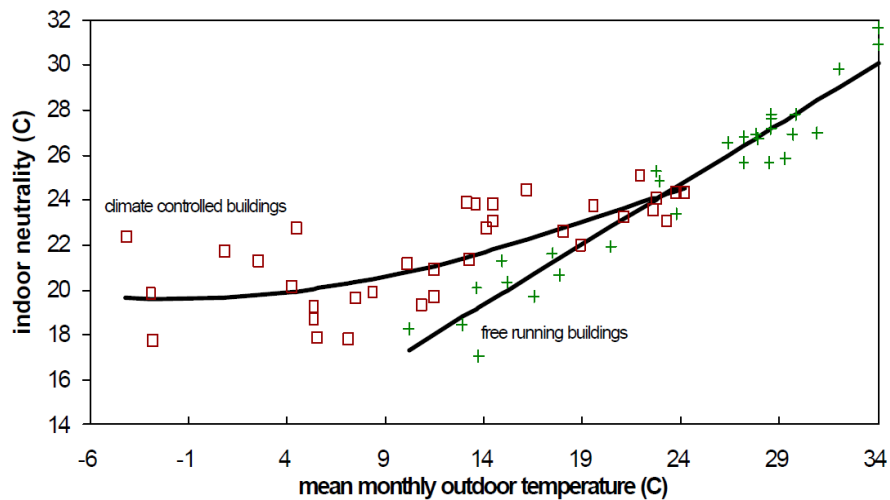


Figura 37. La dependencia estadística de las neutralidades térmicas de espacios interiores con respecto al clima exterior.

Fuente: M.A. Humphreys, *Building Services Engineer* 44 (1976)

En la **Figura 37** se observa la influencia del clima exterior en las neutralidades al interior de los espacios más evidente en los edificios de libre funcionamiento (free running buildings) donde el modelo de regresión más pronunciado representó el 94% de la varianza de neutralidades, a diferencia de los edificios climatizados con una correlación menor pero significativa con el clima exterior (G. Brager, R. de Dear 1997).

La "zona de confort" podría ser visto por la comunidad de ingenieros como un objetivo de diseño para un determinado sistema de climatización mecánica HVAC, su relevancia para edificios con ventilación natural donde las condiciones son inherentemente mucho más variables es cuestionable (Forwood 1995). Esto fue también reconocido por Givoni (1992) en su trabajo en la carta bioclimática de un edificio ampliando los límites de la zona de confort en base a las temperaturas interiores esperadas por los usuarios con diferentes estrategias de diseño pasivo, aplicando la noción de "sentido común" de que las personas que viven en edificios no acondicionados se acostumbran de forma ascendente en la aceptación de temperaturas y humedades más altas (De Dear, Brager, Cooper 1997).

Modelo de confort adaptativo

De acuerdo a la determinación de la zona de confort “Se podría pensar que los rangos de confort, definidos en las investigaciones y estudios realizados, tienen alcance universal, esto en realidad no es así, debido a que existen variaciones asociadas fundamentalmente a las circunstancias en que fueron realizados, como lo son el lugar geográfico o los grupos humanos que se tomaron como base de estudio (Mesa, Arboit, de Rosa 2009).

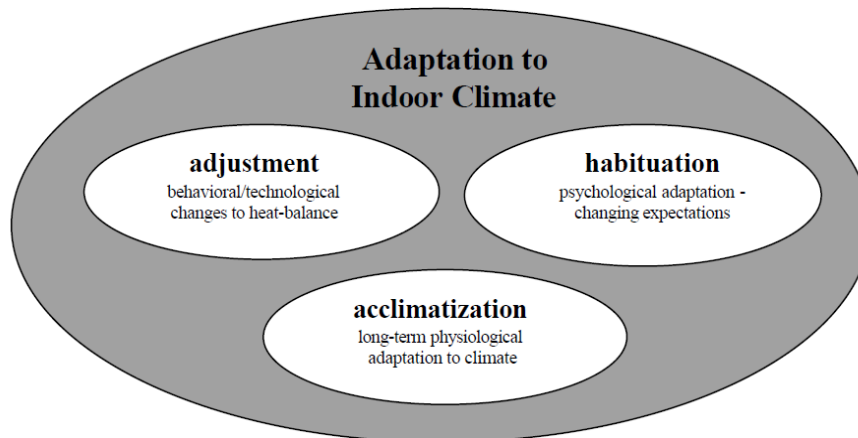


Figura 38. Los tres componentes de adaptación en un clima interior.

Fuente: R De Dear, G. Brager, D. Copper, Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, 1997

Una teoría alternativa a las condiciones de confort tradicionales es el “modelo adaptativo de confort” que adopta la noción de que las personas desempeñan un papel instrumental en la creación de su propia preferencia térmica, a través de la forma en que interactúan con el medio ambiente o modifican su propio comportamiento (Brager, de Dear 98). El modelo de confort adaptativo considera varios factores como el entorno climático, las condiciones sociales y económicas. (Figura 38). El grado de satisfacción con el clima interior se manifiesta cuando las condiciones ambientales cubren las expectativas térmicas de los usuarios relacionando experiencias térmicas actuales-pasadas y sus prácticas culturales.

Un modelo adaptativo es la relación entre el usuario y el medio ambiente en el “dar y recibir” en la cual el sujeto es un agente activo que se adapta al entorno a través varios sistemas de retroalimentación (Brager, de Dear 98).

Según (Brager, de Dear 98), el término “adaptación” se podría interpretar como la gradual disminución de la respuesta del organismo a las repetitivas estimulaciones

ambientales y subsume todos los procesos a los que se someten los ocupantes del edificio para mejorar el ajuste del clima interior de acuerdo a sus requerimientos personales o colectivos.

Para (Folk 1974, 1981, Goldsmih 1974, Prosser 1958, Clark and Edholm 1985), se distinguen tres modos de adaptación:

- Ajustes en el comportamiento
- Retroalimentación fisiológica-aclimatación
- Retroalimentación psicológica

Ajustes en el comportamiento	Ajuste personal	La persona se ajusta al entorno, con el cambio de ciertas variables como la ropa, la actividad, postura, comer/beber comida caliente/fría o bebidas o mudarse a otra localidad
	Ajuste tecnológico o ambiental	El usuario tiene la posibilidad de modificar su entorno, cuando el control del mismo está disponible como el abrir y cerrar ventanas, encender o apagar ventiladores o calefacción, bloquear difusores de aire y poder operar los controles de HVAC, entre otros.
	Ajustes Culturales	Se incluye horario de actividades, siestas y la adaptación de códigos de vestimenta
Retroalimentación fisiológica-aclimatación	Adaptaciones Genéticas	Alteraciones las cuales forman parte de la herencia genética de uno o varios individuos.
	Aclimatación	Cambios en la configuración del sistema de termorregulación fisiológica durante un período de días o semanas en respuesta a la exposición a una sola o una combinación de estresores ambientales térmicos.
Retroalimentación psicológica	Habitación o Adaptación	Abarca los efectos de la cognición y las variables culturales
	Expectativa	Según lo indicado por Mc.Intyre en 1980, "la reacción de una persona a una temperatura que es menor dependerá en gran medida de su expectativa, personalidad y la actividad que esté haciendo en ese momento"

Tabla 22. Factores que intervienen en un modelo conceptual de adaptación térmica.

Elaboración propia. Fuente: Folk 1974, 1981, Goldsmih 1974, Prosser 1958, Clark and Edholm 1985⁷⁹

79 Citado de, R De Dear, G. Brager, D. Copper, Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference, 1997.

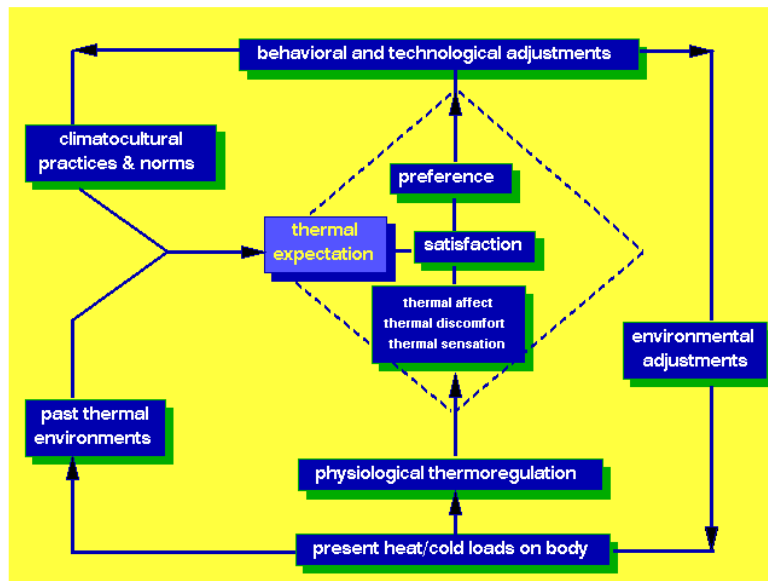


Figura 39. El modelo psico-fisiológico de la percepción térmica: El Modelo Adaptativo
Fuente: A, Auliciems, V, Szokolay, Thermal Comfort, 2007

En la **Figura 39** se resume gráficamente los factores que intervienen en un modelo adaptativo de termorregulación en el cual la preferencia térmica es el resultado de ambas respuestas fisiológicas a los factores interiores medidos por índices y las expectativas basadas en las experiencias térmicas pasadas y en las prácticas culturales (A. Auliciems, S. Szokolay 2007).

A continuación, se presenta los conceptos de los factores que intervienen en un modelo conceptual de adaptación térmica de acuerdo a la **Tabla 22**.

Ajustes de comportamiento: Incluye todas las modificaciones que una persona pueda realizar conscientemente o inconscientemente, que a su vez modifican el calor y los flujos de masa que rigen el equilibrio termal del cuerpo. El ajuste de comportamiento se clasifica en tres subcategorías:

- Ajuste personal
- Ajuste tecnológico o ambiental
- Ajuste Cultural

Retroalimentación fisiológica-aclimatación: Incluye todos los cambios en las respuestas fisiológicas resultado de la exposición a factores ambientales térmicos que conducen a una

disminución gradual en la tensión inducida por tal exposición. La adaptación fisiológica se puede dividir en al menos dos subcategorías: Adaptación genética o aclimatación

Retroalimentación psicológica: Abarca los efectos en las funciones cognitivas y las variables culturales, describe la medida en que la habituación y las expectativas alteran la percepción y la reacción a la información sensorial. Las percepciones térmicas se atenúan directa y significativamente por las propias experiencias y expectativas del clima interior. Esta forma de adaptación implica construir los "puntos de ajuste de confort" de los ocupantes que puede variar a través del tiempo y el espacio. La relajación de las expectativas climáticas en el interior se asemeja a la noción de habituación en psicofísica: exposición repetida o crónica a un estresor ambiental que conduce a una disminución de la intensidad de la sensación evocada (Glaser 1966, Frisancho 1981).

Dentro de la retroalimentación del ajuste conductual se relaciona con la facilidad que los edificios proporcionan a los ocupantes mecanismos de adaptación, denominados "oportunidades adaptativas" o "restricciones adaptativas". Para Baker y Standeven 1994 el alcance de las intervenciones adaptativas es dar la posibilidad al usuario de ajustar las ventanas, el manejo de los sistemas de climatización o proveer controles en cada estación de trabajo.

Con respecto a las restricciones adaptativas o limitaciones para el control térmico se pueden clasificar en los siguientes componentes (Nicol and Humphreys 1972, Humphreys 1994).

1. Restricciones de acuerdo al clima: Los edificios ubicados en climas templados deberán permitir mayores oportunidades de adaptación con respecto a las edificaciones de localidades con climas extremos, los cuales requieren de elementos de protección o barreras para contrarrestar los efectos climáticos adversos.
2. Restricciones económicas: Los costos iniciales y operativos del control térmico pueden ser aceptados por un grupo de clientes, mientras que en los países en vías de desarrollo los propietarios no tienen los recursos económicos para afrontarlos.

3. Restricciones por costumbres o regulación social: En este ítem se implementan las siguientes interrogantes, si existe la posibilidad de cambio o ajuste en las prendas de vestir, o si los patrones de la vestimenta son determinados por el clima, moda o religión.
4. Restricciones de acuerdo a la tarea u ocupación: Se refiere a la existencia de códigos de vestimenta estrictos o formales. El tipo de actividad, el tiempo de permanencia en una estación de trabajo.
5. Restricciones debido al diseño del edificio: La envolvente de un edificio puede ofrecer oportunidades o restricciones en el proceso de adaptación térmica del usuario, en el cual los atributos de ciertos elementos como las ventanas, su dimensión, ubicación, su operatividad o la implementación de algún sistema de protección solar. Otro recurso es la posibilidad del manejo directo de los sistemas de climatización por parte de los usuarios.

Las implementaciones de oportunidades adaptativas en los edificios los diferencian y les proporciona un valor agregado con respecto a las edificaciones que no las consideran. Edificios con ventanas fijas con dependencia exclusiva de climatización artificial localizados en climas no tan rigurosos, la imposibilidad de abrir ventanas o la incidencia directa del sol en el interior por una incorrecta orientación o por economizar en los rubros de protección solar en las fachadas se convierten en limitaciones adaptativas que se traducen en falta de confort y aumento del uso de energía. En resumen, el control personal y ambiental es fundamental para la comodidad térmica y la aceptabilidad. (G. Brager, R. de Dear 1996)

Modelo de Confort Adaptativo-Estudios de Campo

El desarrollo y los inicios de las teorías del modelo adaptativo fue basado en estudios de campo en edificios ventilados naturalmente siendo sus precursores (Humphreys 1976, Auliciems 1981, Griffiths 1990, Nicol-Roaf 1996, Auliciems-Szokolay 1997, De Dear 1997).

A continuación, se presenta algunas de las más importantes investigaciones realizadas por distintos autores en diferentes latitudes geográficas y grupos étnicos.

Fanger en 1977 investigó los efectos de diferentes experiencias climáticas con enfoque adaptativo escogiendo a dieciséis sujetos daneses acostumbrados a nadar en invierno en el océano con temperaturas de 0°C, en la cámara climática su temperatura de confort estaba

alrededor de 25.5°C. Se realizó el mismo experimento bajo las mismas condiciones con estudiantes universitarios daneses que no nadaban en invierno y la temperatura de preferencia fue de 25.5°C (Fanger y Langkilde 1975). Posteriormente (Fanger 1977) realizó otro experimento con 16 empacadores de carne de un almacén refrigerado cuya temperatura de confort coincidió con los dos experimentos anteriores.

Tres de los resultados de la tesis de doctorado Abdulshukor, 1993 de la Universidad de Londres han sido citados por Humphreys, 1994:

1. Los sujetos chinos bajo las condiciones de la cámara climática en Malasia preferían una temperatura de 28°C.
2. Los sujetos malayos bajo las condiciones de la cámara climática en Malasia preferían una temperatura de 28.7 °C.
3. Los sujetos malayos en la cámara climática de Londres, su temperatura de preferencia fue de 25.7 °C.

Malasia y un porcentaje pequeño del territorio de China se emplazan dentro de la zona tropical razón por la cual sus habitantes comparten ciertas similitudes climáticas e historias térmicas. Esta situación se relaciona con las personas de estas nacionalidades que participaron en un experimento en la cámara climática cuyas temperaturas de preferencia se situaron entre 28.7°C y 28°C respectivamente. Al realizarse este mismo experimento en la cámara climática de Londres, sujetos malayos tuvieron preferencia por una temperatura tres grados más baja de 25.7 °C, ya que estos sujetos se encuentran habituados a las características climáticas de Londres, su temperatura de preferencia se relaciona con su entorno climático inmediato.

Investigaciones del modelo confort adaptativo en climas ecuatoriales

Dentro de este tema específicamente se va tratar dos investigaciones puntuales realizadas en Singapur y en Venezuela. La investigación elaborada por Garston, Watford, Herts, (1958) se desarrolló en Singapur e indica que las poblaciones de los trópicos están sujetas a la incomodidad térmica por la calidez de su clima relacionada con el uso de ropa ligera, su particular dieta y su poca resistencia a bajas temperaturas. También se reconocen que estos factores son relacionados con la “felicidad humana” y con la salud. El proyecto fue

diseñado para investigar el clima interior y la respuesta de la población aclimatada bajo normales condiciones no perturbadas en un día normal, cuyo período duró aproximadamente más de un año. Del grupo de personas elegido, del sexo masculino, catorce miembros pertenecían al Departamento de Salud Municipal de Singapur y los seis restantes al Departamento de Física de la Universidad de Malasia.

El estudio demostró que casi un tercio de las personas investigadas padecieron incómodas sensaciones térmicas incluso en condiciones climáticas óptimas.

Singapore index	74°F	76°F	78°F	80°F	82°F	84°F	86°F	88°F
	23.3 °C	24.4°C	25.5°C	26.6°C	27.7°C	28.8°C	30°C	31.1°C
Percentage of subjects uncomfortable due to warmth	0	2	12	32	63	86	97	100

Tabla 23. Porcentaje de inconformidad debido al calor.

Fuente: Webb, C,G, An analysis of some observations of thermal comfort in an equatorial climate, from the Building Research Station, Garston, Watford, Herts, (1958). Editado por la autora mediante la colocación de las temperaturas en °C

Singapore index	74°F	76°F	78°F	80°F	82°F	84°F
	23.3 °C	24.4 °C	25.5°C	26.6°C	27.7°C	28.8°C
Percentage of subjects uncomfortable due to cold	81	53	23	6	1	0

Tabla 24. Porcentaje de inconformidad debido a la ausencia de calor (frío).

Fuente: Webb, C, G, An analysis of some observations of thermal comfort in an equatorial climate, from the Building Research Station, Garston, Watford, Herts, (1958). Editado por la autora mediante la colocación de las temperaturas en °C

En la **Tabla 23**, en las temporadas calurosas se observa que a partir de los 26.66°C (80°F) se presentó un 32% de inconformidad de los usuarios, aumentando paulatinamente a 63% con 27.77 °C (82°F), 86% con 28.88 °C (84°F), 97% con 30°C (86°F), finalizando con 100% de sensación de incomodidad con una temperatura de 28.88 °C (84°F).

En la **Tabla 24**, en las temporadas frías, se presenta un 81% de inconformidad con una temperatura de 23.33 °C (74°F). Estos resultados claramente indican que las personas de las latitudes tropicales soportan en menor grado las temperaturas bajas y tienen una mayor capacidad de habituarse a temperaturas más altas.

A continuación, se presenta un resumen de la investigación de campo sobre el confort térmico realizada por E. González, G. Bravo 2009, que consta de cinco estudios de campo. La finalidad de la investigación fue la de implementar una propuesta de temperaturas neutrales o de confort (T_n) en edificios con climatización artificial (AA) y en edificios ventilados naturalmente considerando las características climáticas de la ciudad de Maracaibo, Venezuela en la estación seca (febrero-abril). Tres de las encuestas se realizaron a usuarios habitados a edificios climatizados con aire acondicionado y dos estudios restantes correspondieron a encuestas a personas aclimatadas a espacios o ambientes ventilados naturalmente. De los sitios de estudio elegidos correspondían a tres edificios con aire acondicionado, el edificio del Instituto de Investigación de la Facultad de Arquitectura y Diseño (IFAD) de la Universidad de Zulia, y el Colegio Bellas Artes (CBA) y los dos estudios restantes se los realizó en viviendas de los barrios 23 de marzo y Virgen del Carmen en la zona norte de Maracaibo. En los estudios de campo se procedió a monitorear la temperatura del aire, la temperatura de globo (T_g), la humedad relativa y la velocidad del aire. Los resultados finales demuestran que las personas encuestadas de las viviendas de los barrios 20 y 55 al estar habitados a ambientes ventilados naturalmente, su temperatura de confort es más alta con respecto a las personas que están acostumbradas a espacios climatizados mecánicamente.

En la **Tabla 25** se presentan los resultados de la encuesta, el barrio 20 registró una temperatura neutral o de confort (T_n) de 30.5°C, y el barrio 55 de 28.9°C. Sin embargo, las personas acostumbradas a los espacios climatizados presentan temperaturas más bajas de confort, los usuarios del edificio CBA1(A) registraron una temperatura de confort de 22.8°C, las personas del edificio CBA1(B) presentaron una temperatura de confort de 26.1°C, y los usuarios del edificio IFAD (C) registraron una temperatura de confort de 24.8°C.

Encuesta	Tg	Tn	r de RSTI-Tg	Ecuación
CBA1 (A)	20.4	22.8	0.18	Y= 0.63X-14.35
CBA1 (B)	24.5	26.1	0.10	Y= 0.50X-13.03
IFAD (C)	24.9	24.8	0.46	Y= 0.67X-16.72
Barrio (20)	33.2	30.5	0.60	Y= 0.31X-8.03
Barrio (55)	30.9	28.9	0.53	Y= 0.28X-8.03
Total	26.4	27.8	0.68	Y= 0.206X+5.723

Tabla 25. Temperaturas neutrales en función de Tg, coeficiente de correlación y ecuación para cada grupo de encuestas y para la integración de todas.

Fuente: E, González, G, Bravo, Sobre el confort térmico: temperaturas neutrales en el trópico húmedo, 2009

ASHRAE Standard 55 (Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy)

En 1980 ASHRAE financió varios estudios de confort térmico en edificios de oficinas en diferentes climas, siguiendo un protocolo estandarizado. El primero fue ASHRAE RP-462, el cual fue utilizado por otros investigadores en diferentes campos de estudio. En 1995, mediante ASHRAE RP -884 se comenzó a recolectar datos de campo sin editar de varios proyectos que utilizaron la misma o similar metodología. La base de datos RP-884 aproximadamente contiene 21.000 conjuntos de datos en bruto de 160 edificios de oficinas de los 4 continentes, la mayoría de los casos fueron estudiados en verano y las mediciones se clasificaron en: edificios con HVAC y ventilados naturalmente. Mediante la manipulación de los datos en modelos matemáticos y estadísticos se determinó que los ocupantes de los edificios HVAC se adaptan a un rango estrecho de condiciones ambientales homogéneas proporcionada por la climatización mecánica AA mientras que los usuarios de los edificios con ventilación natural se habitúan a un amplio rango de condiciones del clima exterior. En los edificios con HVAC se utilizó con éxito el PMV de Fanger a diferencia de los edificios ventilados naturalmente ya que los ocupantes experimentaron la sensación de confort con temperaturas más altas a diferencia de los resultados del PMV.

El Standard 55 se publicó por primera vez en 1966 y publicaciones posteriores en 1974, 1981 1992 y 2017, con actualizaciones periódicas desde el 2004. En ese mismo año el proyecto del modelo adaptativo quedó implementado en una de las secciones del

Standard⁸⁰ , en el cual se describe las condiciones en las que una fracción específica de usuarios pueden percibir un ambiente térmicamente aceptable. Está planteado para su uso en diseño, puesta en servicio, pruebas en edificios y otros espacios ocupados y su climatización. No se encuentran especificados datos con respecto a la tasa metabólica y las variaciones de ropa de las personas ya que son variables sometidas a múltiples variaciones al ser un universo demasiado extenso y complejo.

La edición de 2004 introdujo un método de modelo computacional para aplicación general en interiores, que trajo el estándar en un acuerdo cercano con las Normas ISO 77261 y 77302, y la introducción del Método Adaptativo, y el empleo de velocidades de aire elevadas para ampliar el rango aceptable de las condiciones térmicas incluyendo un nuevo método para seleccionar los límites de velocidad del aire y alternativas para determinar los límites de confort a velocidades de aire superiores a 0.15 m/s.

El Standard 55 considera seis factores principales para un estado de confort:

- Tasa metabólica
- Aislación por medio de la vestimenta
- La temperatura del aire
- La temperatura radiante
- La velocidad del aire
- La humedad.

Ya que estos factores pueden variar con el tiempo, el Standard 55 considera el estado de confort térmico en un estado estable y también indica las condicionantes que provocan el malestar térmico local causado por la diferencia de temperatura del aire vertical entre los pies y la cabeza por un campo radiante asimétrico, por enfriamiento convectivo local o por el contacto con un piso frío. Su utilización corresponde a niveles de actividad física

80 Otros modelos de confort adaptativo: ISSO 74 (2004) – ISSO 74 (2014) Países Bajos, EN 15251 (de implementación europea), (CEN, 2007); CIBSE TM 52 (británico), (CIBSE, 2013); SN 180 (suizo), (SIA, 2013); GB/T 50785 (chino), (GB/T, 2012). (B. Arballo, E.Kuchen, Y.Alamino, A.Alonso, 2016)

sedentaria o trabajo de oficina, con la posibilidad de utilizarla para determinar condiciones ambientales apropiadas para actividades elevadas en un nivel moderado.⁸¹

En la sección 5.2 del Standard 55 se encuentra los métodos para determinar las temperatura y condiciones aceptables para espacios ocupados, mediante el uso de un método gráfico simplificado aceptable para su uso en muchas situaciones típicas, el uso de un modelo de computadora y un método optativo para determinar las condiciones térmicas aceptables en espacios con ventilación natural. En la **Figura 40** se presenta una versión simplificada del diagrama original.

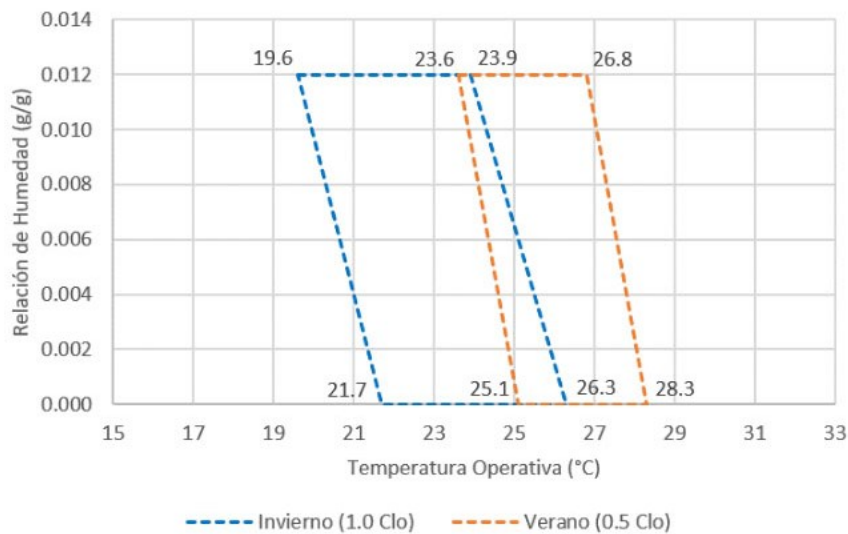


Figura 40. Rangos aceptables de temperatura operativa y humedad. Método gráfico estándar ASHRAE 55.
Fuente: <https://www.seiscubos.com/conocimiento/estandar-ashrae-55>

Método opcional

Este método aplica a los ambientes naturalmente ventilados⁸² y que sus ocupantes tengan la posibilidad de regular y modificar las condiciones térmicas, con la opción de abrir y cerrar ventanas⁸³. Los ocupantes deben realizar actividades físicas casi sedentarias, con

81 El Standard ASHRAE 55 determina condiciones ambientales térmicas aceptables para adultos sanos a presión atmosférica equivalente a altitudes de hasta 3000 m (10,000 pies) en interiores y en espacios diseñados para la ocupación humana por períodos no inferiores de 15 minutos. No aborda factores como la calidad del aire, la acústica y la iluminación u otros contaminantes del espacio físico, químico o biológico que pueden afectar la comodidad o la salud.

82 Se permite el uso de ventilación mecánica con aire no acondicionado, por ejemplo, el uso de ventiladores.

83 El Standard 55 indica que para usar este método optativo es necesario que el espacio tenga ventanas operables que puedan abrir hacia el exterior, con la posibilidad de ajustarse rápidamente de acuerdo a las preferencias de sus ocupantes.

tasas de metabolismo que van desde 1.0 a 1.3 met y la libertad de adaptar su vestimenta a las condiciones térmicas interiores y exteriores. Los espacios que cumplan con los criterios anteriormente indicados se puede determinar las temperaturas operativas de acuerdo a la (Figura 41) la cual incluye dos rangos de límites de temperatura operativa, uno para el 80% de aceptabilidad y el otro con 90% aceptabilidad. El uso de aceptabilidad del 80% se lo destina para típicas aplicaciones y se la utiliza cuando no exista la disponibilidad de otra información. Cuando se desean estándares de confort más altos el Estándar recomienda el uso de 90% de aceptabilidad. Estos rangos de aceptabilidad se basan en un modelo adaptativo de confort térmico proveniente de una base de datos global de 21.000 mediciones tomadas principalmente en edificios de oficinas.

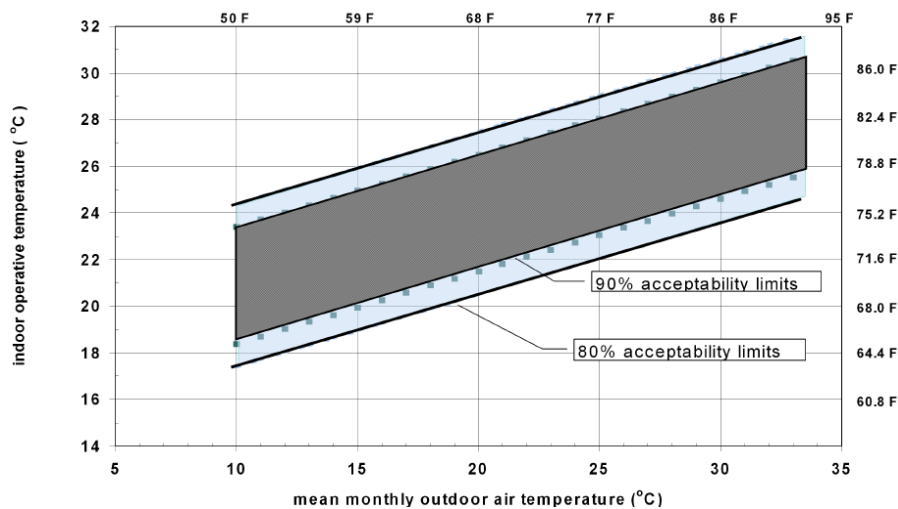


Figura 41. Rangos de temperaturas operativas aceptables para espacios naturalmente acondicionados
Fuente: ASHRAE Standard 55, 2010

Los límites de temperatura operativa⁸⁴ permitidos en la **Figura 41** no pueden ser extrapolados a temperaturas exteriores superiores debajo de los puntos finales de las curvas en esta figura. Si la media de la temperatura exterior mensual es inferior a 10 ° C (50 ° F) o mayor de 33.5°C (92.3 ° F), no se recomienda utilizar este método (Standard 55-2010)

84 La temperatura uniforme “es el promedio de la temperatura del aire y la temperatura radiante media ponderada, respectivamente, por el coeficiente convectivo de transferencia de calor y el coeficiente linealizado de transferencia de calor radiante por el ocupante”.

La temperatura radiante media “se define como la temperatura de un recinto negro uniforme que intercambia la misma cantidad de radiación térmica con el ocupante del recinto actual. Es un valor único para todo el cuerpo y puede ser considerado un promedio espacial de la temperatura de las superficies circundantes del ocupante ponderado por sus puntos de vista con respecto al ocupante”.

Fuente: ASHRAE Standard 55-2010

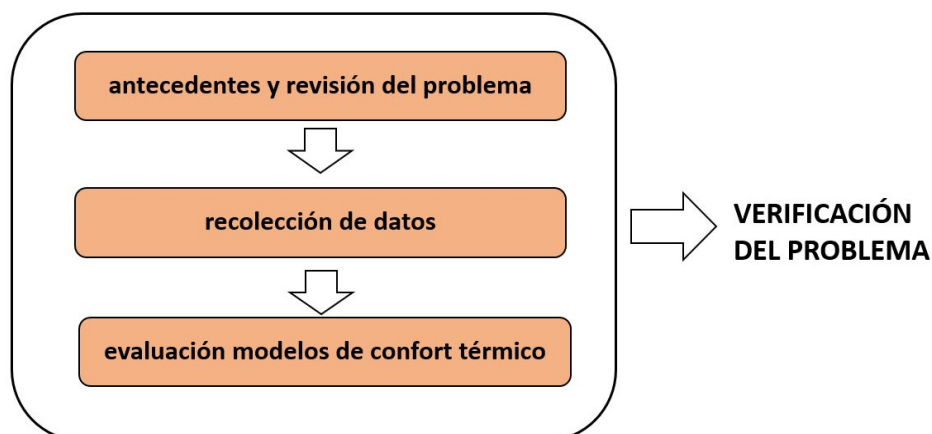
3.3 Conclusiones

Para la elaboración previa de esta investigación era necesario establecer la normativa con la cual se procedería a trabajar para determinar la zona de confort de acuerdo a la ubicación del caso de estudio. Fue importante hacer una revisión desde las primeras investigaciones que fueron determinantes en el desarrollo de nuevos estudios y descubrimientos en el ámbito de confort que indican que el cuerpo humano por la interacción de varios procesos internos y externos posibilitan su adaptación térmica, la cual es afectada cuando la amplitud térmica es limitada o estática como el caso de los edificios con climatización mecánica en comparación con los ventilados naturalmente. La exposición de altas temperaturas, el cuerpo humano tiene la posibilidad de adaptarse estableciendo condiciones de confort, si el usuario tiene la posibilidad de ejercer el control en su vestimenta, sobre su entorno como el abrir y cerrar ventanas con el uso de estrategias pasivas de climatización. Las investigaciones indican que habitantes de un país tropical se adaptan a temperaturas más extremas con una mayor y mejor adaptación al calor que al frío.

En 1997 de Dear, Brager, Cooper realizaron la investigación “Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference” en el cual se presentaron los resultados de la revisión bibliográfica sobre la adaptación térmica en el entorno construido. Se revisaron los casos de estudios en las cámaras climáticas y de campo en la cual fueron discutidos las aplicaciones de una teoría de confort térmico “aceptable” en términos de modelado predictivo, diseño del edificio, algoritmos de control y estándares. La evidencia revisada en este documento indica que el proceso fisiológico de aclimatación más lento parece no ser tan relevante para la adaptación térmica en las condiciones relativamente moderadas encontrado en edificios, mientras que el ajuste de comportamiento y las expectativas tienen una influencia mucho mayor para lo cual se deberían realizar nuevas investigaciones en este ámbito. Uno de los hallazgos más importantes de la revisión de las pruebas de campo fue la distinción entre el confort térmico y las respuestas de los usuarios de ambientes con A/C y ventilados naturalmente. El análisis sugirió que la adaptación del comportamiento incorporó modelos de balance de calor convencionales los cuales sólo podrían explicar parcialmente estas diferencias y esa comodidad fue significativamente influenciada por las expectativas

de las personas del ambiente térmico. Los ocupantes en edificios ventilados naturalmente tenían expectativas más relajadas y fueron más tolerantes con temperaturas más altas, a diferencia de los ocupantes de los edificios controlados con aire acondicionado tenían sus expectativas más exigentes por un uniforme ambiente térmico y fueron más sensibles a diferentes condiciones que se alejaban de homogeneidad. Las diferencias de los contextos puede ser el resultado de una combinación de historia térmica pasada en los edificios y diferencias en los niveles de control percibido.

4 CAPÍTULO CUATRO : DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DEL CASO DE ESTUDIO



Esquema 4. Metodología Capítulo Cuatro

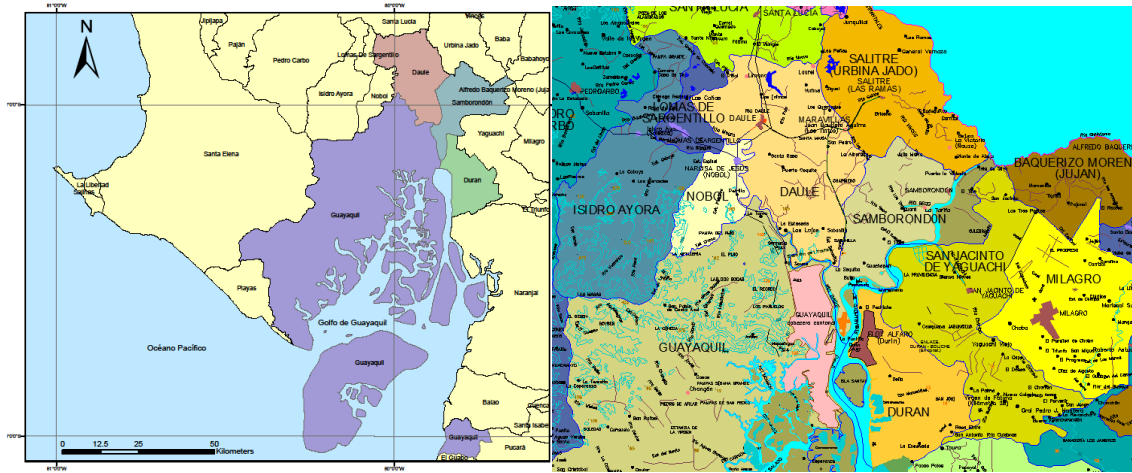
4.1 Contexto y emplazamiento

El caso de estudio se localiza en la región costera del Ecuador, en la provincia del Guayas⁸⁵, cantón Daule en la parroquia Satélite de la Aurora que forma parte de conurbación del “Gran Guayaquil”. Esta región está conformada por la ciudad de Guayaquil y por varias parroquias pertenecientes a los cantones más cercanos de Samborondón, Durán, Daule, extendiéndose hasta los cantones de Isidro Ayora, Lomas de Sargentillo, Milagro, Nobol, Salitre y Yaguachi.

“Guayaquil es el foco de actividades laborales, comerciales, de estudios y en general el centro neurálgico de esta región, por lo cual, aunque ni administrativamente, ni políticamente está definida esta conurbación, en cambio sí lo está por su funcionalidad y operación.”⁸⁶

85 El Estado ecuatoriano se organiza territorialmente en regiones, provincias, cantones y parroquias urbanas y rurales. La provincia del Guayas cuenta con 22 cantones: Baquerizo Moreno, Balao, Balzar, Colimes, Daule, Durán, El Empalme, El Triunfo, Gral Antonio Elizalde, Gral Villamil Playas, Guayaquil, Isidro Ayora, Lomas de Sargentillo, Marcelino Maridueña, Milagro, Naranjal, Naranjito, Nobol, Palestina, Pedro Carbo, Salitre, Samborondón, Santa Lucía, Simón Bolívar y Yaguachi. La ciudad de Guayaquil es la capital de la provincia del Guayas, y es la cabecera cantonal del cantón Guayaquil al cual pertenece esta ciudad. La cabecera cantonal en el Ecuador es el territorio que posee el mayor número de habitantes de un cantón. Cada cantón posee una cabecera cantonal y parroquias urbanas y rurales. El caso de estudio se ubica en la parroquia satélite de la Aurora del cantón Daule, el cual tiene 7 parroquias urbanas: Magro, Banife, Juan Bautista Aguirre, Santa Clara, Emiliano Caicedo, Vicente Piedrahita y la parroquia Satélite de La Aurora. En la zona rural tiene 4 parroquias: Enrique Baquerizo Moreno (Los Lojas), Juan Bautista Aguirre (Los Tintos), Laurel y Limonal.

86 Disponible en internet: <https://es.wikipedia.org/wiki/Conurbaci%C3%B3n_de_Guayaquil>



Mapa 6. A la derecha, principales cantones conforman la conurbación de Guayaquil (Samborondón, Durán, Daule), a la izquierda "El Gran Guayaquil"

4.2 Análisis climático

En primera instancia uno de los factores que más caracteriza al clima de la costa ecuatoriana es la ausencia y presencia de lluvias, catalogadas como temporada seca y temporada lluviosa. Es el resultado de la combinación de algunos factores que dependen de la latitud-longitud geográfica, la vegetación existente, los vientos y su cercanía al Océano Pacífico. Este último factor es de suma importancia por la presencia de las corrientes cálidas, una de ellas la del Niño que aparece cíclicamente y por la corriente fría de Humboldt.

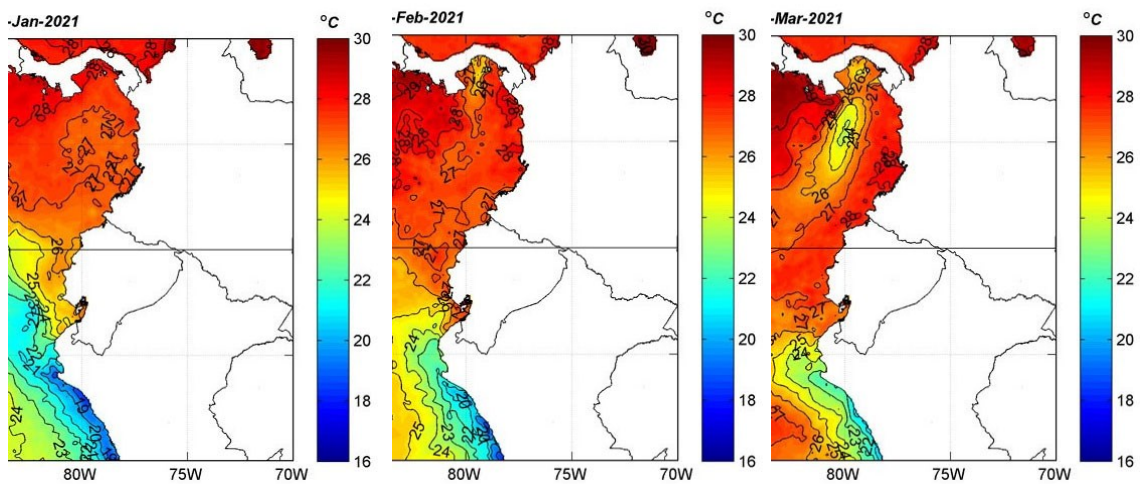


Figura 42. Temperatura superficial del mar de los meses de enero, febrero, y marzo del 2021

Fuente: INOCAR

La corriente cálida incrementa la temperatura superficial del Océano Pacífico aumentando la evaporación que origina las lluvias. El período de lluvia se presenta en los meses de diciembre enero, febrero, marzo y abril, y en los meses de mayo a noviembre disminuye drásticamente su intensidad.

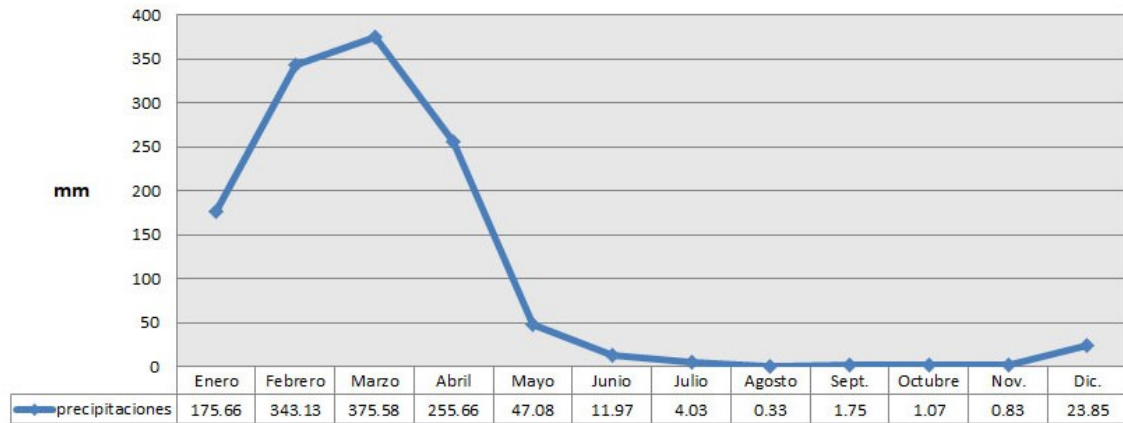


Tabla 26. Precipitaciones
Elaboración propia. Fuente: INAMHI

La corriente fría de Humboldt disminuye la temperatura del Océano Pacífico, razón por la cual dificulta y reduce la evaporación del agua que impide que las brisas provenientes del océano lleven consigo humedad a las regiones costeras. Los meses de junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre conforman la temporada seca por la escasa precipitación. El menor índice de precipitaciones se presenta en el mes de agosto.

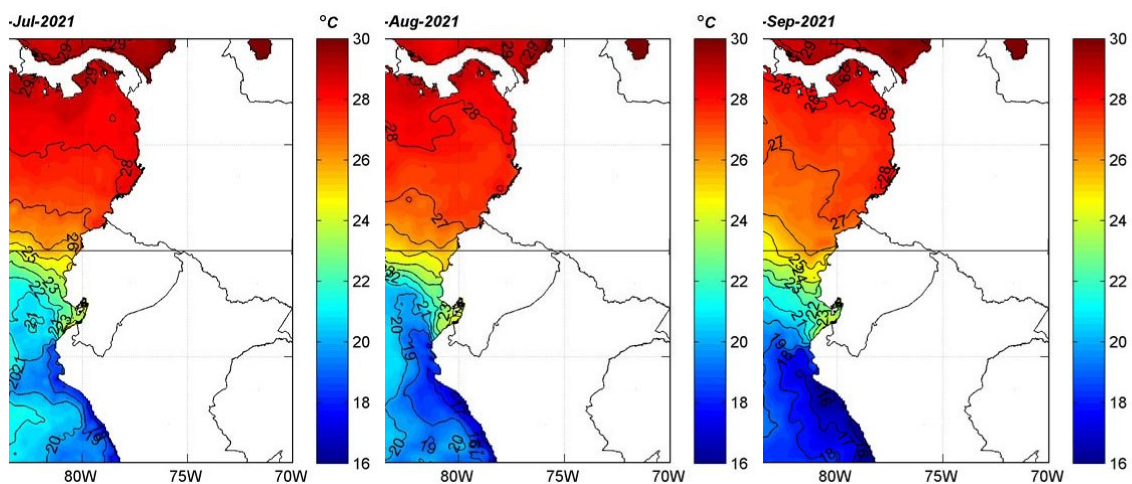


Figura 43. Temperatura superficial del mar de los meses de julio, agosto y septiembre del 2021
Fuente: INOCAR

De acuerdo a la clasificación climática del INAMHI, el conurbano de Guayaquil tiene la siguiente nomenclatura, C₂S₂A' con la siguiente definición:

C₂: Subhúmedo

s₂: Gran déficit hídrico en época seca

A': Cálido

Esta descripción general del clima se analizará con más detalle de acuerdo a una evaluación climática mediante el análisis de las variables que se consideran en un proyecto bioclimático (Olgay 1968). Para el análisis se utilizaron los datos de los anuarios del INAMHI período 1998 hasta el 2011 de la estación meteorológica Sonda de la Universidad de Guayaquil ubicada a 11 km del caso del caso de estudio.

En la **Tabla 27** se presentan las temperaturas medias más altas correspondientes a los meses de diciembre, enero, febrero, marzo y abril con valores entre 27,24°C y 27.94 °C. Los valores más altos se registran el mes de marzo 27.85°C y abril 27.94°C. El mes de agosto se presenta como el más fresco del año con 25.18°C, con temperaturas similares se presentan los meses de junio y julio. A partir del mes de octubre comienza nuevamente el incremento de temperatura de manera progresiva hasta el mes de diciembre con temperaturas medias máximas entre 29.36°C hasta 31.89°C. Con respecto a la temperatura media mínima los meses de agosto y septiembre presentan temperaturas de índole primaveral entre 20°C.



Tabla 27. Temperatura
Elaboración propia. Fuente: INAMHI

Análisis de la humedad

Los valores medios y máximos de humedad se presentan en altos porcentajes en los meses de enero 96.27 %, febrero 88.09%, marzo 97.20% , abril 95.91% y mayo 95.20%, siendo marzo el mes más húmedo. Los valores medios de HR se ubican en un rango de 68.42% al 75.25%. En el transcurso del año la humedad no llega al 100% de saturación.

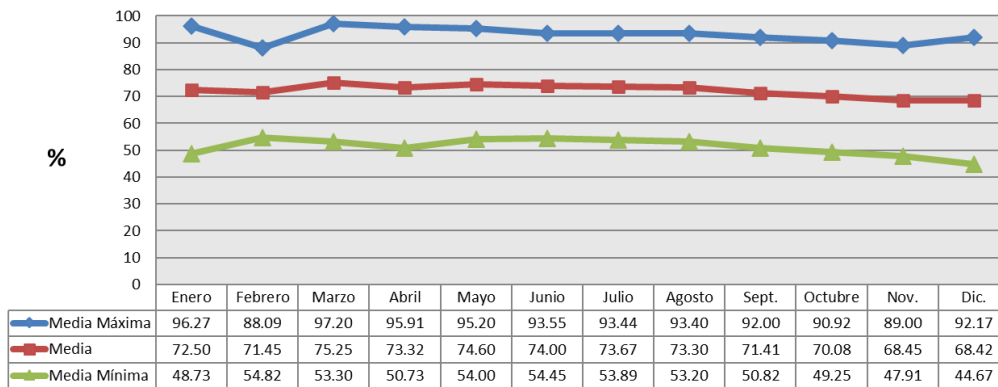


Tabla 28. Humedad Relativa.
Elaboración propia. Fuente: INAMHI

Análisis de los vientos:

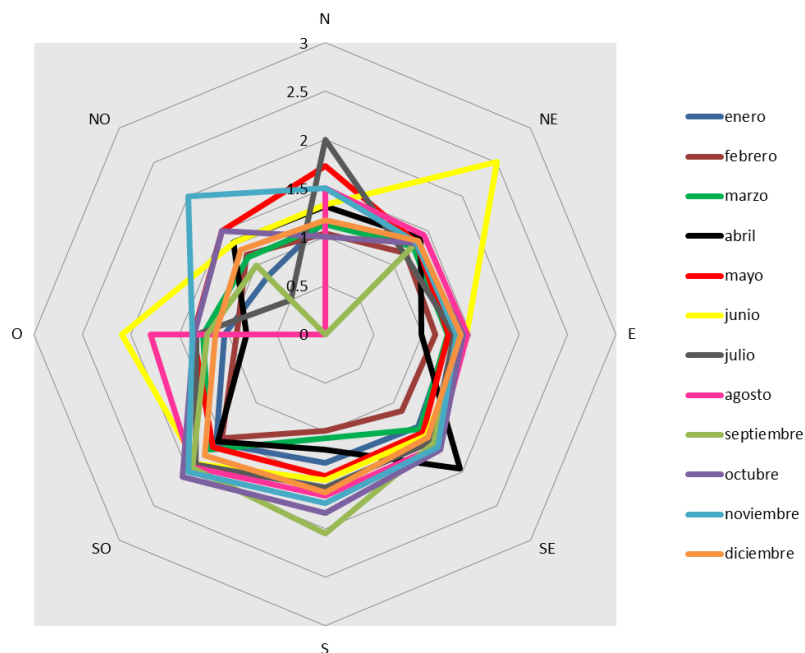


Figura 44. Velocidad del Viento
Elaboración propia. Fuente: INAMHI

En la **Figura 44** se presenta la velocidad del viento; la dirección NE (julio) tiene la mayor velocidad con 2.5 m/s aproximadamente. Con velocidades de 2 m/s se presentan las

direcciones N (julio), SE (abril), S (septiembre), SO (julio, agosto, septiembre octubre y noviembre), O (junio) y NO (noviembre).

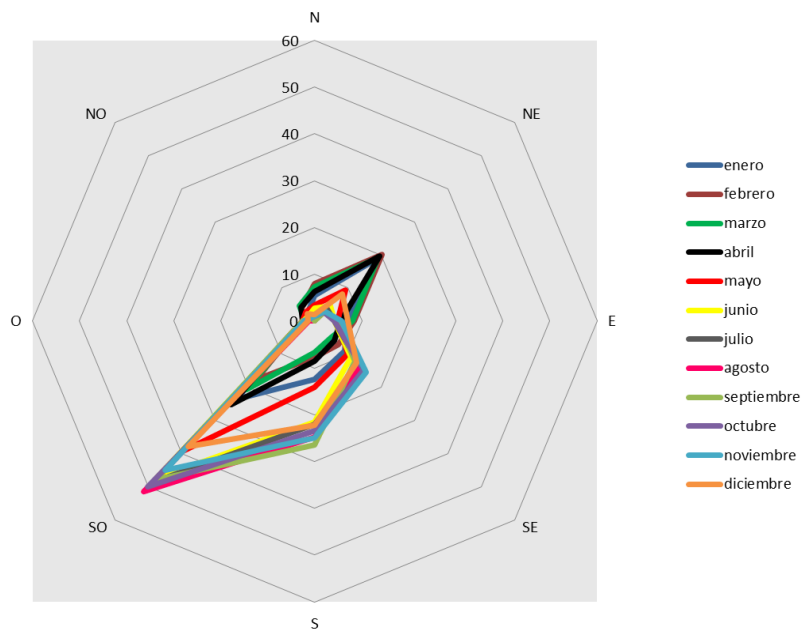


Figura 45. Frecuencia del Viento
Elaboración propia. Fuente: INAMHI

En la **Figura 45** se muestra la frecuencia del viento, predomina la dirección SO en todos los meses del año principalmente en los meses junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre (temporada seca). La dirección NE se presenta en menor frecuencia especialmente en febrero, marzo y abril.

Radiación Solar:

El mes de marzo, abril, mayo y diciembre son los meses que presentan los mayores índices de radiación solar cuyos valores oscilan entre 13.90 hasta 14.26 MJ/m² día.

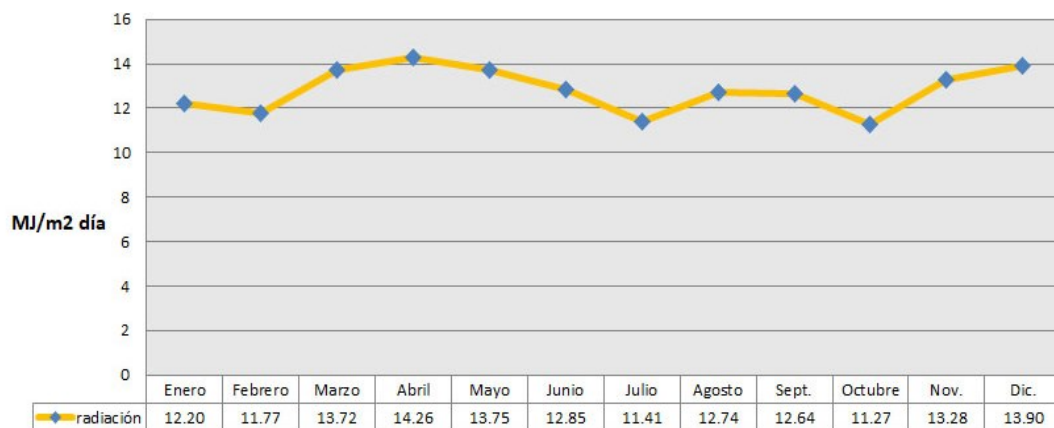


Tabla 29. Radiación Solar.
Elaboración propia. Fuente: INAMHI

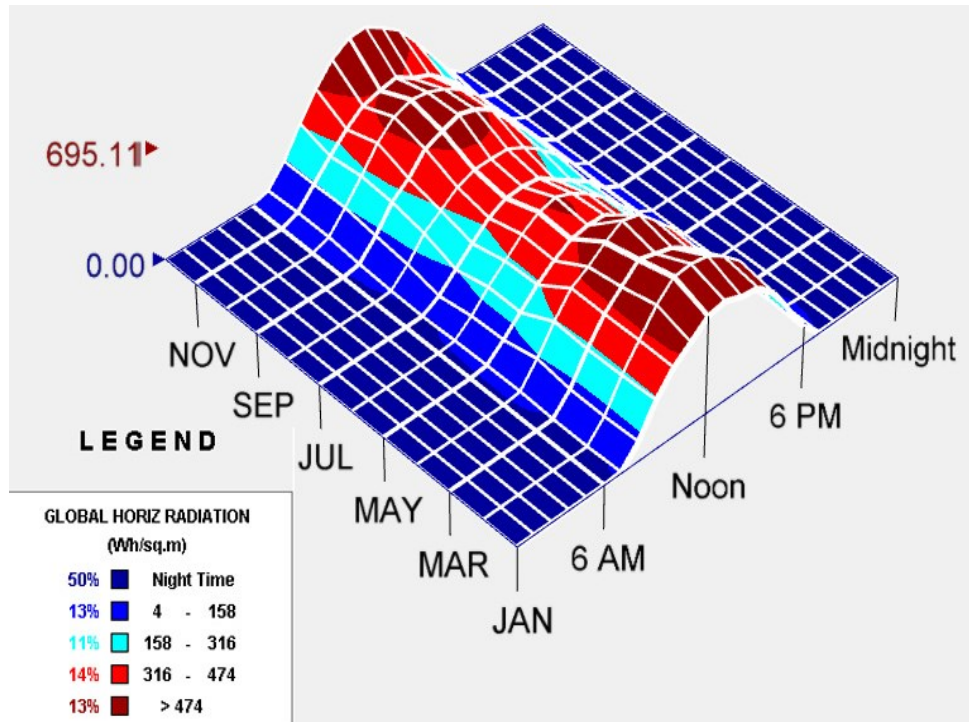


Figura 46. Radiación global horizontal
Elaboración propia. Software Climate Consultant

La carga total de radiación en la zona ecuatorial es mayor en las orientaciones Este, Oeste y en la cubierta, siendo ésta última la zona de mayor captación solar. “A partir de la radiación total (16.52 MJ/m²) los diferentes costados reciben estos porcentajes; Sur, 8%; Norte, 8%; Este, 17%; Oeste, 17%; el techo, 49%”⁸⁷

Análisis Trayectoria Solar

En la latitud 0 la trayectoria solar se diferencia principalmente dos períodos máximos de insolación, los equinoccios (21-22 marzo-22-23 septiembre) cuando el sol es vertical al medio día y dos mínimos en los solsticios cuando el sol se ubica más lejos (21 de junio-21 de diciembre). Ver **Figura 47**.

⁸⁷ Fuente: Clima y Arquitectura en Colombia. V. Olgay, 1968.

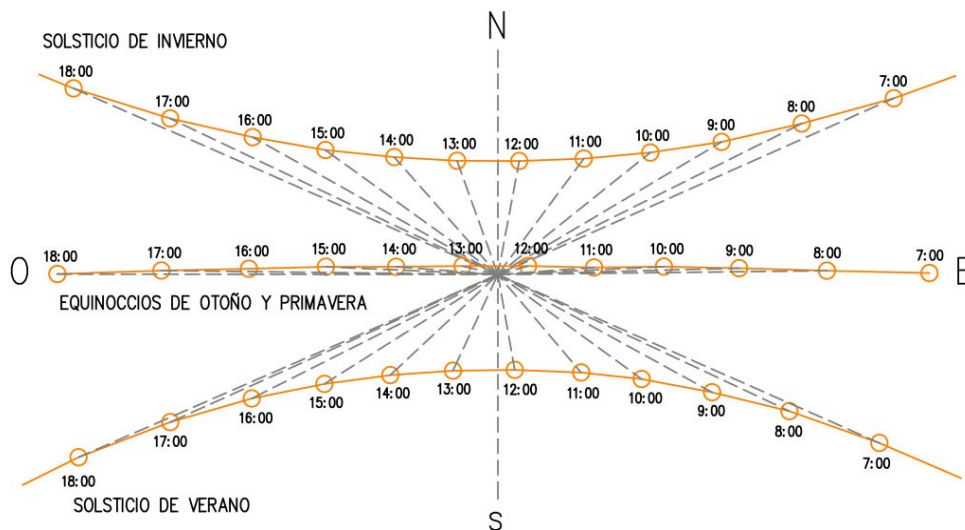
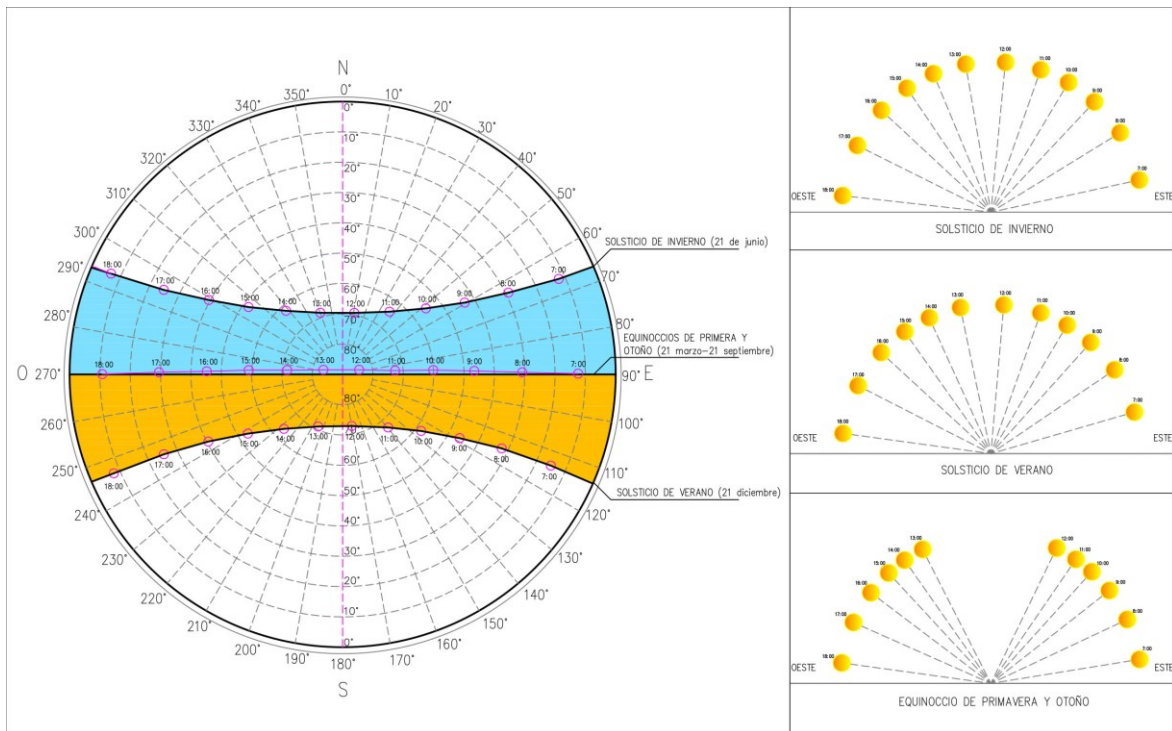


Figura 47. Cartas Solares

Fuente: Elaboración propia en base a los gráficos solares de <https://drajmarsh.bitbucket.io/sunpath2d.html>

De acuerdo a las variables climáticas analizadas se presenta un resumen en la **Tabla 30** con las dos temporadas climáticas que se presentan en el conurbano de Guayaquil.

Variables Climáticas: latitud 2°12'; longitud 79°53'; altura media sobre el nivel del mar 4m		
Valores anuales	Temperatura media máxima	30.7 °C
	Temperatura media	26.6 °C
	Temperatura media mínima	22.4 °C
	Radiación solar media anual sobre superficie horizontal	12.81MJ/m ²
	Humedad relativa	71.50 %
Temporada lluviosa (diciembre, enero, febrero, marzo, abril y mayo)	Temperatura media máxima	31.5 °C
	Temperatura media	27.5 °C
	Temperatura media mínima	23.6 °C
	Radiación solar media anual sobre superficie horizontal	13.26MJ/m ²
	Humedad relativa	72.43%
	Velocidad media del viento	1.62 m/s
	Amplitud térmica	7.89 °C
Temporada seca (junio, julio, agosto, septiembre, octubre, noviembre)	Temperatura media máxima	30.1 °C
	Temperatura media	25.6 °C
	Temperatura media mínima	21.2 °C
	Radiación solar media anual sobre superficie horizontal	12.36 MJ/m ²
	Humedad relativa	70.57 %
	Velocidad media del viento	1.95 m/s
	Amplitud térmica	8.84 °C

Tabla 30. Resumen análisis del clima.
Elaboración propia. Fuente: INAHMI

4.3 Método de análisis de confort

De acuerdo a las características climáticas del Ecuador, al no existir las cuatro estaciones como en otras latitudes se investigó sobre que método utilizar para encontrar la zona de confort del sitio de estudio. Se realizó una revisión de las diferentes ecuaciones utilizadas por diferentes autores en las cuales se considera la temperatura media anual del sitio.

Como se mencionó anteriormente en la costa ecuatoriana se presentan dos temporadas (lluviosa y seca), la temporada lluviosa comprende los meses más calurosos del año, razón por la cual fueron considerados en el cálculo de la temperatura media, (valor que se utilizó en las ecuaciones); en este cálculo no se consideró la temporada seca que cuenta con un rango de temperaturas menores a la época de lluvia. En la **Tabla 31** se presentan las

ecuaciones de varios autores para determinar la zona de confort de un sitio determinado considerando la temperatura media del lugar.

		Tmedia		
		Guayaquil	27.5	
Humphreys 1976	$T_n=11.9+0.534*T_m$		26.6	
Auliciems (1981)	$T_n= 17.6+0.31*T_m$		26.1	
Auliciems-Szokolay (1997)	$T_n= 17.8+0.31*T_m$		26.3	
	Zona de confort amplitud +/- 2.5	Li	23.8	
		Ls	28.8	
De Dear (1997)	$T_n= 17.8+0.31*T_m$		26.3	
Griffiths (1990)	$T_n=12.1+0.534*T_m$		26.8	
Nicol-Roaf (1996)	$T_n= 17.0+0.38*T_m$		27.5	
	Zona de confort amplitud +/- 2.0	Li	25.5	
		Ls	29.5	
De Dear	$T_n= 0.31*T_{media}+17.8$	Tn	26.3	
	Zona de confort amplitud +/- 2.5	Li	23.8	
		Ls	28.8	
Standard ASHRAE 55	Método gráfico para la obtención de la temperatura operativa	Li	23.8	90% aceptabilidad
			22.8	80% aceptabilidad
		Ls	28.8	90% aceptabilidad
			29.8	80% aceptabilidad
Li: Límite inferior-Ls: Límite superior				

Tabla 31. Temperatura neutral/zona de confort.

Elaboración propia. Fuente: A, Auliciems, V, Szokolay, Thermal Confort, 2007

Las ecuaciones incorporadas en la **Tabla 31** pertenecen a varios autores que realizaron un análisis minucioso de los resultados de los estudios de campo sobre la obtención del rango confort con la premisa que la preferencia térmica de las personas es correspondiente a un factor geográfico. De acuerdo a la información revisada de diferentes fuentes se eligió trabajar con el Standard 55 por las siguientes razones:

- Los resultados de las mediciones que conformaron la base de datos RP-884 se implementaron en uno de las secciones del Standard 55 con el respaldo de la metodología y protocolos de ASHRAE.
- En la base de datos originales que conforman el Standard 55 cuenta con mediciones del voto de confort en edificios que se ubican dentro de la franja tropical (Tailandia, Singapur, Indonesia y algunas ciudades de Australia).

- La mayoría de las mediciones se hicieron en verano, temperaturas cálidas que concuerdan con el caso de estudio.
- El método simplificado considera la temperatura media exterior con la finalidad de hacer masivo su uso.
- Se ajusta con el rango de temperaturas de acuerdo a la ubicación del caso de estudio.
- Si bien las mediciones de la base de datos original se realizaron en edificios de oficinas, el caso de estudio se ajusta con las condicionantes indicadas en las normas tales como flexibilidad en el uso y elección de la vestimenta (clo), actividades sedentarias, y la posibilidad de los usuarios de abrir y cerrar ventanas.
- La elaboración de la Norma Ecuatoriana de Eficiencia Energética (NEC) tomó como referencia las normas ASHRAE, de tal manera se estaría considerando para el rango de confort un Estándar de la misma fuente.

Para determinar el rango de la zona de confort y para determinar la temperatura media de Guayaquil se consideró el período con las temperaturas más altas (diciembre a mayo) con una temperatura media de 27.5°C. De acuerdo a la metodología del Standard 55 del método optativo (**Figura 48**) se utilizó el 90% de aceptabilidad con una temperatura promedio de 27.5°C determinando el siguiente rango de confort:

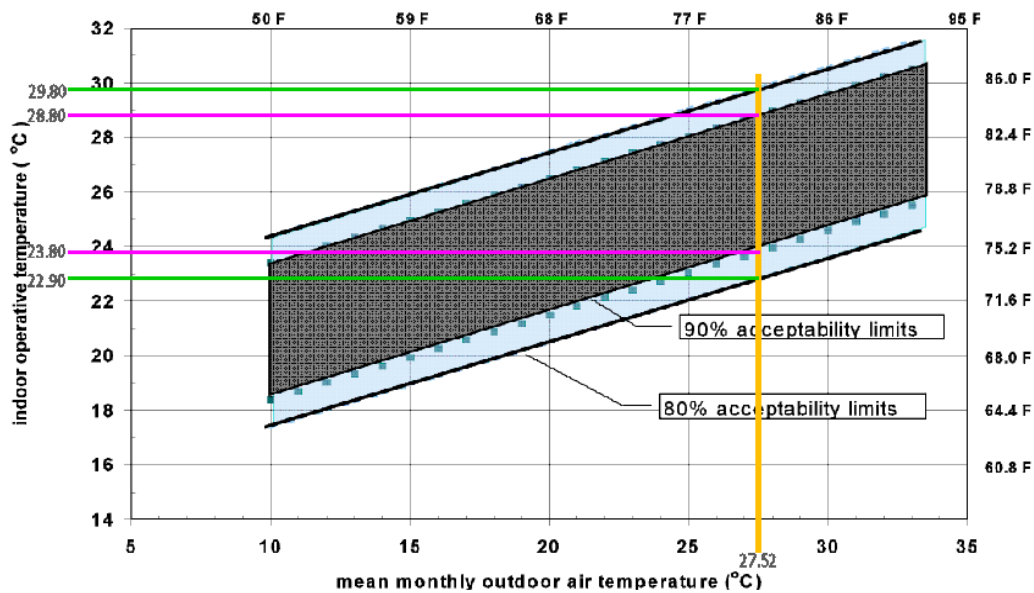


Figura 48. Método gráfico para la obtención de la Temperatura Operativa
Fuente: Elaboración propia en base ASHRAE Standard 55, 2010

- Límite superior 28.8°C.
- Límite inferior 23.80°C

En la **Figura 49** se presenta el diagrama psicrométrico de confort adaptativo con el programa Climate Consultant incorporando el rango del 90% de aceptabilidad; el límite inferior es de 22.6°C y el límite superior es 28.9°C. El diagrama está configurado para todos los meses del año, e indica que el 55% de las temperaturas interiores estarán bajo los parámetros de confort y el 45% estará en disconfort. De acuerdo a este resultado es importante analizar los datos de la **Tabla 30**, en la cual se ha elaborado un resumen de las dos temporadas climáticas de Guayaquil, la temporada lluviosa (diciembre a mayo) con una temperatura media de 27.5°C y la temporada seca (junio a noviembre) con una temperatura media 25.6°C. Estos datos indican que la mitad del año existen temperaturas altas y en los demás meses las temperaturas son más frescas, situación que se verifica en los datos del diagrama psicrométrico del Climate Consultant.

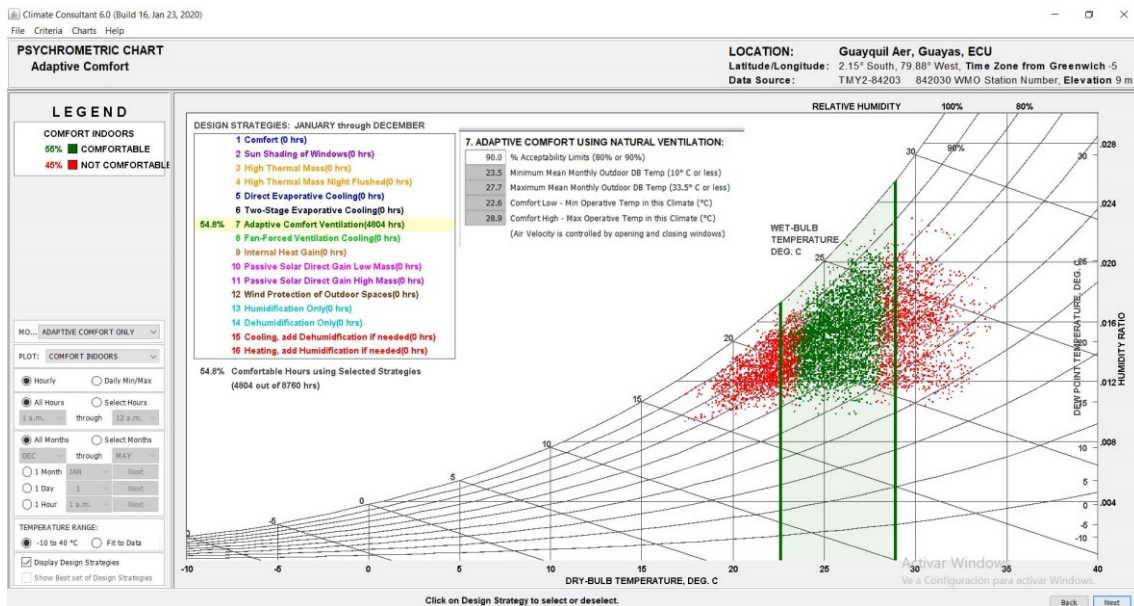


Figura 49. Diagrama de Confort Adaptativo-90% de aceptabilidad de los usuarios
Software: Climate Consultant

El Estándar ASHRAE 55 ha tenido una serie de modificaciones en el transcurso del tiempo y la última actualización del 2020 presenta una metodología en la cual sólo considera el

rango del 80% de aceptabilidad y el rango del 90% queda como informativo.⁸⁸ En la sección 5.4.2.2 del Estándar incluye las ecuaciones para el cálculo del rango de confort del 80% que se presentan a continuación:

Para el límite superior del 80% de aceptabilidad ($^{\circ}\text{C}$) = $0.31 \text{ t pma}^{89} (\text{out}) + 21.3$

Para el límite inferior del 80% de aceptabilidad ($^{\circ}\text{C}$) = $0.31 \text{ t pma} (\text{out}) + 60.5$

El valor t_{pma} para Guayaquil es 27.5°C y de acuerdo a las ecuaciones el rango de confort del 80% de aceptabilidad es el siguiente:

Rango superior 80% de aceptabilidad: 29.82°C

Rango inferior 80% de aceptabilidad: 22.82°C

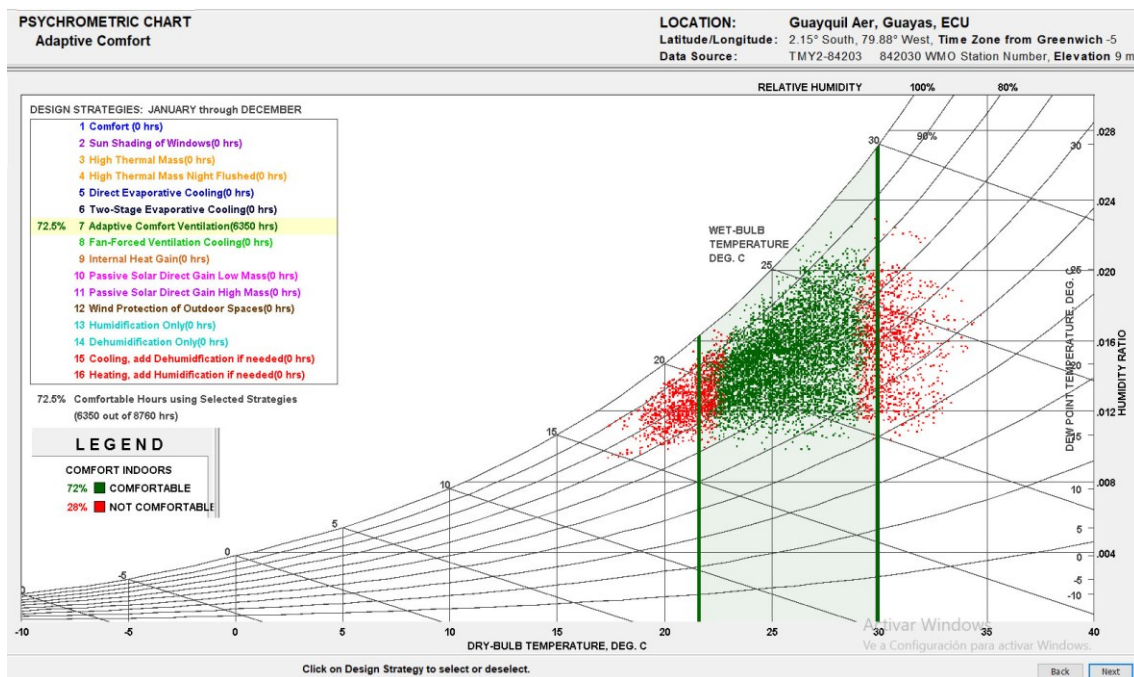


Figura 50. Diagrama de Confort Adaptativo-80% de aceptabilidad de los usuarios
Software: Climate Consultant

88 En la página 19 del Standard en la sección 5.4.2 indica lo siguiente: “Methodology. The allowable indoor operative temperatures to shall be determined from figure 5-8 using the 80% acceptability limits or the equations in Section 5.4.2.2. Informative Note: The 90% acceptability limits are included for information only” Disponible en internet: <<https://www.ashrae.org/technical-resources/standards-and-guidelines/read-only-versions-of-ashrae-standards>>

89 Mean outdoor air temperature: Temperatura media del aire exterior.

El uso del 80% de aceptabilidad genera que el rango de confort se amplíe con mayores horas de confort, sin embargo, de acuerdo al diagrama del Climate Consultant el 72% de las temperaturas interiores estarán en confort y sólo el 28% en discomfort. Esta situación no es coherente con el resumen climático de la **Tabla 30**, con las ecuaciones de confort (**Tabla 31**) de los investigadores sobre confort adaptativo como (Humphreys 1976, Auliciems 1981, Griffiths 1990, Nicol-Roaf 1996, Auliciems-Szokolay 1997, De Dear 1997) y con los resultados de los estudios de campo en zonas ecuatoriales como en Malasia **Tabla 23**, **Tabla 24** y en Venezuela **Tabla 25**, en los cuales se establece que los usuarios de los climas cálidos son más aptos para soportar altas temperaturas que las bajas temperaturas.

El límite inferior propuesto de 22.82° del Estándar 2020 no es coherente con las preferencias climáticas de las zonas tropicales de acuerdo a los estudios de campo presentados en el marco teórico de esta tesis. El límite superior de 29.82°C pudiera ser aceptado por usuarios que están habituados en viviendas con ventilación natural a diferencia de las preferencias de las personas que permanecen en ambientes climatizados, las cuales serán más reducidas y más sensibles a los ambientes que se alejen de la homogeneidad térmica.

Los usuarios del caso de estudio pertenecen a una típica familia de clase media que utilizan actualmente equipos de climatización en su vivienda, motivo por el cual sus expectativas de confort tienen un patrón determinado, condiciones que no podrían estar avaladas por el rango del 80% de aceptabilidad sugerido por el Estándar ASHRAE 55 del 2020. Probablemente el rango de aceptabilidad del 90% podría ofrecer un escenario más aproximado a sus preferencias térmicas especialmente en días nublados con mayores flujos de viento, o períodos que presenten menores amplitudes térmicas y con un prototipo de envolvente que disminuya las ganancias solares.

En la **Figura 51** se realizó una combinación de métodos para determinar la zona de confort mediante el uso del Diagrama de Givoni y el modelo de Confort Adaptativo analizando las temperaturas medias de los meses del año.

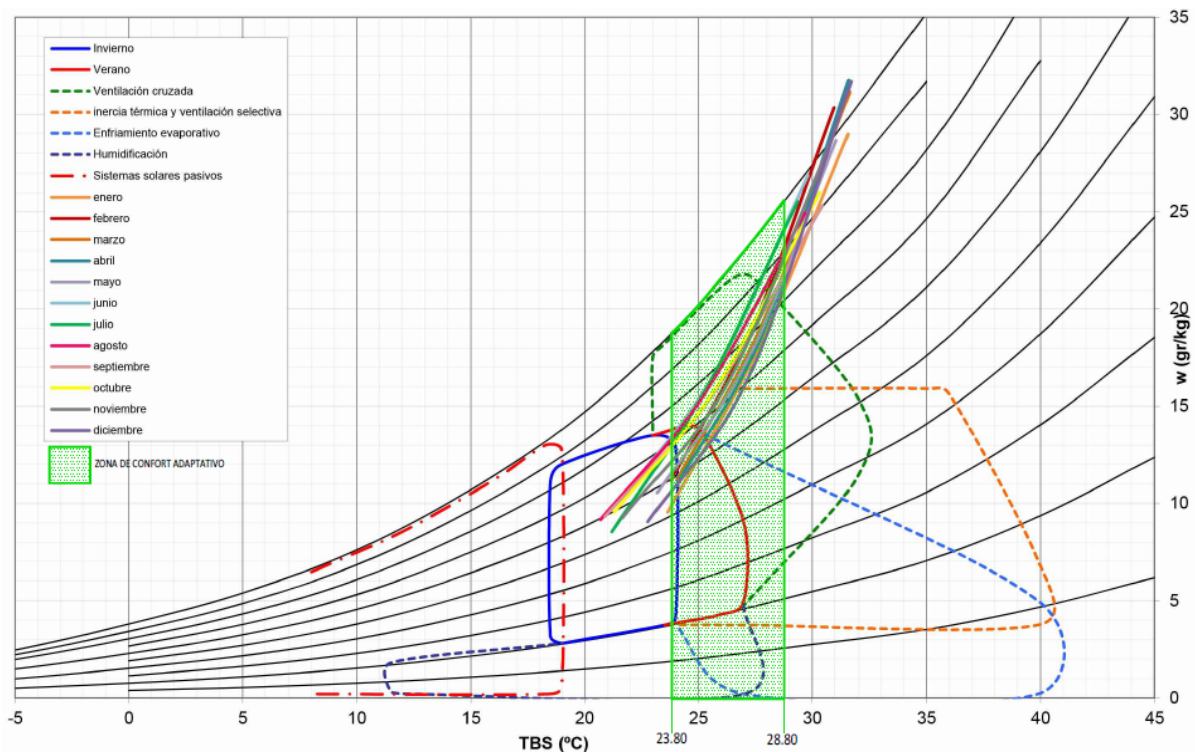


Figura 51. Climograma de Givoni y rango de confort adaptativo para Guayaquil⁹⁰
 Fuente: INAMHI. Software: PsicMouseion versión 1.3, autores J. Czajkowski, A. Gómez, 2007

El límite superior del confort adaptativo 90% de aceptabilidad del usuario comprende rangos temperatura y de humedad más altos comparándolo con el diagrama de Givoni en la zona que contempla la estrategia la ventilación cruzada. Desde julio a octubre las temperaturas están por debajo del límite inferior de la zona de confort mientras que los meses de noviembre a junio se encuentran por encima del límite superior, lo cual indica que los rangos de confort adaptativo son más amplios que la zona de ventilación cruzada e inercia térmica-ventilación que propone Givoni.

En la **Tabla 32** se presenta la tabla de excell Temp-Hora que calcula la temperatura de neutralidad a partir de las temperaturas medias mensuales y las temperaturas horarias de los 12 meses del año. Las temperaturas medias horarias las clasifica por rango ($0^{\circ}\text{C} < 18^{\circ}\text{C}$), ($18^{\circ}\text{C} < 21^{\circ}\text{C}$), ($21^{\circ}\text{C} < 25^{\circ}\text{C}$), (25°C o más). En horas de la madrugada se presentan temperaturas entre el rango de 25°C o más y en las horas de la mañana y tarde predominan las temperaturas que sobrepasan los 25°C .

⁹⁰ El rango de confort adaptativo se lo ha graficado manualmente sobre el diagrama Psicométrico de Givoni del software PsicMouseion.

TEMPERATURAS HORARIAS SEGUN MAXIMA MEDIA Y MINIMA MEDIA

ESTACION:	ESTACIÓN SONDA											TEMP.MEDIA ANUAL:	26.5		
FUENTE:	INAHMI											TEMP.NEUTRALIDAD:	25.81		
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	ANUAL	TMA	26.5
TEMP.MED.MAX	31.6	31	31.6	31.9	31	29.8	29.4	29.7	30.4	30.3	30.9	31.7	30.8		
TEMP.MED.MIN	23.6	23.8	21.1	24	23.2	21.7	21.2	20.7	20.9	21.3	21.7	22.8	22.2		
DIFERENCIA	8.0	7.2	10.5	7.9	7.8	8.1	8.2	9.0	9.5	9.0	9.2	8.9	8.6		

HORA COEFICIENTES

TEMPERATURAS HORARIAS

PROMEDIOS

	HORA	TEMPERATURAS HORARIAS												PROMEDIOS		AÑO
		ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	D-E-F	M-J-J	
1	0.46	27.3	27.1	25.9	27.6	26.8	25.4	25.0	24.8	25.3	25.4	25.9	26.9	27.1	25.7	26.1
2	0.32	26.2	26.1	24.5	26.5	25.7	24.3	23.8	23.6	23.9	24.2	24.6	25.6	26.0	24.6	24.9
3	0.19	25.1	25.2	23.1	25.5	24.7	23.2	22.8	22.4	22.7	23.0	23.4	24.5	24.9	23.6	23.8
4	0.08	24.2	24.4	21.9	24.6	23.8	22.3	21.9	21.4	21.7	22.0	22.4	23.5	24.0	22.7	22.9
5	0.02	23.8	23.9	21.3	24.2	23.4	21.9	21.4	20.9	21.1	21.5	21.9	23.0	23.6	22.2	22.3
6	0.00	23.6	23.8	21.1	24.0	23.2	21.7	21.2	20.7	20.9	21.3	21.7	22.8	23.4	22.0	22.2
7	0.06	24.1	24.2	21.7	24.5	23.7	22.2	21.7	21.2	21.5	21.8	22.3	23.3	23.9	22.5	22.7
8	0.15	24.8	24.9	22.7	25.2	24.4	22.9	22.4	22.1	22.3	22.7	23.1	24.1	24.6	23.2	23.5
9	0.26	25.7	25.7	23.8	26.1	25.2	23.8	23.3	23.0	23.4	23.6	24.1	25.1	25.5	24.1	24.4
10	0.44	27.1	27.0	25.7	27.5	26.6	25.3	24.8	24.7	25.1	25.3	25.7	26.7	26.9	25.6	26.0
11	0.79	29.9	29.5	29.4	30.2	29.4	28.1	27.7	27.8	28.4	28.4	29.0	29.8	29.7	28.4	29.0
12	0.91	30.9	30.4	30.7	31.2	30.3	29.1	28.7	28.9	29.5	29.5	30.1	30.9	30.7	29.3	30.0
13	0.97	31.4	30.8	31.3	31.7	30.8	29.6	29.2	29.4	30.1	30.0	30.6	31.4	31.2	29.8	30.5
14	1.00	31.6	31.0	31.6	31.9	31.0	29.8	29.4	29.7	30.4	30.3	30.9	31.7	31.4	30.1	30.8
15	0.98	31.4	30.9	31.4	31.7	30.8	29.6	29.2	29.5	30.2	30.1	30.7	31.5	31.3	29.9	30.6
16	0.94	31.1	30.6	31.0	31.4	30.5	29.3	28.9	29.2	29.8	29.8	30.3	31.2	31.0	29.6	30.3
17	0.91	30.9	30.4	30.7	31.2	30.3	29.1	28.7	28.9	29.5	29.5	30.1	30.9	30.7	29.3	30.0
18	0.87	30.6	30.1	30.2	30.9	30.0	28.7	28.3	28.5	29.2	29.1	29.7	30.5	30.4	29.0	29.7
19	0.83	30.2	29.8	29.8	30.6	29.7	28.4	28.0	28.2	28.8	28.8	29.3	30.2	30.1	28.7	29.3
20	0.80	30.0	29.6	29.5	30.3	29.4	28.2	27.8	27.9	28.5	28.5	29.1	29.9	29.8	28.5	29.1
21	0.75	29.6	29.2	29.0	29.9	29.1	27.8	27.4	27.5	28.0	28.1	28.6	29.5	29.4	28.1	28.6
22	0.70	29.2	28.8	28.5	29.5	28.7	27.4	26.9	27.0	27.6	27.6	28.1	29.0	29.0	27.7	28.2
23	0.64	28.7	28.4	27.8	29.1	28.2	26.9	26.4	26.5	27.0	27.1	27.6	28.5	28.5	27.2	27.7
24	0.57	28.2	27.9	27.1	28.5	27.6	26.3	25.9	25.8	26.3	26.4	26.9	27.9	28.0	26.6	27.1

0	<18	18	<21	21	<25	25.0	mas
---	-----	----	-----	----	-----	------	-----

Tabla 32. Temperaturas horarias (anual)
Software: Tabla de cálculo Excel Temp-Hora

4.4 Antecedentes del territorio

“A lo largo de la historia dos ciudades se han desarrollado con mayor dinámica que el resto del país, Quito y Guayaquil. Cada una con su identidad propia: Quito la ciudad capital y centro político, y Guayaquil ciudad porteña internacional y motor económico” (Senplades, 2009).

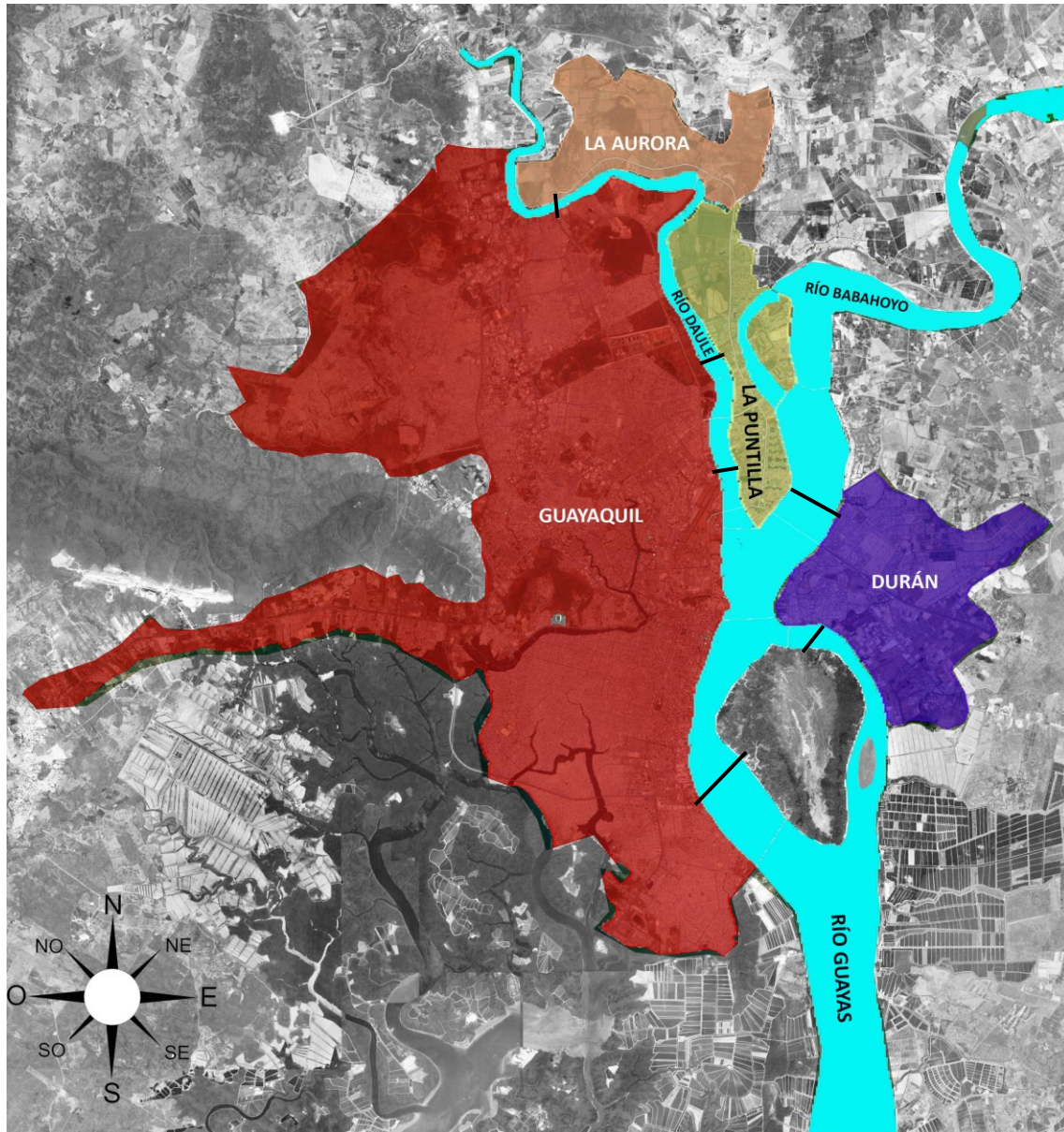
Actualmente los asentamientos humanos de Guayaquil y Quito con sus respectivas conurbaciones concentran el 44,2% de la población urbana a escala nacional. De acuerdo a las proyecciones del INEC en el año 2020, Quito será la región con el mayor número de habitantes con 2'781.641 desplazando a Guayaquil al segundo lugar con 2'723.665 habitantes.⁹¹

Guayaquil por su actividad económica, productiva y oferta educativa ha constituido un polo de desarrollo lo cual ha sido determinante para la migración de las poblaciones de los cantones vecinos. Esta característica ha ocasionado que ciudadanos de muchas provincias del Ecuador emigren hacia esta ciudad aumentando la población residente.

El crecimiento acelerado de la urbe ha traspasado los límites de su jurisdicción hacia los cantones cercanos ubicados al otro lado de los ríos que la rodean. Esto se consolidó mediante la construcción en 1970 del puente de la "Unidad Nacional" unificando Guayaquil con los cantones de Samborondón y Durán.

El cantón Samborondón formaba parte de las parroquias rurales del cantón Guayaquil y en 1955 logró su cantonización. Este territorio se ha caracterizado por su producción agrícola especialmente arrocería por su cercanía a numerosas cuencas hídricas, como la Cuenca Baja del Río Guayas con sus afluentes el río Daule y Babahoyo.

91 Disponible en internet
<https://www.ecuadorencifras.gob.ec/inec-presenta-sus-proyecciones-poblacionales-cantoniales/>



Mapa 7. Parroquias más cercanas a Guayaquil, la Puntilla (cantón Samborondón, La Aurora (Cantón Daule) y el Cantón Durán. Elaboración propia, base Google Earth

Antes de la finalización de las obras del puente de la Unidad Nacional⁹² se promocionaron urbanizaciones en terrenos de la hacienda ganadera “El Tornero” en la que se destacaba el entorno natural con la dotación de seguridad y privacidad. La urbanización la Puntilla en 1969 fue la primera en obtener la aprobación del Municipio de Samborondón previo al mejoramiento del suelo con la incorporación de relleno hidráulico. Ese fue el nacimiento de

92 Conexión vial que enlaza la ciudad de Guayaquil con los cantones de Samborondón y Durán. El primer puente sobre el río Daule conecta Guayaquil con Samborondón y el segundo puente sobre el río Babahoyo comunica Samborondón con Durán. Ver **Mapa 7**.

la primera ciudadela cerrada⁹³ del sector dirigida a un público de poder adquisitivo medio y alto; poco tiempo después en 1971 se creó la urbanización de Entreríos (PDOT del cantón Samborondón 2012-2022).

En 1980 comenzó la construcción paulatina de varias urbanizaciones que mantuvieron el esquema de ciudadela cerrada, situación que se mantiene en la actualidad. Con la finalidad de satisfacer o abastecer los requerimientos de la población residente que iba en aumento, se construyeron equipamientos comerciales, educativos y de servicios. Este nuevo escenario urbano no contaba con un Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial ⁹⁴ para la regulación de los usos de suelo.

Los desarrollos urbanísticos del cantón Samborondón se unificaron con los proyectos del cantón Daule, específicamente con la parroquia Satélite de la Aurora en la cual se concentran proyectos inmobiliarios, comerciales, servicios y de vivienda, esta última destinada a un público conformado por familias de profesionales jóvenes de nivel socioeconómico medio, que ha sido beneficiado por la otorgación de créditos hipotecarios del BIESS (F. Cadena, M. Ramos, M. Pazmiño, O. Mendoza, 2010).

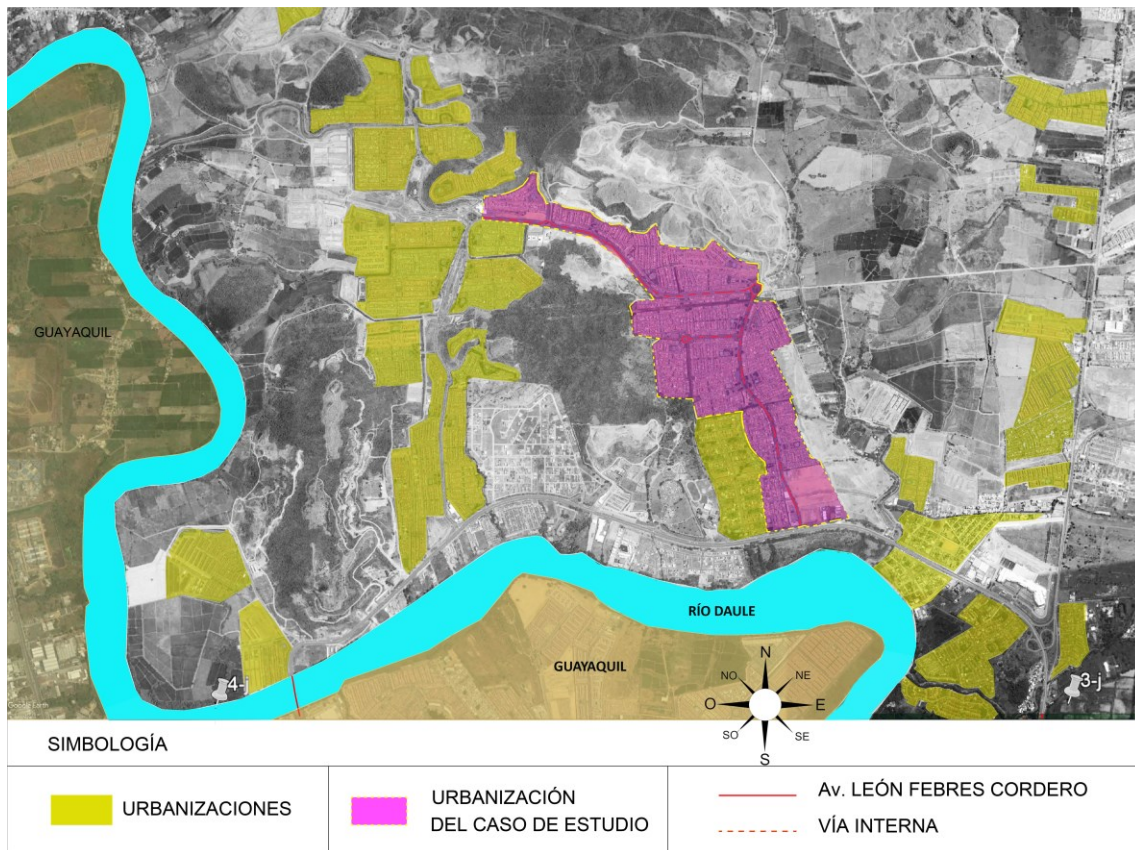
93 “Es una nueva forma privatizadora del espacio colectivo de la ciudad, una forma de ensanchar ámbitos privados a costa del espacio público tolerada por los gobiernos locales e impulsada por los promotores inmobiliarios”

“Barrios cerrados en este sentido son barrios con dos y más casas o departamentos separados, que cuentan con una infraestructura común y son separados del espacio público por un muro, un cercado y puertas. Las instalaciones de infraestructura pueden ser un área verde, instalaciones deportivas o infantiles, piscinas o una casa club. Una casa alta departamental, protegida por un guardia es solamente un barrio cerrado, si dispone sobre un muro separado, una puerta asegurada e infraestructuras comunes”.

Fuente: Hacia la ciudad fragmentada. Tempranas estructuras segregadas en la ciudad latinoamericana, (Borsdorf 2014).

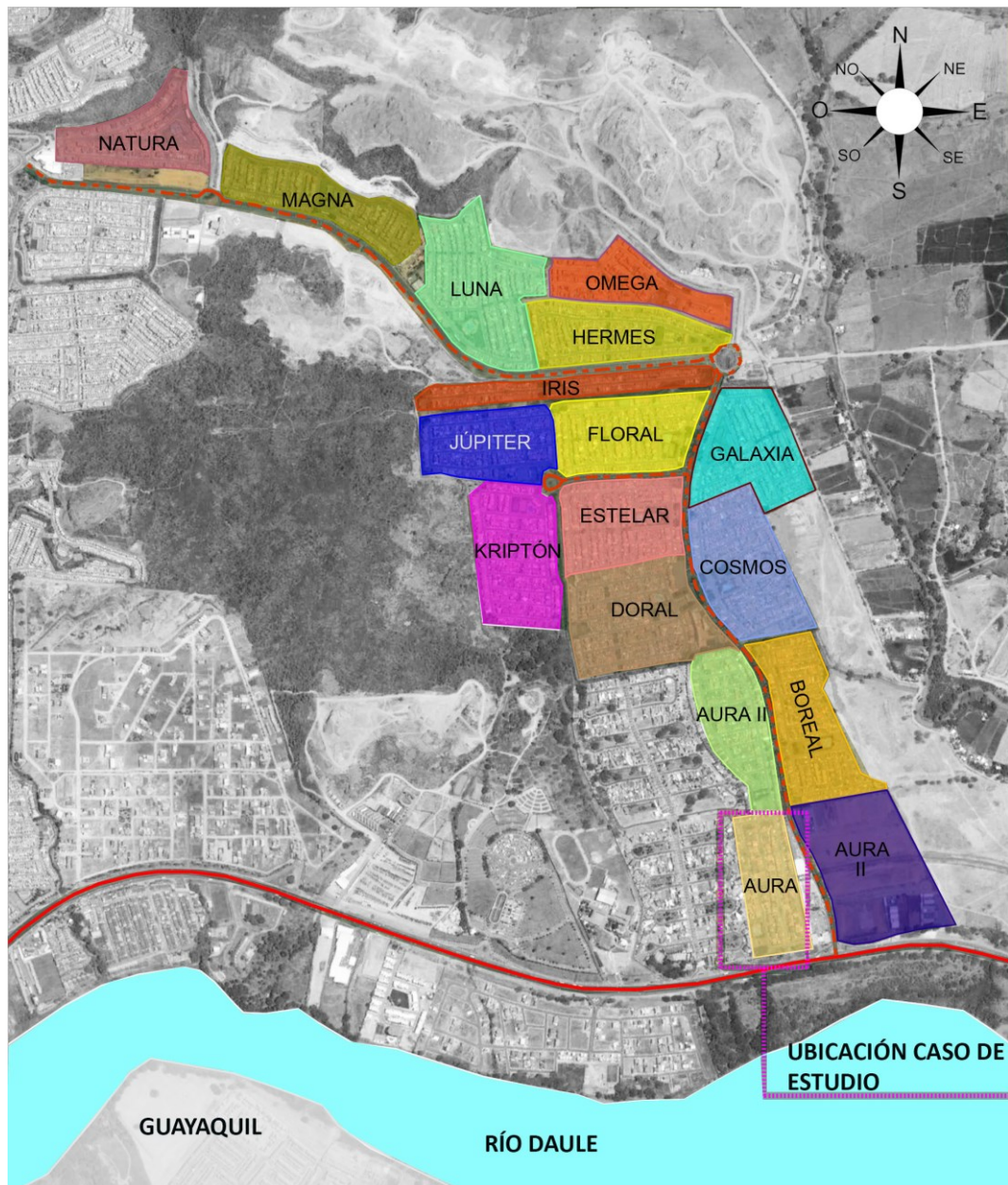
94 “La actual parroquia satélite La Puntilla constituye el área de asentamiento para los estratos medios y altos de población con la mayor dinámica de crecimiento en el área metropolitana de Guayaquil. Este sector ha recibido la llegada de una población creciente desde la construcción de la urbanización la Puntilla y la subdivisión del territorio en macrolotes. El proceso de urbanización de este sector se dinamizó con la construcción del tramo de la Vía Perimetral entre la Puntilla y la Aurora con los cual se revalorizaron los terrenos.”

Fuente: Plan Cantonal de Desarrollo & Plan de Ordenamiento Territorial 2012-2022 Cantón Samborondón-Provincia del Guayas.



En el **Mapa 8**, se ha graficado algunas de las urbanizaciones existentes en el sector de la Aurora, las cuales se siguen extendiendo hacia el norte, llegando a unificarse con parroquias rurales, cuyas tierras tienen vocación agrícola. Por la extensión territorial, la mayoría de las urbanizaciones⁹⁵ cuentan con un Plan Maestro que presenta el número de ciudadelas o etapas que la conforman, las cuales se construyen y se entregan de acuerdo a las ventas concretadas en planos.

95 Los planes habitacionales son conjuntos cerrados, con guardianía las 24 horas del día, cuentan con todos los servicios básicos, vías de acceso, áreas verdes, club privado con piscina y canchas deportivas, equipamiento comercial en ciertos sectores, los cuales no están dentro de los conjuntos de vivienda.



Mapa 9. Plan Maestro Urbanización Villa Club.
Elaboración propia, base Google Earth

Las empresas inmobiliarias comercializan el terreno en conjunto con la vivienda, para lo cual cuentan con varios modelos arquitectónicos de uno o dos pisos que varían de acuerdo a la cantidad de metros cuadrados de construcción y dimensión del lote. Para el caso de estudio se ha escogido una vivienda unifamiliar de la Urbanización Villa Club por su importancia en el mercado inmobiliario y extensión territorial. El proyecto está conformado por 15 etapas, (**Mapa 9**), cada una tiene entre 300 a 400 viviendas aproximadamente.

Según la página web de la urbanización Villa Club tiene una población aproximada de 80.000 habitantes.



Mapa 10. Urbanización Aura, ubicación caso de estudio.
Elaboración propia, base Google Earth

El caso de estudio lo conforma una vivienda unifamiliar ubicada en la etapa Aura, que corresponde a la primera ciudadela que se construyó del Plan Maestro; cuenta con 8 manzanas con un total de 246 viviendas. En el **Mapa 10** se presentan las manzanas que componen la urbanización Aura pudiéndose observar que la mayoría de las viviendas poseen una orientación desfavorable con respecto al asoleamiento.

Etapa Aura		
Mz	cantidad de viviendas	orientación fachada frontal-posterior
A	46	ENE
B	43	ENE
C	23	ENE
D	40	ENE
E	40	ENE
F	26	ENE
G	16	NNO
I	12	ENE
TOTAL	246	

Tabla 33. Manzanas, cantidad de viviendas y orientación

La Mz. G compuesta por 16 viviendas y parte de la Mz. I con 4 viviendas, sólo estas 20 viviendas cuentan con una orientación favorable SSE-NNO equivalente al 8.13% del total. La forma del terreno fue determinante en el diseño del trazado de la urbanización para para la obtención de un mayor número de lotes.

El caso de estudio se ubica en las siguientes coordenadas geográficas lat-2.04°, long - 79.89°, 4 m.s.n.m, en la manzana E villa 1 orientación desfavorable con respecto al sol ENE-ESE (**Tabla 33**).



Figura 52. Fotografía sector de la urbanización

4.5 Descripción de la vivienda

Propietarios

Los usuarios de la vivienda la conforman una familia de cuatro integrantes.

No	Integrantes de la familia	Edad	Profesión u ocupación
1	Padre	45	Ingeniero Civil
2	Madre	47	Abogada
.3	Hija	23	Abogada
4	Hijo	10	Estudiante

Tabla 34. Información de la familia.

Fuente: Elaboración propia

La familia cuenta con una señora que trabaja en los quehaceres domésticos, cuyo horario de trabajo empieza desde las 9:30 de la mañana hasta las 16:30. Se encarga de realizar el almuerzo, diversas tareas del hogar y recibe al hijo menor de la familia cuando llega del colegio.

Características arquitectónicas

La vivienda fue construida en el año 2004, se compone de dos plantas y está asentada en un terreno con un área de 182.40 metros cuadrados, cuyo frente es de 8 metros y fondo de 22.80 metros.

Planta baja (m2)	Planta alta (m2)	Retiro frontal (ml)	Retiro posterior (ml)	Retiro lateral derecho (ml)	Retiro lateral izquierdo (ml)
47.36	47.36	4.90	10.50	adosada	1.60

Tabla 35. Superficies y retiros de la vivienda.
Fuente: Elaboración propia

La planta baja y la planta alta tiene 6.40 de frente y 7.40 de largo con una superficie de 47.36 metros cuadrados cada una, sumando un total de 94.72 metros cuadrados de construcción. La planta baja cuenta con sala-comedor, cocina, baño de visitas, jardín en el frente, patio trasero y el retiro de 1.60 m que comunica la cocina y el dormitorio de servicio el cual está inhabilitado. La planta alta tiene tres habitaciones, un dormitorio principal con baño, dos dormitorios sencillos, un baño, un pequeño corredor y el sector donde se ubica la escalera. El patio posterior es de 8 metros de ancho con un fondo de 10.50 metros, lo cual posibilita un futuro aumento de la vivienda, situación que fue acogida por los propietarios en el año 2016.

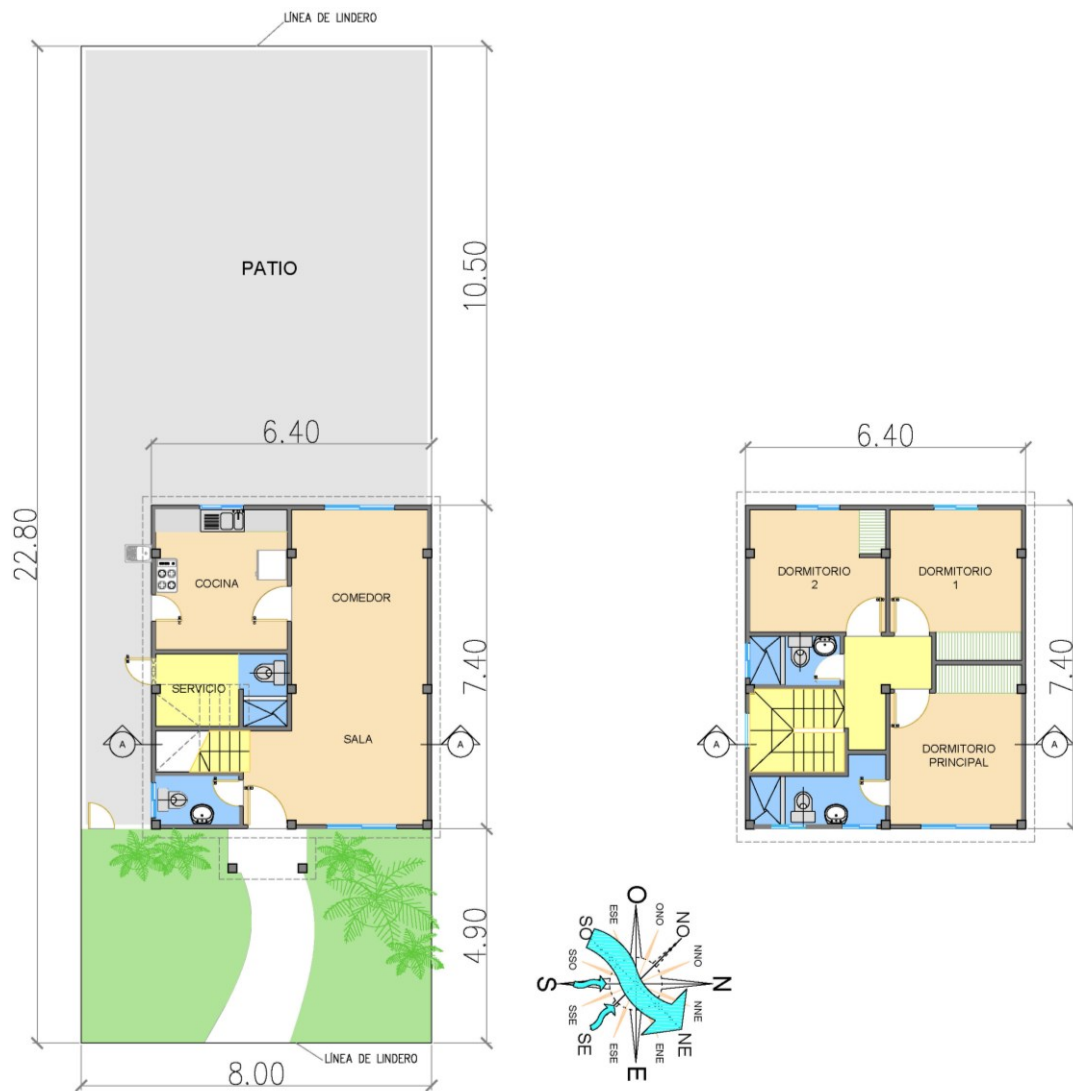


Figura 53. Proyecto arquitectónico original

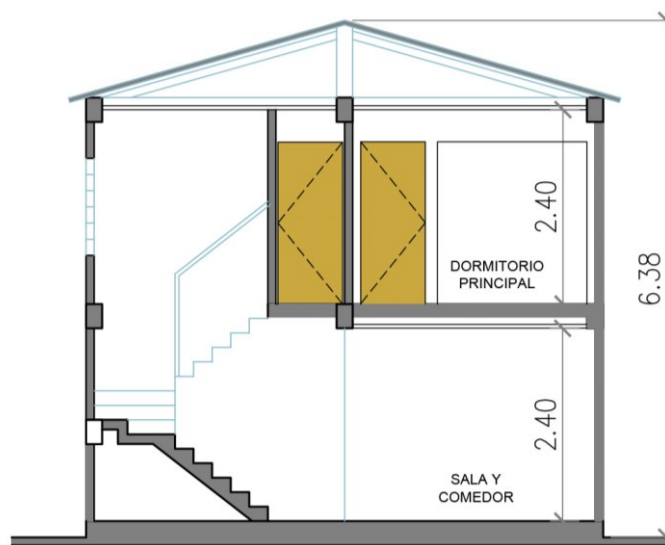


Figura 54. Corte A-A



Figura 55. Fotografía fachada frontal

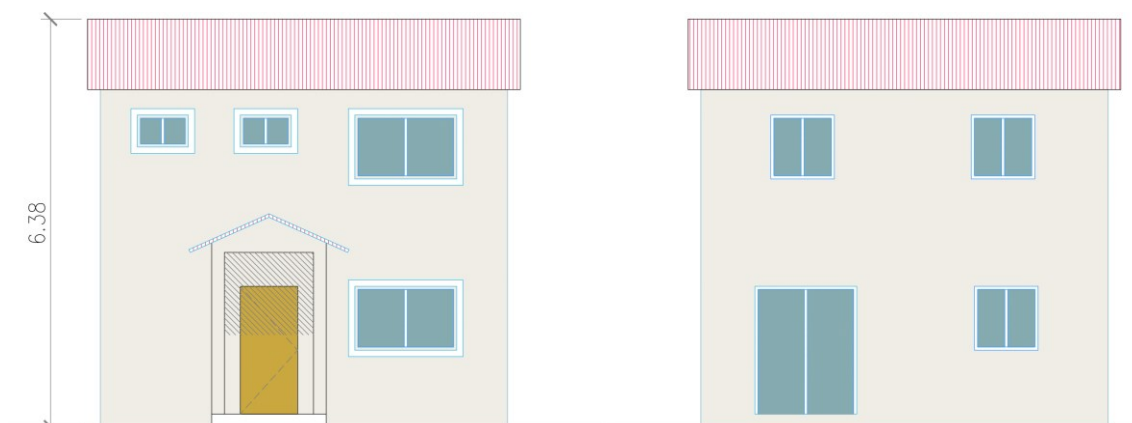


Figura 56. Fachada Frontal y Fachada Posterior (antes de la remodelación)

Diseño ambiental y tecnología

El sistema constructivo de la vivienda cuenta con estructura de hormigón armado, paredes de mampostería, bloque liviano de cemento-arcilla de 9 cm de ancho, ventanas y puertas corredizas de piso a techo con vidrio simple de 4 mm y 6mm de espesor respectivamente y cubierta de fibrocemento. En el interior los pisos son revestidos con

porcelanato, paredes enlucidas y pintadas. Los ambientes interiores cuentan con cielo raso tipo “gypsum” a una altura de 2.40 en la planta baja y alta.

La fachada frontal está orientada hacia el este, la fachada posterior al oeste, y la fachada lateral izquierda hacia el norte.

Descripción	Especificación Técnica	Coefficiente de Transmitancia Térmica(W/m ² K)
Muro exterior	ladrillo hueco con enlucido	2.00 ⁹⁶
Ventanas	Perfilería de aluminio anodizado natural, vidrio bronce simple 4 mm	5.89 ⁹⁷
Puertas corredizas (piso a techo)	Perfilería de aluminio anodizado natural Vidrio bronce simple 6 mm	5.78 ⁹⁸
Cubierta	placas de fibrocemento (Eternit) 5mm	6.55 ⁹⁹

Tabla 36. Coeficientes de transmitancia térmica de la envolvente de la vivienda
Elaboración propia

4.6 Monitoreo térmico (2016)

El primer período de mediciones se realizó el mes de enero del 2016, desde el sábado 16 hasta el domingo 24 de enero. Se utilizaron nueve registradores de datos marca HOBO, siete equipos modelo UX100-011 Temperatura/Humedad Relativa (a menos de 2.55% de precisión) y dos equipos modelo UX100-003 (a menos de 3.5% de precisión).



Figura 57. HOBO modelo UX100-011

96 Fuente: Environmental Design- CIBSE Guide A

97 Fuente: NEC- Norma Ecuatoriana de la Construcción- Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales

98 Fuente: NEC- Norma Ecuatoriana de la Construcción- Eficiencia Energética en Edificaciones Residenciales

99 Fuente: Eternit, folleto técnico “Chapas onduladas de fibrocemento: Fortaleza, Economía y Durabilidad”. Disponible en internet: www.eternit.com.ar.



Figura 58. HOBO UX100-003

Se colocaron registradores de datos (data logger) en todos los ambientes interiores de la vivienda excepto los baños y el cuarto de servicio. Los equipos fueron colocados a una altura de 1.5 m en las paredes de los ambientes respetando los requerimientos de los propietarios con la finalidad de no perturbar sus hábitos y costumbres. En el sector de la caja de la escalera se ubicaron dos equipos, uno en la planta baja y el otro en la planta alta para monitorear la estratificación de la temperatura del aire.

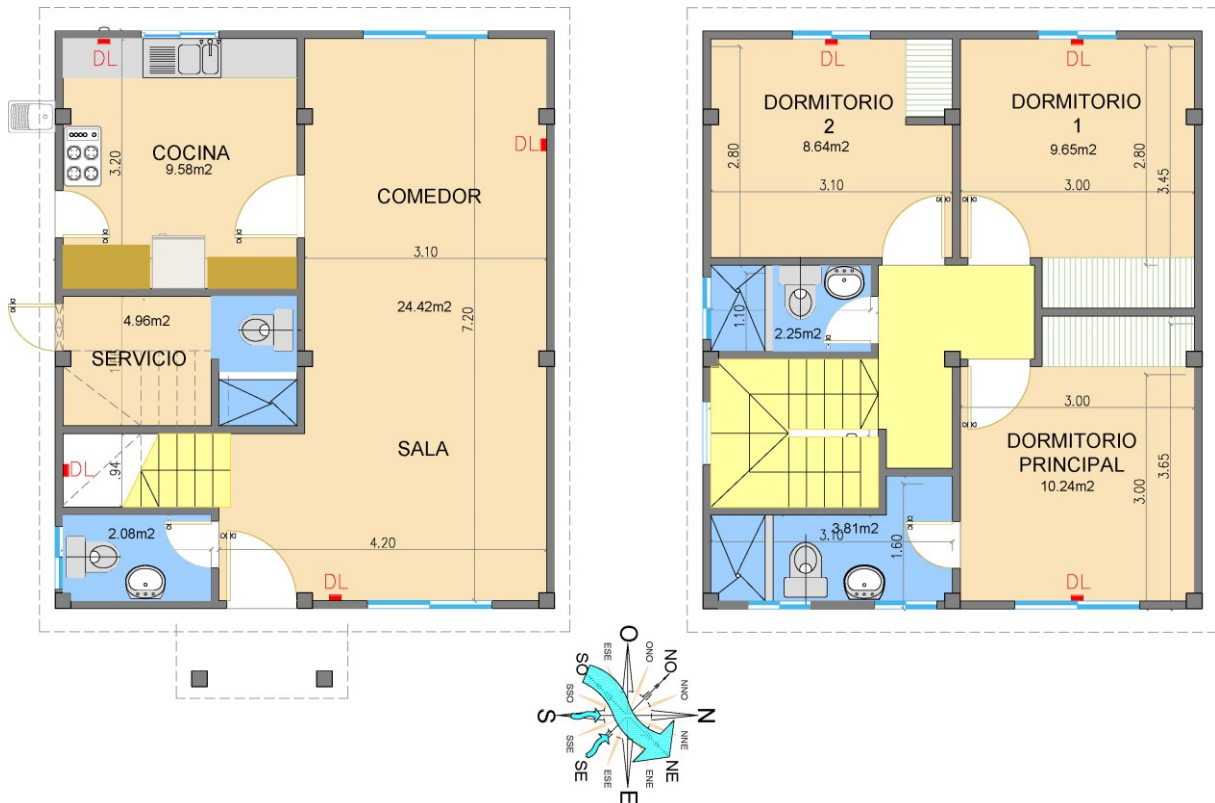


Figura 59. Ubicación de micro adquirentes de datos (HOBOS).
Elaboración propia

De acuerdo al análisis climático general de la localidad donde se ubica el caso de estudio, la temporada lluviosa es la época más calurosa del año, comprende los meses de diciembre,

enero, febrero, marzo, abril y mayo. Por tal razón este primer monitoreo térmico se lo realizó en el mes de enero, período del 16 al 24 de enero del 2016 el cual fue comparado con las temperaturas correspondientes al clima exterior, datos proporcionados por el INAMHI, estación meteorológica de Montebello la más cercana al caso de estudio.

Lamentablemente los datos de la estación meteorológica estaban incompletos, ya que faltaban algunos días específicamente el 21 al 23 de enero del 2016, razón por la cual en la **Tabla 37** se presentan sólo el detalle de las temperaturas del 16 al 21 de enero del 2016. Dentro de este período de tiempo se presentaron temperaturas máximas del clima exterior que varían desde los 26.97°C hasta los 31.40°C en horas de la tarde desde las 12:00 hasta 16:00 representando el período más crítico. La temperatura media se desarrolla en un rango de 24.72°C hasta 27.47 °C. Con respecto a las temperaturas mínimas, éstas se presentan en horas de la noche, en la madrugada y en el amanecer. En horas de la mañana también se presentan altas temperaturas generalmente desde las 10:00 de la mañana, llegando su pico máximo entre las 14:00 y 15:00 de la tarde. Para esa época la vivienda contaba con acondicionadores de aire en el dormitorio principal y en el dormitorio 2 ocupado por el hijo menor de la pareja.

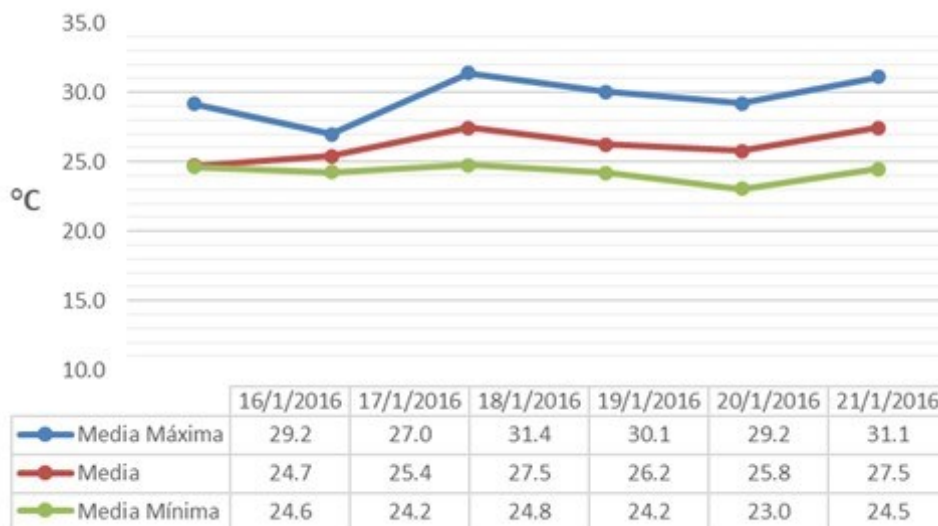


Tabla 37. Temperatura exterior 16-21 de enero
Elaboración propia

En la **Tabla 38** se presentan los valores de humedad relativa; se observan en todo el período analizado valores del 100% de HR. Los valores medios están en un rango de 77.10 %

al 96.86%. En la mayoría de los casos los valores del 100% de HR se presenta en las horas de la madrugada, las primeras horas de la mañana y en horas de la noche. Ocasionalmente este valor máximo también se presenta en las tardes.

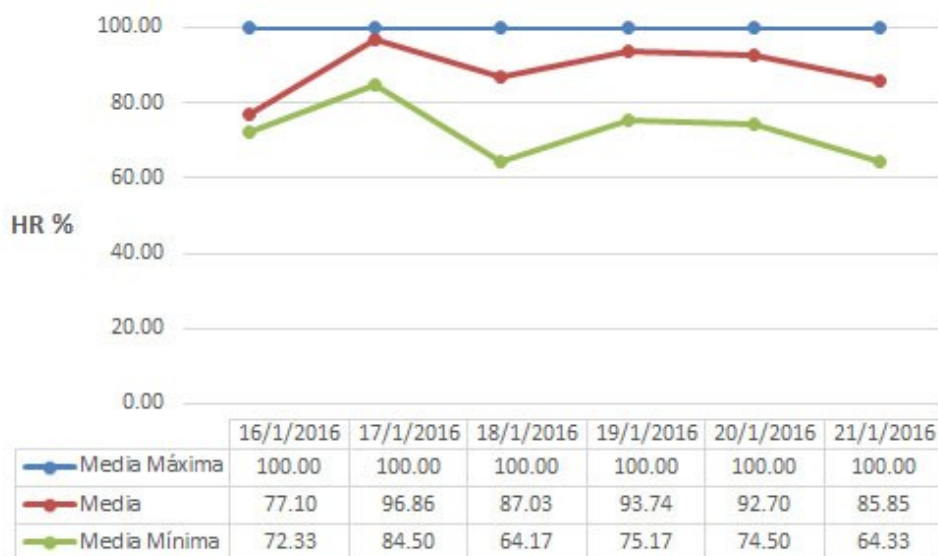


Tabla 38. HR exterior período 16-21 de enero
Elaboración propia.

En la **Tabla 39** se presenta un gráfico combinado los valores de temperatura y humedad máximas y mínimas. Con respecto a las temperaturas se observan amplitudes térmicas entre 5 y 6 °C; los valores de humedad máximos llegan al 100% y los mínimos entre el 64% hasta el 84%.

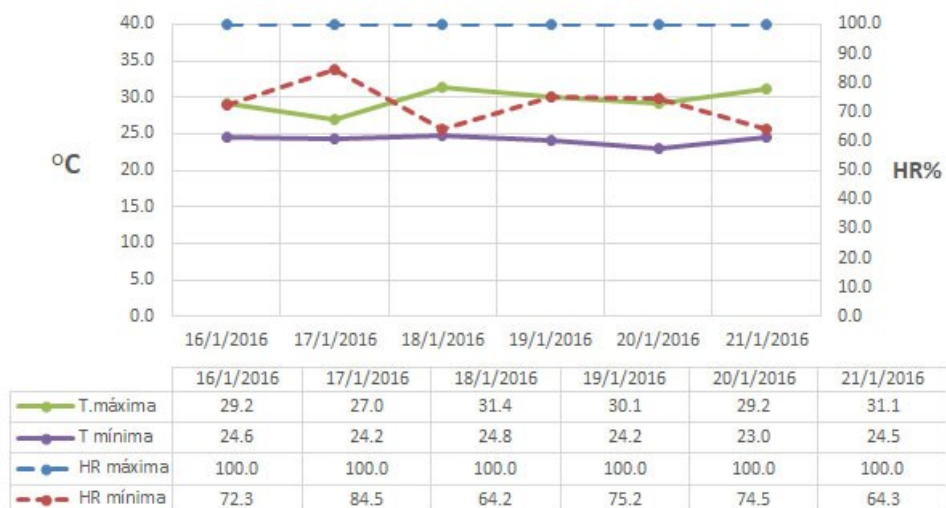


Tabla 39. Temperatura y HR exterior período 16-21 de enero.
Elaboración propia.

En la **Tabla 40** están graficados las mediciones de los ambientes de la vivienda, agregando la temperatura exterior y la radiación solar, los datos de éste último ítem no aparece en el período del 22 de enero desde la 7:00 hasta el día 23 de enero a las 14:00. Esta situación se originó por el archivo climático del INAMHI ya que los equipos de la estación de meteorología no registraron el intervalo antes mencionado.

En general se observa que las temperaturas del interior de la vivienda superan las temperaturas del clima exterior. En la **Tabla 40** Los ambientes de planta baja tienen un comportamiento más homogéneo entre sí, incluyendo el sector de la escalera. La cocina y el comedor orientados al oeste presentan las temperaturas máximas, cabe recalcar que la cocina por su función la tendencia será que este ambiente esté condicionado a una temperatura más alta en comparación con los demás ambientes de planta baja y por su orientación hacia el oeste.

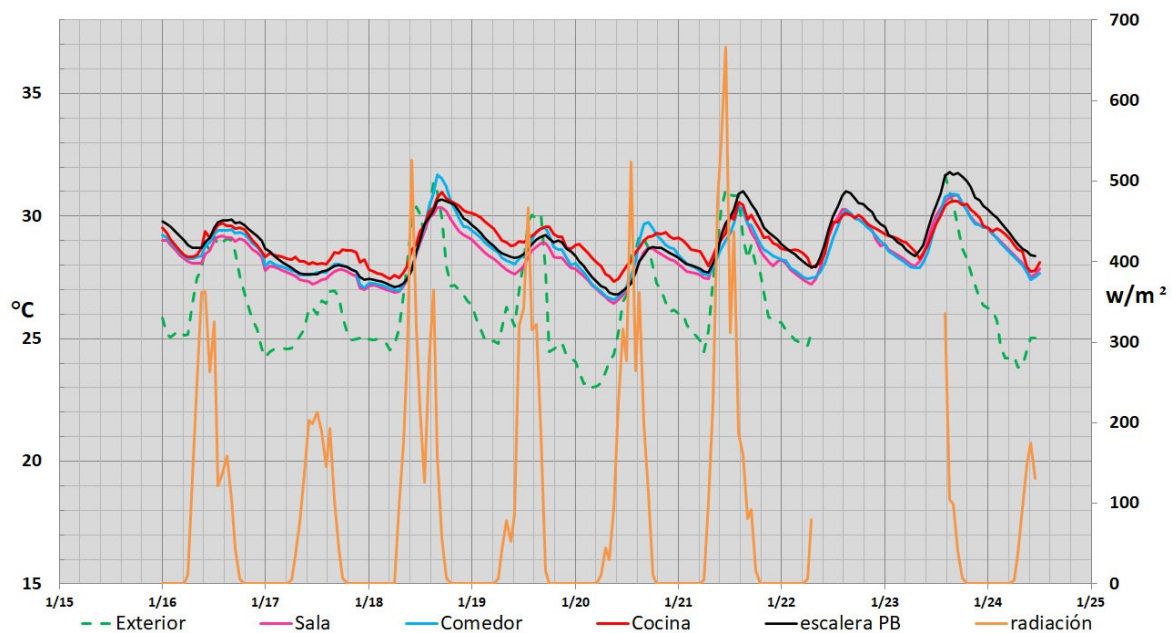


Tabla 40. Monitoreo térmico planta baja, período 16 enero al 24 de enero del 2016.
Elaboración propia

En la **Tabla 41** se presentan las temperaturas de la planta alta. El dormitorio principal y el dormitorio 2 poseen aire acondicionado motivo por el cual se observan amplitudes térmicas considerables en comparación con el resto de ambientes de la vivienda. El dormitorio principal está orientado hacia el este y los dos restantes hacia el oeste aumentando su captación de calor incluyendo la cubierta que no cuenta con aislación térmica.

Con respecto a los valores de la radiación solar, en primera instancia se observan temperaturas máximas en horas de la mañana desde las 9:00 hasta las 11:00. En horas de la tarde en algunos días se presentan los valores más altos entre la 13:00 hasta la 15:00, a partir de esa hora va disminuyendo hasta el ocaso solar aproximadamente a las 18:30. Se presenta una clara correlación del efecto de la radiación solar entre las temperaturas máximas del exterior y las temperaturas interiores. Pero cómo se indicó anteriormente el efecto térmico exterior en el interior de la vivienda produce que esta se mantenga más “caliente” con respecto al clima exterior especialmente en horas de la noche.

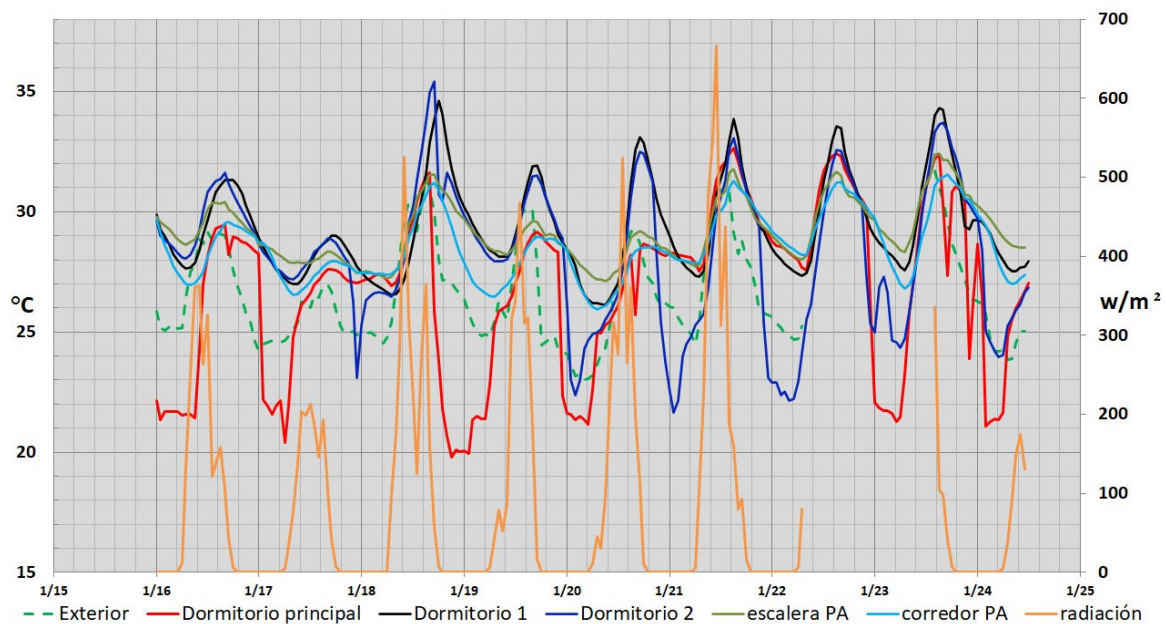


Tabla 41. Monitoreo térmico planta alta, período 16 enero al 24 de enero del 2016.
Elaboración propia

En la **Tabla 42** se presenta en detalle un resumen de las temperaturas de los ambientes monitoreados, se observa que predomina en la mayor parte del período las temperaturas que oscilan entre 25°C y 30°C. En segunda instancia predominan las temperaturas mayores a 30°C y en menor proporción se presentan temperaturas menores entre 20°C y 25°C por el uso del aire acondicionado. Generalmente por las noches se utiliza climatización mecánica en el dormitorio principal y en el dormitorio 2 ocupado por el miembro más joven de la familia.

FECHA	SALA			COMEDOR			COCINA			DORMITORIO MASTER			DORMITORIO 1			DORMITORIO 2			ESCALERA PB			ESCALERA PA			CORREDOR PA		
	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min
16/1/2016	29.2	28.7	28.1	29.5	28.9	28.3	29.7	29.1	28.3	29.5	25.6	21.3	31.3	29.5	27.6	31.6	29.7	28.0	29.9	29.4	28.7	30.4	29.5	28.6	29.7	28.5	27.0
17/1/2016	28.0	27.6	27.0	28.1	27.8	27.1	28.6	28.3	28.0	28.2	25.4	20.4	29.0	28.0	27.0	28.9	27.8	23.1	28.7	27.9	27.4	28.6	28.1	27.5	28.8	27.6	26.5
18/1/2016	30.3	28.5	26.9	31.7	28.8	27.0	31.0	29.1	27.5	31.6	26.5	19.8	34.6	29.4	26.6	35.4	29.4	25.3	30.7	28.8	27.1	31.5	29.2	27.2	31.2	28.8	27.4
19/1/2016	29.0	28.3	27.6	29.5	28.7	28.0	30.1	29.3	28.7	29.1	25.6	19.9	31.9	29.6	28.1	31.5	29.4	27.9	29.6	28.8	28.3	29.7	28.9	28.2	29.0	27.8	26.5
20/1/2016	28.7	27.6	26.5	29.8	28.0	26.6	29.3	28.5	27.3	28.7	25.5	21.2	33.1	28.7	26.1	32.5	27.0	22.4	28.7	27.8	26.8	29.2	28.1	27.1	28.5	27.4	26.0
21/1/2016	30.4	28.6	27.4	30.4	28.7	27.6	30.6	29.2	28.0	32.6	29.8	27.5	33.9	29.7	27.3	33.1	27.6	21.6	31.0	29.2	27.7	31.8	29.5	27.7	31.3	29.4	27.9
22/1/2016	30.3	28.8	27.2	30.2	28.7	27.5	30.1	29.1	27.9	32.4	29.8	26.3	33.6	29.8	27.3	32.6	27.3	22.1	31.0	29.4	27.9	31.7	29.7	28.0	31.2	29.7	28.2
23/1/2016	30.9	29.4	28.0	30.9	29.3	27.9	30.6	29.6	28.3	32.3	26.9	21.3	34.3	30.3	27.6	33.7	29.2	24.3	31.8	30.1	28.4	32.4	30.3	28.3	31.5	29.4	26.8
24/1/2016	29.5	29.3	27.5	29.5	29.3	27.7	29.5	29.5	27.7	28.7	26.9	21.1	29.7	30.1	27.5	29.7	28.8	24.0	30.3	30.2	28.4	30.3	30.3	28.5	29.9	29.5	27.0

Tabla 42. Detalle temperaturas, enero 2016 (máximas, medias y mínimas).
Elaboración propia

Las temperaturas máximas corresponden a los dormitorios 1 y 2 orientados hacia el oeste; el dormitorio 2 llega a un máximo de 35.4°C y el dormitorio 1 con 34.6°C. En el dormitorio principal orientado al este registra una temperatura máxima de 32.6°C. Las temperaturas máximas por lo general se presentan en horas de la tarde.

En la

Figura 60 se presentan las mediciones de los ambientes incorporadas en el diagrama de Givoni y de confort adaptativo. Las mediciones del dormitorio principal (orientación este), y del dormitorio 2 (orientación oeste) se encuentran dentro del límite de confort de invierno, fuera de la zona de confort adaptativo; el rango de temperaturas se encuentra entre los 18.50 °C a 24°C, situación que se presenta por el uso del aire acondicionado. El dormitorio 1 (orientación oeste) registra temperaturas dentro de un rango de 26°C hasta una máxima de 34.6 °C. En el período de tiempo que no se utiliza el AC el dormitorio principal (orientación este) se presentan máximas de 32.4 °C.

Con respecto a la HR la mayoría de las mediciones se encuentran dentro de un rango entre 60% y 85%. Por el uso del aire acondicionado el dormitorio principal y el dormitorio 2 presentan valores de HR entre 35% y 75%.

Considerando el rango de confort adaptativo en el gráfico se observa que un porcentaje considerable de las mediciones de los ambientes se encuentra fuera del límite de confort superior de 28.8 °C, y sobrepasan los límites de la estrategia de ventilación en el gráfico de Givoni.

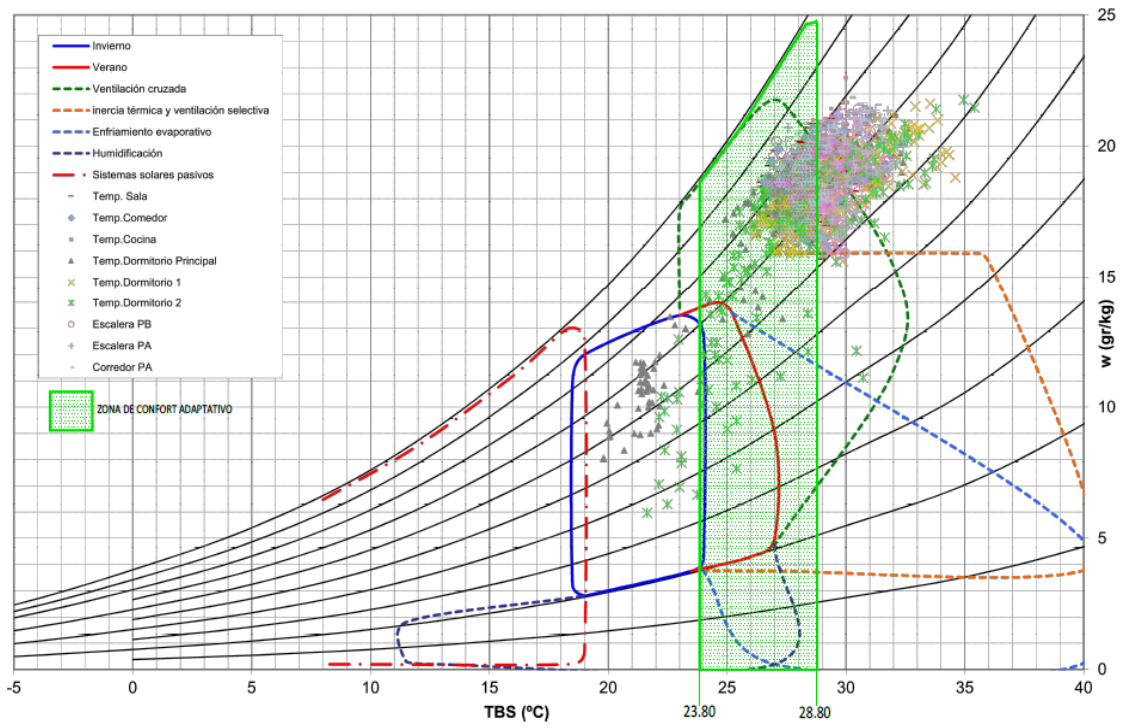


Figura 60. Diagrama Psicométrico de Givoni- Modelo de confort adaptativo con mediciones interiores (2016)¹⁰⁰
 Software: PsicMouseion versión 1.3, autores J. Czajkowski, A. Gómez, 2007

100 El rango de confort adaptativo se lo ha graficado manualmente sobre el diagrama Psicométrico de Givoni del software PsicMouseion.

4.7 Monitoreo térmico (2018)

En el año 2017 los propietarios de la vivienda realizaron reformas en la planta baja, ampliando el comedor y la construcción de una sala de tv la cual quedó separada de la cocina por un patio interior que proporciona luz y ventilación a los ambientes contiguos.



Figura 61. Remodelación planta baja y ubicación de micro-adquisidores de datos (HOBOS).

Por la remodelación fue necesaria una segunda medición realizada desde el período del 14 al 31 de marzo¹⁰¹ del 2018. Se utilizaron nueve registradores de datos marca HOBOS, siete equipos modelo UX100-011 Temperatura/Humedad Relativa (2.55 de precisión) y dos equipos modelo UX100-003 (a menos de 3.5% de precisión). Los equipos se colocaron en

101 De acuerdo al análisis del clima los meses que presentan las temperaturas más altas son enero y marzo. La primera medición fue realizada el mes de enero del 2016.

todos los ambientes interiores de la vivienda excepto los baños, el cuarto de servicio y en el sector de la escalera en la primera planta. En planta baja los equipos fueron colocados a una altura de 1.5 m en las paredes de los ambientes respetando los requerimientos de los propietarios con la finalidad de no perturbar sus hábitos y costumbres. En el sector de la caja de la escalera se colocó un equipo en la planta alta para monitorear la estratificación de la temperatura del aire.

Para la medición de la temperatura exterior se utilizó un micro adquisidor y se consultó sobre la protección de los efectos de la radiación solar al Dr. Luis Alejandro Hernández, (Investigador del CONICET), sobre la propuesta de colocar el aparato dentro de un tubo de aluminio. El Dr. Hernández indicó que la caja de aluminio actúa como un escudo radiante para evitar la radiación directa o “cuando existen superficies que emiten alta radiación térmica como un techo de chapa”. Finalmente, el micro adquisidor fue colocado en un tubo cuadrado de aluminio con sus caras perforadas; en los extremos huecos se colocó una tapa fija y otra con la posibilidad de desplazamiento para colocar y retirar el equipo. Se lo colocó en el corredor de servicio que cuenta con una cubierta ferrocemento y otra traslúcida.



Figura 62. Corredor de servicio- ubicación de Hobo

En la planta alta los propietarios de la vivienda permitieron colocar los micro-adquisidores de datos suspendidos en la mitad de la habitación en un envase de Telgopor perforado.



Figura 63. Ubicación de micro-adquisidor de datos en dormitorio 1

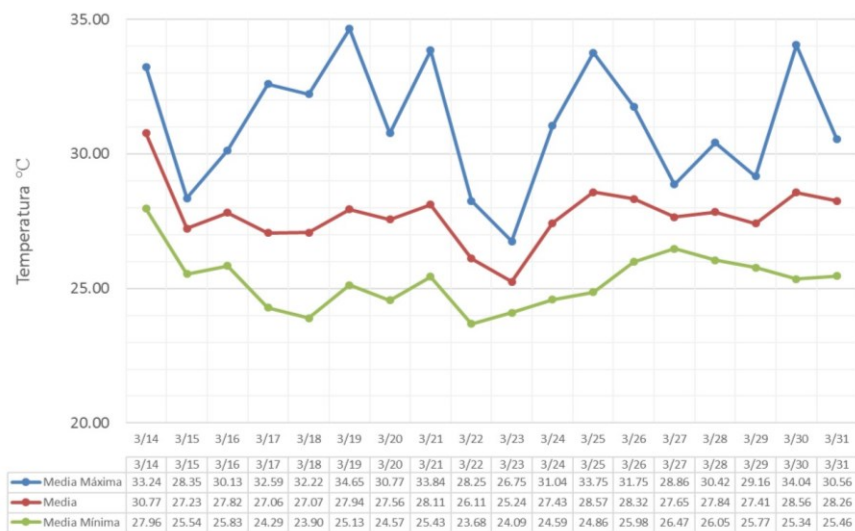


Tabla 43. Temperatura exterior, máximas, medias y mínimas
Elaboración propia

En la **Tabla 43** se han resumido las temperaturas máximas, medias y mínimas monitoreadas por el micro-adquisidor de datos en el período de medición. El día 14 marzo empezó la medición a la 12:00 y finalizó a la medianoche del 31 de marzo. Se midieron 17 días completos desde el 15 hasta el 31 de marzo, de los cuales 11 días se presentaron temperaturas máximas mayores de 30 °C llegando a una máxima de 34.6 °C el 19 de marzo.

Las temperaturas más altas comúnmente se presentan desde las 13:00 hasta las 16:00, y en ocasiones en horas de la mañana de 10:00 a 11:00. Las temperaturas medias se

encuentran entre 25.4 °C a 30.7 °C. En la Tabla 44, se graficaron los valores de humedad relativa exterior (HR), con máximas entre 90% hasta 93%, HR medias entre 62% hasta 85% y las medias mínimas registradas entre 46% hasta 80%

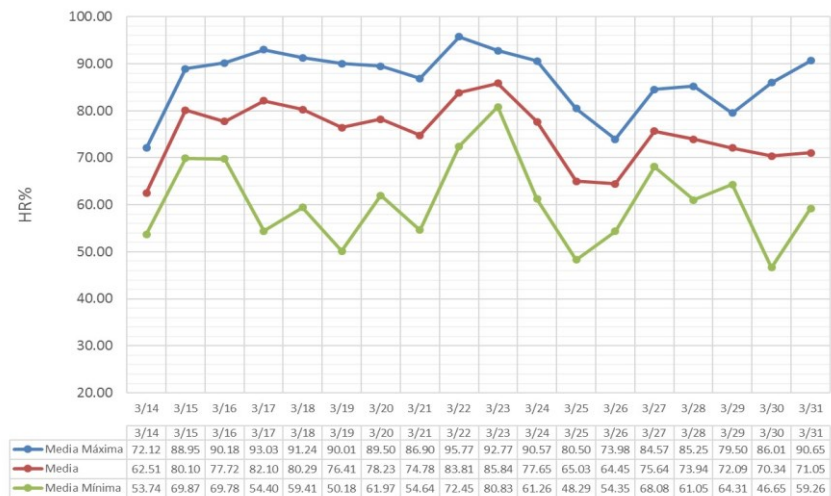


Tabla 44. HR máxima, media, mínima.
Elaboración propia

En la **Tabla 45** se han graficado las temperaturas y HR máximas y mínimas del ambiente exterior para presentar las amplitudes térmicas. Las temperaturas registraron amplitudes máximas entre 8 y 9 °C y mínimas entre 2 a 4 °C. Se registraron valores mínimos de HR entre 46% hasta el 80% y valores máximos del 95%.

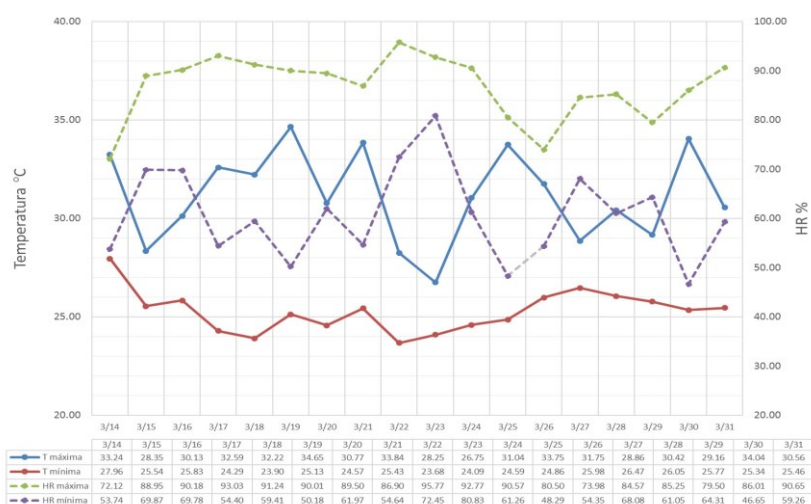


Tabla 45. Temperatura máxima y mínima- HR máxima y mínima.
Elaboración propia

En la **Figura 64** están graficadas las mediciones de los ambientes de la planta baja incorporando el clima exterior y la radiación solar. De acuerdo a las nuevas zonas

incorporadas en la planta baja, la sala de TV y el comedor con orientación oeste son los ambientes que presentan las temperaturas más altas en este primer nivel. La sala orientada al este es el ambiente que presenta una menor proporción de temperaturas mayores de 30°C convirtiéndolo en la zona menos calurosa. En el próximo capítulo se proporcionará un análisis más detallado de las temperaturas registradas en la Sala de TV comparando con los resultados de la simulación térmica.

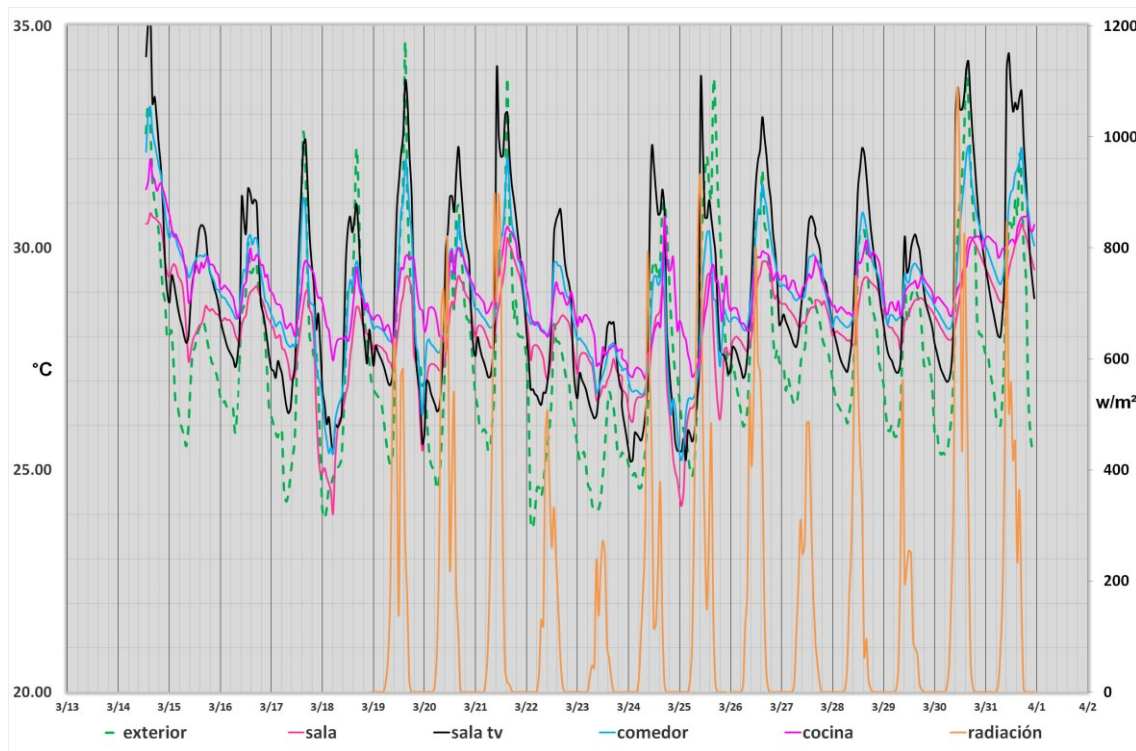


Figura 64. Monitoreo térmico planta baja, período 14 de marzo 31 de marzo del 2018.
Elaboración propia

En la planta alta **Figura 65** la falta de aislación térmica de la cubierta y la orientación desfavorable de las habitaciones (este y oeste), incide en las altas temperaturas registradas en estos ambientes. La planta alta no ha tenido ningún tipo de intervención edilicia razón por la cual el monitoreo térmico o sus resultados generales son similares a la medición del 2016 y se verifica que los dormitorios de la planta alta son los que poseen las temperaturas más altas y las mayores amplitudes térmicas. En el gráfico se resalta la curva perteneciente al dormitorio 2 con orientación oeste, habitación climatizada con aire acondicionado la cual presenta temperaturas menores de 20°C. El dormitorio principal también posee aire acondicionado el cual se lo utiliza a determinadas horas especialmente en las madrugadas.

Los equipos de climatización de la planta alta son equipos de aire acondicionado de ventana de tecnología obsoleta que inciden en el aumento del consumo kWh que posteriormente se analizará con más detalle.

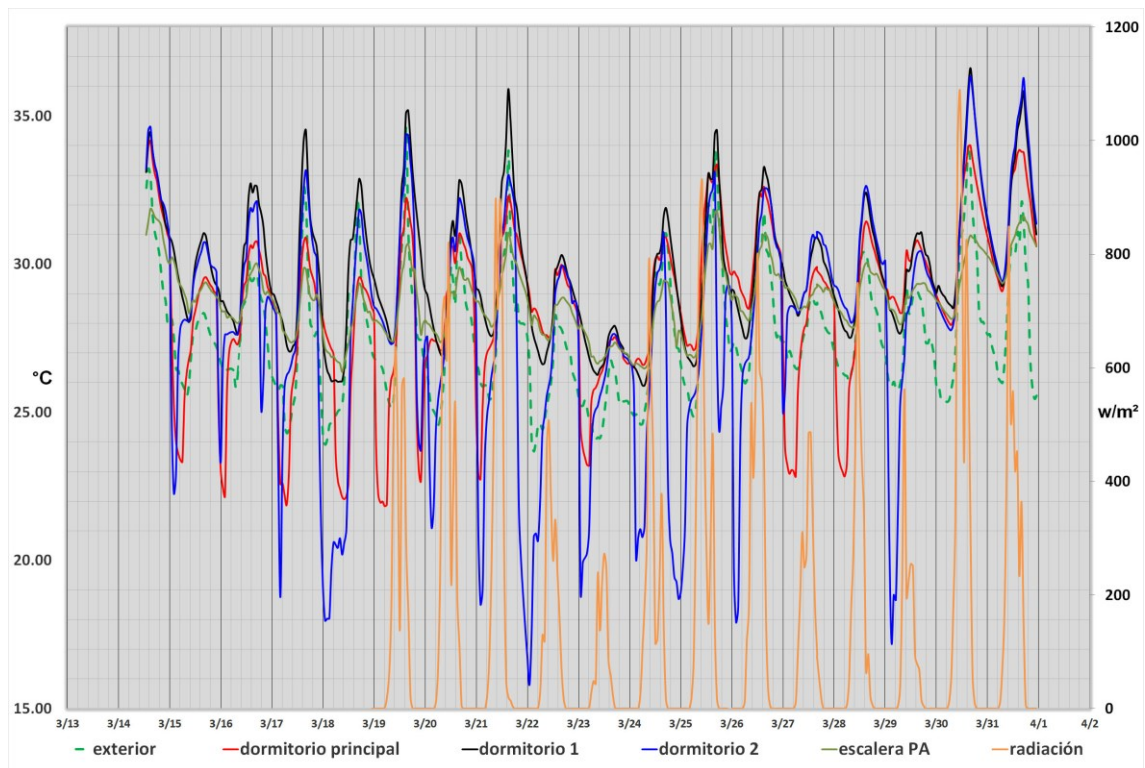


Figura 65. Monitoreo térmico planta alta, período 14 de marzo 31 de marzo del 2018.
Elaboración propia

Por lo general la diferencia entre la temperatura máxima exterior y la temperatura en los ambientes interiores es de aproximadamente de 2 a 3°C, exceptuando la sala. En la **Tabla 46** se presentan las temperatura máximas, medias y mínimas del período analizado, cabe indicar que el 30 y 31 de marzo la casa no estuvo habitada por el feriado de semana santa, por lo cual las habitaciones no tuvieron ventilación natural ni mecánica. Se puede observar temperaturas menores de 20°C en el dormitorio principal y en el dormitorio 2 por el uso del aire acondicionado, a diferencia del dormitorio 1 que sólo cuenta con un ventilador, presentándose temperaturas superiores a los demás ambientes de la planta alta.

FECHA	SALA			SALA TV			COMEDOR			COCINA			DORMITORIO PRINCIPAL			DORMITORIO 1			DORMITORIO 2			ESCALERA PA		
	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min	max	med	min
14/3/2018	30.8	30.4	29.4	35.3	32.6	29.0	33.2	31.9	30.4	32.0	31.4	30.9	34.2	32.6	31.0	34.5	32.8	31.2	34.6	32.9	31.4	31.9	31.2	30.1
15/3/2018	29.6	28.6	27.4	30.5	29.2	27.9	30.4	29.7	29.1	30.7	29.7	28.8	30.7	27.4	23.3	30.9	29.8	28.0	30.7	28.4	22.3	30.2	29.2	28.3
16/3/2018	29.1	28.5	27.9	31.3	29.0	27.3	30.3	29.2	28.4	30.0	29.2	28.4	30.8	28.2	22.2	32.7	30.0	27.6	32.1	28.7	23.3	30.0	28.9	28.0
17/3/2018	29.0	27.7	24.9	32.4	28.5	26.3	31.1	28.5	26.9	29.7	28.8	28.0	30.9	27.3	21.9	34.5	29.7	27.1	33.2	27.8	18.8	29.9	28.4	27.4
18/3/2018	28.7	26.7	24.0	31.0	27.9	26.0	29.7	27.6	25.4	29.6	28.4	27.5	29.6	26.5	22.7	32.9	28.8	26.0	31.7	24.6	22.3	29.4	27.7	26.4
19/3/2018	29.4	27.8	25.4	33.8	29.0	25.6	32.0	28.8	26.2	29.8	28.8	27.8	32.2	26.6	21.8	35.2	30.4	27.3	34.4	29.1	27.3	30.7	28.6	27.4
20/3/2018	29.4	28.1	26.0	32.3	28.9	25.8	30.6	28.8	27.1	30.0	29.0	27.9	31.0	28.9	26.9	32.8	29.7	26.9	32.2	28.3	21.1	29.9	28.6	27.4
21/3/2018	30.2	28.8	27.8	33.9	29.8	27.1	32.1	29.5	28.2	30.5	29.4	28.5	32.3	28.8	22.8	35.9	30.6	27.6	33.0	26.2	17.7	31.1	29.2	28.1
22/3/2018	28.5	27.9	27.0	30.9	28.2	26.5	29.7	28.6	28.0	29.1	28.6	28.0	30.0	28.7	27.5	30.3	28.5	26.6	29.9	25.5	15.8	28.9	28.2	27.4
23/3/2018	27.6	27.2	26.6	28.3	27.1	26.2	28.0	27.5	26.7	28.5	27.9	27.3	28.1	26.1	23.2	28.5	27.2	27.0	27.6	25.1	18.9	27.9	27.2	26.6
24/3/2018	29.2	26.9	26.1	32.3	27.8	25.2	29.9	27.5	25.8	30.7	28.2	27.1	30.9	28.6	26.5	31.9	28.6	25.9	31.0	24.5	18.7	29.4	27.7	26.5
25/3/2018	29.4	27.0	24.2	31.1	28.1	25.4	30.4	27.8	25.2	29.6	28.4	27.1	33.1	30.1	27.1	33.1	29.7	26.9	33.1	27.0	18.9	31.8	28.9	26.8
26/3/2018	29.7	28.6	27.6	32.9	29.5	27.1	31.4	29.4	28.1	29.9	29.1	28.1	32.6	30.5	28.5	33.1	30.2	27.5	17.9	28.2	32.6	31.0	29.4	28.1
27/3/2018	28.8	28.6	28.2	30.7	29.1	27.8	28.5	29.2	29.9	29.8	29.2	28.8	29.9	27.3	22.8	30.9	29.6	28.3	31.0	29.3	25.0	29.3	29.0	28.4
28/3/2018	29.3	28.5	27.8	32.2	29.3	27.2	30.8	29.2	28.2	30.2	29.2	28.5	31.4	27.9	22.8	32.4	29.6	27.5	32.0	30.0	28.0	30.0	28.9	27.9
29/3/2018	28.9	28.5	27.7	30.2	28.7	27.2	29.6	29.0	28.3	29.4	29.0	28.5	30.8	29.6	28.4	31.1	29.5	28.2	30.4	26.9	17.2	29.4	28.8	28.0
*3/30/2018	30.2	29.0	27.9	34.2	30.3	27.0	32.3	29.8	28.2	30.3	29.3	28.6	34.0	30.8	28.0	28.5	31.7	36.0	36.4	31.3	27.8	31.0	29.5	28.2
*3/31/2018	30.4	29.6	29.1	33.6	30.8	28.0	32.2	30.5	29.2	30.7	30.3	29.8	33.9	31.5	29.1	35.8	32.1	29.3	36.3	32.4	29.7	31.6	30.5	29.4

* feriado la familia está de vacaciones

menor de 20°C 20°C-25°C 25°C-30°C mayor de 30°C

Tabla 46. Monitoreo térmico, detalle de temperaturas (marzo 2018)
Elaboración propia

Los datos de la segunda medición se graficaron dentro del diagrama de Givoni y de confort adaptativo en la **Figura 66**.

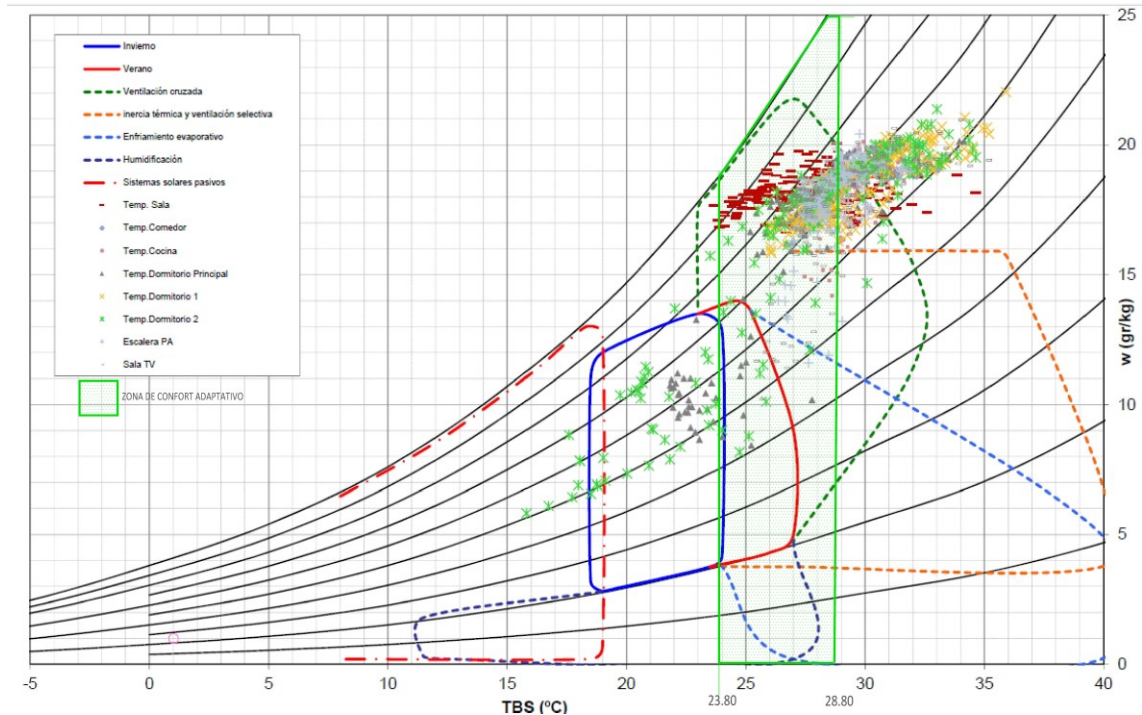


Figura 66. Diagrama Psicométrico de Givoni- Modelo de confort adaptativo con mediciones interiores (2018)¹⁰²
Software: PsicMouseion versión 1.3, autores J. Czajkowski, A. Gómez, 2007

102 El rango de confort adaptativo se lo ha graficado manualmente sobre el diagrama Psicométrico de Givoni del software PsicMouseion.

En la planta baja se observa que un porcentaje de las temperaturas de la sala (orientación este) se mantiene dentro de los límites de la zona de confort adaptativo, otras mediciones se encuentran en la zona de estrategia de ventilación de Givoni y otras sobrepasan las dos zonas antes mencionadas. En los demás ambientes de planta baja y planta alta un porcentaje de las mediciones se encuentran dentro de la zona de confort adaptativo y el restante que por observación general puede representar ser mayor se encuentra fuera de la zona de confort adaptativa. El resto de las mediciones se encuentran dentro y fuera de la estrategia de ventilación que propone Givoni.

Se registraron bajas temperaturas entre 17.7°C a 23°C en el dormitorio principal y dormitorio 2 por el uso del aire acondicionado, el dormitorio 1 no cuenta con climatización mecánica razón por la cual la mayor parte de sus temperaturas están fuera de las zonas de confort y en la zona de estrategia de ventilación de Givoni, con temperaturas que oscilan entre 26°C a 35.8°C. En el período de tiempo en que no se utiliza el aire acondicionado los demás dormitorios presentan altas temperaturas que se encuentran detalladas en la **Tabla 46**. Los porcentajes de humedad de las mediciones se encuentran entre 50% y 90% de HR, y se registraron HR más bajas entre 40% y 50% en los períodos en los que se utilizó aire acondicionado.

4.8 Consumo de electricidad- lectura del medidor

La primera lectura fue 718 kWh registrada al mediodía del día 14 de marzo del 2018, fecha del inicio de las mediciones.



Figura 67. Lectura del medidor, inicio del monitoreo térmico

La señora encargada de los quehaceres domésticos colaboró diariamente con los registros del medidor de luz en su horario de trabajo, y en las noches la lectura quedo a cargo de los propietarios de la vivienda; lamentablemente en algunas ocasiones olvidaron realizar el registro, motivo por el no están incorporadas en la **Tabla 47**.

Día	Hora	Medidor de Luz kWh	Desgloce kWh	Horas de uso AA			
				Sala TV	Sala	Dormitorio Principal	Dormitorio 2
14	12:00	718		9	1		
	16:00	721	3				
	22:30	727	6				
15	9:00	736	9	13			
	15:15	740	4				
16	9:00	750	10	12			
	15:15	752	2				
17	19:10	785	33	33	4	5	2
18	13:00	828	43	55		6	12
	23:00	840	12				
19	9:30	846	6	7		6	
	16:00	847	1				
20	7:17	879	32	35			4
	9:42	880	1				
	15:24	882	2				
21	9:13	897	15	25	2	2	6
	16:14	901	4				
	20:00	907	6				
22	9:00	923	16	19			6
	16:00	926	3				
23	9:00	941	15	20	2.5	4	4
	15:42	946	5				
24	12:00	960	14	58	8		11
	16:40	961	1				
	23:30	1004	43				
25	11:30	1007	3	32	9	9	
	18:30	1026	19				
	21:30	1036	10				
26	9:30	1048	12	16	2	9	4
	15:00	1050	2				
	22:00	1052	2				
27	9:38	1062	10	13		7	
	16:30	1065	3				
28	9:30	1078	13	15		4	
	15:42	1080	2				
29	0:00	1087	7	11			5
	7:43	1091	4				
30	Feriado de semana santa, la familia salió de vacaciones						
31	Feriado de semana santa, la familia salió de vacaciones						
16 días	Total	373	kWh				

Tabla 47. Consumo medidor de luz (kWh) y horas de uso de climatización mecánica. Elaboración propia

Con respecto a los sistemas de consumo de energía, la cocina utiliza gas envasado (GLP), y no existe un sistema de agua caliente, por lo cual en este caso de estudio predomina el uso de la energía eléctrica. Con respecto a la climatización mecánica poseen 4 acondicionadores de aire, 2 de ventana en el dormitorio principal y en el dormitorio 2, uno tipo slip en la sala de TV y un aire acondicionado portátil en la sala.

De acuerdo con la **Tabla 47** los días 21, 24, 25 y 26 de marzo se registran 3 mediciones en el transcurso del día, (mañana, tarde y noche), en la cuales se puede realizar un cálculo aproximado del consumo kWh, y es determinante las horas de uso de AA en el aumento del consumo de energía. El día 24 de marzo sólo considerando el consumo de horas de la tarde llega a 44 kWh con 8 horas de uso del Split en la sala de TV y 11 horas de AA de ventana en el dormitorio 2. El día 25 registró 32 kWh con 9 horas de Split (mayor eficiencia energética) en la sala de TV y el día.

La lectura inicial del medidor fue de 718 kWh y la última fue de 1091 kWh, restando los dos valores se obtiene que en 16 días se han consumido 373 kWh.

4.9 Consumo de energía detallado (semana 19 al 26 de marzo 2018)

En la **Tabla 48** se detallan el consumo eléctrico, los horarios de funcionamiento y las especificaciones de equipos fueron otorgados por el padre de la familia y la señora de los quehaceres domésticos. El consumo eléctrico de acuerdo a la lectura del medidor fue de 196 kWh y el cálculo manual es de 189.29 kWh, la diferencia es de 9.71 kWh. El uso del aire acondicionado registra los mayores consumos principalmente con los equipos de ventana de tecnología obsoleta. En el dormitorio 2 (45 horas) con 39.49 kWh, el dormitorio principal (23 horas) con 20.18 kWh. El aire acondicionado portátil es ineficiente (42 horas) 27.85 kWh. El único Split Inverter de la Sala de TV (42 horas) con 29.89 kWh. Comparando el equipo del dormitorio 2 (45 horas de uso) con el Split invertir (42 horas de uso) la diferencia en el consumo es 10 kWh.

Ambiente	Equipos	Potencia Nominal (KW)	HRS Uso/Semana	Factor de Operación	Consumo Energía kWh/Semana Equipo	Cantidad de Equipos	Total Consumo Energía Semana
Sala	Aire acondicionado móvil 9000 BTU	1.02	42	0.65	27.85	1	27.85
	Dicroicas	0.006	44	1	0.26	6	1.58
Comedor	Dicroicas (6 watts)	0.006	42	1	0.25	13	3.28
Sala TV	TV	0.175	42	1	7.35	1	7.35
	Split inverter 24000 BTU	1.095	42	0.65	29.89	1	29.89
	Dicroicas	0.006	49	1	0.29	13	3.82
Cocina	Refrigeradora	0.18	63	1	11.34	1	11.34
	Microondas	1	2.1	1	2.10	1	2.10
	licuadora	0.57	1.05	1	0.60	1	0.60
	Fluorescente	0.006	20	1	0.12	1	0.12
Lavandería	Lavadora	1.44	11	1	15.84	1	15.84
Dormitorio 1	Ventilador	0.07	56	1	3.92	1	3.92
	Fluorescente	0.006	14	1	0.08	1	0.08
Dormitorio 2	Aire acondicionado de ventana 12000 BTU	1.35	45	0.65	39.49	1	39.49
	TV	0.1	22	1	2.20	1	2.20
	Nintendo	0.04	22	1	0.88	1	0.88
	Fluorescente	0.006	22	1	0.13	1	0.13
Dormitorio Principal	Aire acondicionado de ventana 12000 BTU	1.35	23	0.65	20.18	1	20.18
	dicroicas	0.006	7	1	0.04	2	0.08
	Fluorescente	0.006	14	1	0.08	1	0.08
Varios	secador para cabello	1.6	1.98	1	3.17	1	3.17
	antorchas jardín	0.005	30	1	0.15	11	1.65
	luminaria exterior-apliques	0.011	45	1	0.50	6	2.97
	focos decotativos incandescentes	0.04	7	1	0.28	8	2.24
	Reflector	0.04	8	1	0.32	1	0.32
	plancha de ropa	1.1	4	1	4.40	1	4.40
	laptop	0.03	24	1	0.72	1	0.72
					Consumo Semanal	total	186.29 <small>kwh</small>

Tabla 48. Consumo Semanal detallado de energía eléctrica kWh
Elaboración propia

A partir de los datos de consumo por aparatos de la **Tabla 48** se han unificado en los siguientes rubros: Iluminación 14.72 kWh, Equipos Eléctricos 52.52 kWh y Aire Acondicionado 117.41 kWh (**Ver Figura 68**) Los porcentajes de consumo se desglosan de la siguiente manera: Iluminación 8%, Equipos Eléctricos 28% y el Aire Acondicionado 64%.

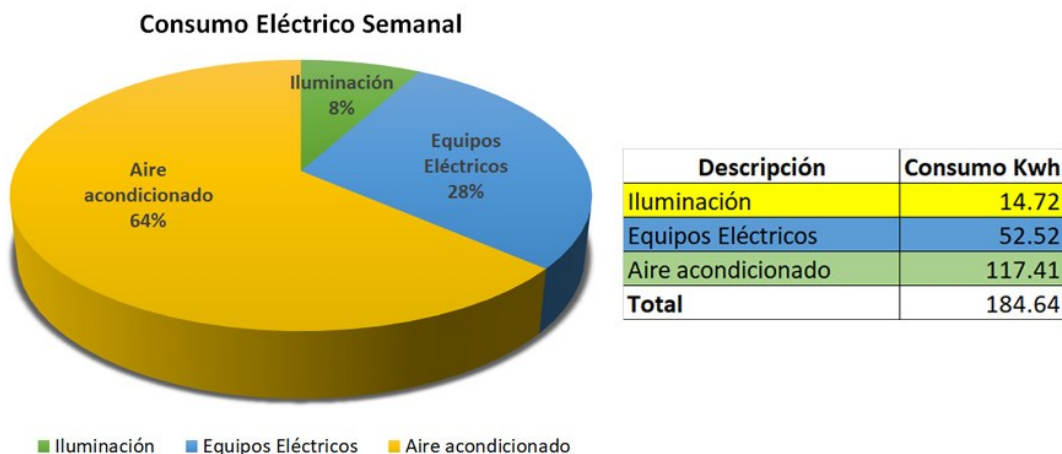


Figura 68. Porcentaje Consumo Eléctrico Semanal
Elaboración propia

4.10 Análisis planillos eléctricas

En la **Figura 69** están graficados los consumos kWh y el costo en dólares del año 2018, en el cual se realizaron las mediciones. Se observa que los mayores consumos se presentan en los meses de marzo, abril (temporada lluviosa y la más calurosa). El mes de marzo registró un consumo de 773kWh, el valor de la planilla fue de 112 dólares incluyendo impuestos. El uso del aire acondicionado aumenta considerablemente el consumo, más que todo por los equipos antiguos. El consumo de energía baja considerablemente a partir del mes de mayo, y los menores consumos se registran los meses de junio y julio, período con mayor presencia de vientos y temperaturas nocturnas primaverales.

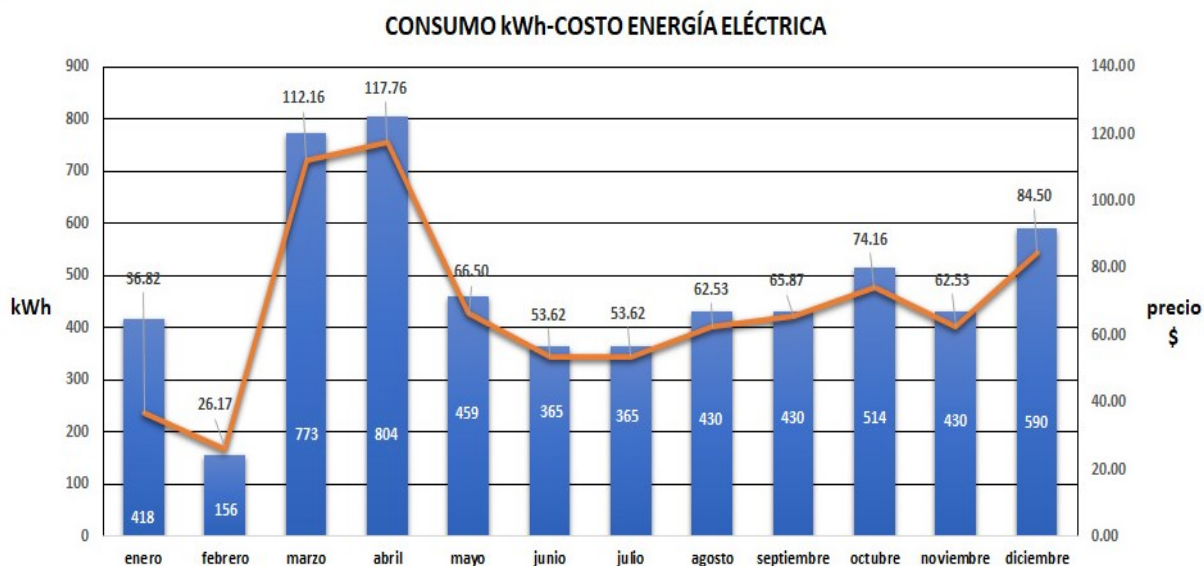


Figura 69. Consumo y costo de planillas eléctricas (año 2018)
Elaboración propia

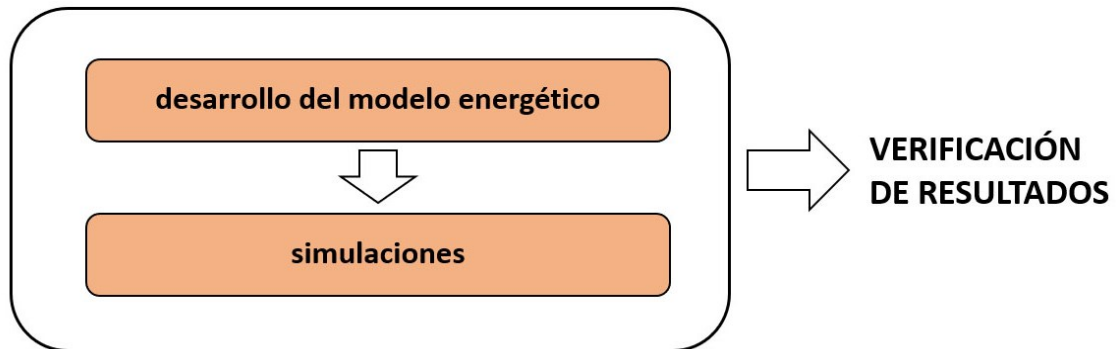
4.11 Conclusiones

Los estudios de campo se realizaron en dos ocasiones, en primera instancia en enero del 2016 con el modelo original de la casa y posteriormente se realizó una segunda medición en marzo 2018 ya que la planta baja fue ampliada y se construyó un patio interior. Las mediciones fueron realizadas en los meses de enero (2016) y marzo (2018) que forman parte de la temporada más calurosa de la costa ecuatoriana.

En los dos períodos de medición las temperaturas registradas están entre los 25°C a excepción de algunas horas en la Sala en el segundo período de medición. Las ventanas de la sala y del dormitorio 1 orientadas al este están beneficiadas por la sombra de las palmeras y demás vegetación del jardín frontal.

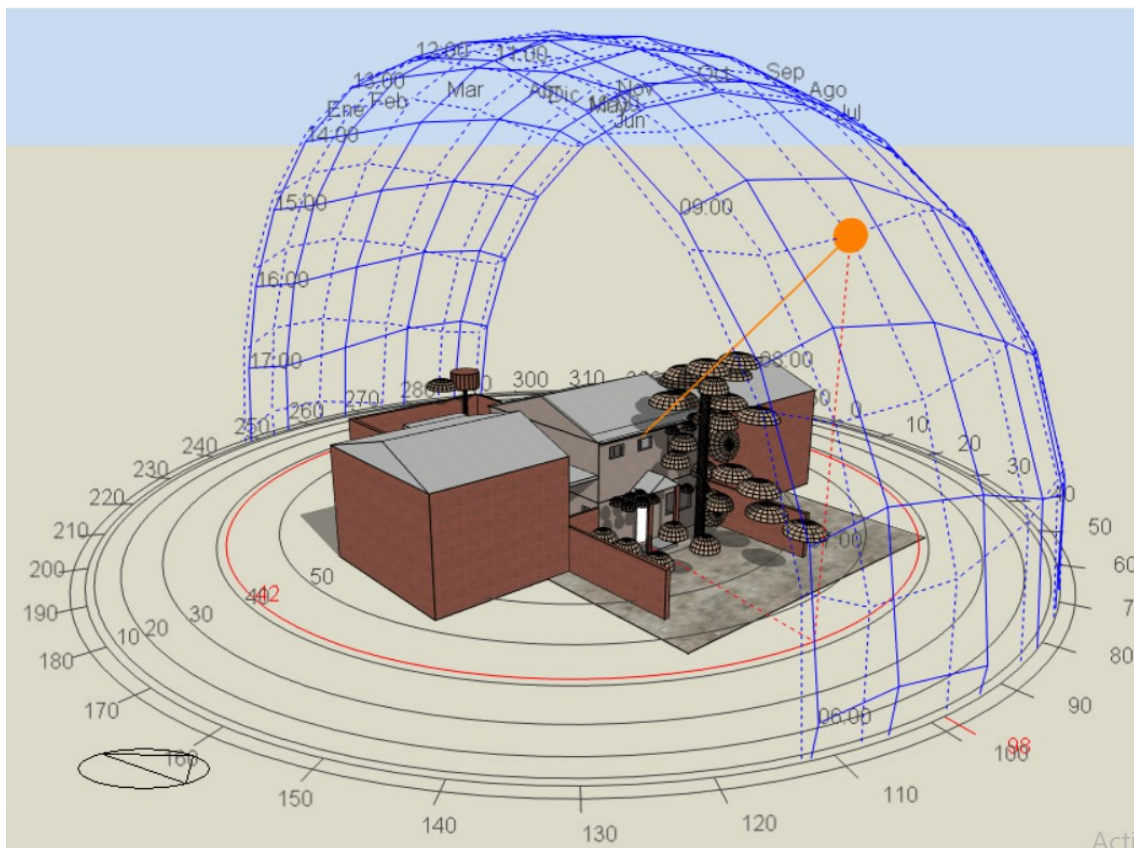
Las temperaturas menores a 25°C se presentan cuando se utiliza el aire acondicionado y las temperaturas máximas registradas están dentro del orden de 30°C hasta los 35°C. De acuerdo al rango de confort adaptativo (23.80 °C al 28.82 °C) y el de Givoni, se registran que más de la mitad de las mediciones están fuera de los límites máximos de confort. Esta situación de disconfort térmico maximiza la posibilidad del uso del A/C especialmente en los meses de la temporada lluviosa, ya que el consumo de energía disminuye en los meses de la temporada seca de acuerdo al análisis del consumo eléctrico en la **Figura 69**.

5 CAPÍTULO CINCO: ELABORACIÓN DEL MODELO ENERGÉTICO



Esquema 5. Metodología Capítulo Cinco

Para la elaboración del modelo energético de la vivienda se utilizó el software Design Builder, un programa de origen inglés que utiliza como motor de cálculo el programa Energy Plus de origen estadounidense, el cual es uno de los más reconocidos a nivel internacional por sus avanzadas prestaciones que permiten evaluar niveles de confort, consumo de energía y emisiones de carbono.



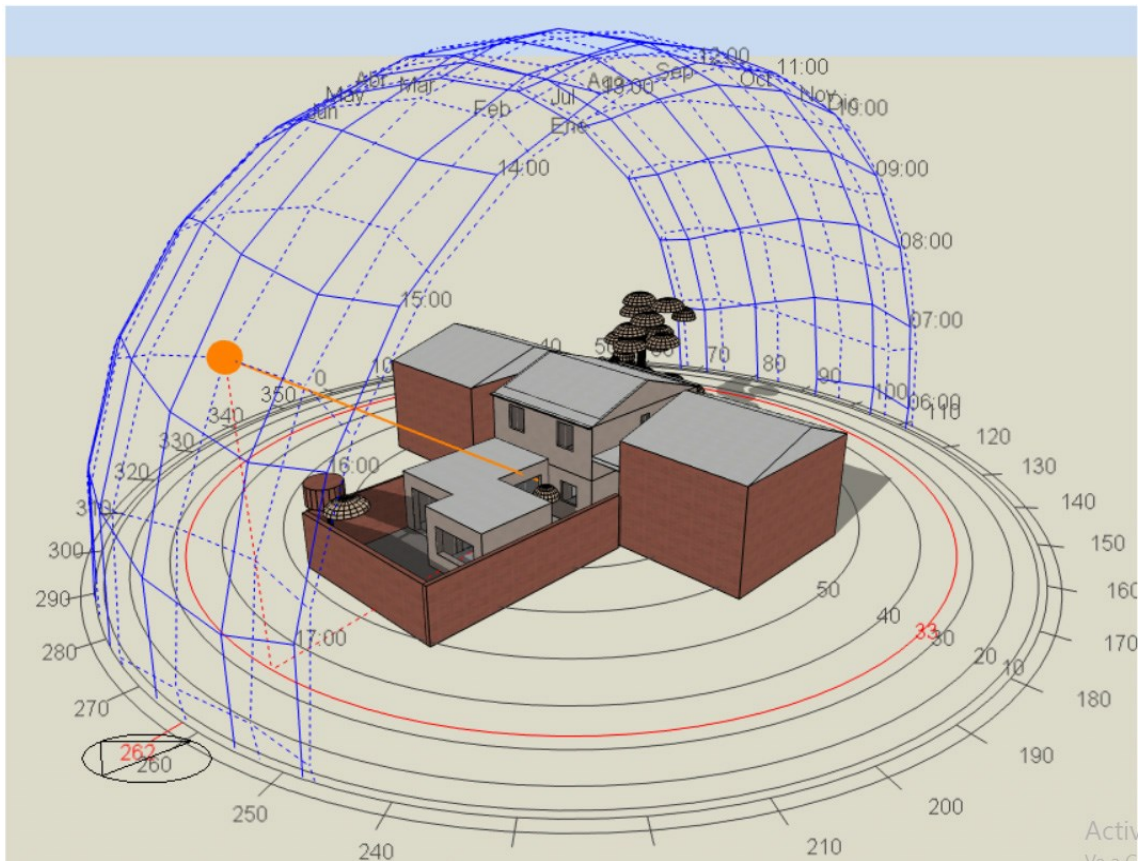


Figura 70. Modelo de la vivienda
Elaboración propia, software Design Builder

El software tiene la ventaja que se puede trabajar desde una sola interfaz gráfica en el cálculo de múltiples procesos que se agrupan en módulos de análisis integrados entre sí que permiten metodologías de trabajo más productivas y eficientes.¹⁰³ Similar a otros programas de simulación, Design Builder utiliza un archivo climático extensión. EPW, los cuales se pueden descargar de algunas páginas de internet, o por medio del software Meteororm que cuenta con una base extensa de datos climáticos de 8000 estaciones meteorológicas, cinco satélites geoestacionarios y una climatología de aerosoles calibrada a nivel mundial.

A continuación, se presenta el proceso de elaboración del archivo climático que se utilizó en las simulaciones.

103 Manual de ayuda Design Builder en español. Disponible en internet <<https://www.designbuilder-lat.com/soporte/manual-de-ayuda>>

5.1 Elaboración Archivo Climático. EPW

Para la calibración del modelo se consideró sólo una semana del período de medición, desde el lunes 19 de marzo hasta el domingo 26 de marzo del 2018. Posteriormente se empezó con la búsqueda de un archivo climático .EPW ¹⁰⁴ de Guayaquil con información confiable para utilizarlo como archivo base para la incorporación de nuevos datos para lograr un archivo del clima lo más cercano al escenario del período de medición. Se ajustaron específicamente las variables climáticas que utiliza Energy Plus en sus cálculos, los cuales se detallan en la **Figura 71**.

Short Name	Long Name	Default Units	EPW	Used by EnergyPlus	Short Name	Long Name	Default Units	EPW	Used by EnergyPlus
year	Year	-	N		glohorillum	global_horizontal_illumiance	lx		N
month	Month	-	Y		dirnorillum	direct_normal_illumiance	lx		N
day	Day	-	Y		difhorillum	diffuse_horizontal_illumiance	lx		N
hour	hour	-	Y		zenlum	zenith_illumiance	lx		N
minute	minute	-	N		winddir	wind_direction	°		Y
datasource	datasource	-	N		windspd	wind_speed	m/s		Y
drybulb	dry_bulb_temperature	°C	Y		totskycvr	total_sky_cover	tenths		N
dewpoint	dew_point_temperature	°C	Y		opaqskycvr	opaque_sky_cover	tenths		N
relhum	relative_humidity	%	Y		visibility	visibility	km		N
atmos_pressure	atmospheric_pressure	Pa	Y		ceiling_hgt	ceiling_height	m		N
exthorrad	extraterrestrial_horizontal_radiation	Wh/m ²	N		presweathobs	present_weather_observation	-		Y
extdirrad	extraterrestrial_direct_normal_radiation	Wh/m ²	N		presweathcodes	present_weather_codes	-		Y
horirsky	horizontal_infrared_radiation_intensity_from_sky	Wh/m ²	Y		precip_wtr	precipitable_water	mm		N
glohorrad	global_horizontal_radiation	Wh/m ²	N		aerosol_opt_depth	aerosol_optical_depth	thousandths		N
dirnorrad	direct_normal_radiation	Wh/m ²	Y		snowdepth	snow_depth	cm		Y
difhorrad	diffuse_horizontal_radiation	Wh/m ²	Y		days_last_snow	days_since_last_snow	-		N
					Albedo	albedo	-		N
					liq_precip_depth	liquid_precip_depth	mm		Y
					liq_precip_rate	liquid_precip_rate	h		N

Figura 71. Internal Data Elements Names (Directly applicable to EPW)

Fuente: Auxiliary Programs Energy Plus

Con una nomenclatura de Y/N se indica que parámetros el programa utiliza y de acuerdo a ese listado se procedió a los siguientes ajustes para la creación del nuevo archivo climático .epw :

- Incorporación de los datos de temperatura de bulbo seco exterior y HR , medidos en sitio, de acuerdo a estos nuevos datos se calcularon las temperaturas de rocío y la presión atmosférica.
- Se solicitaron los datos de radiación solar al INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), de la estación metereológica más cercana al sitio de estudio (Estación Montebello). Los datos recibidos fueron los de la radiación solar global, información que no se podía utilizar en primera instancia para el archivo

104 Disponible en internet

<http://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/ECU_Ecuador/index.html>

climático de acuerdo al documento “ Auxiliary Programs” de Energy Plus ¹⁰⁵, en el cual indica que la radiación utilizada en los cálculos son la radiación difusa y directa. Para la obtención de esos datos se utilizó el programa SIMEDIF- (Software for building thermal simulation, 2020) con el método de Cielo Claro , utilizando la temperatura de bulbo seco y radiación global del período analizado.

- Se solicitaron los datos de los vientos, (dirección y velocidad) del INAMHI de la estación metereológica Montebello y se incorporó esa información al archivo climático.

5.2 Elaboración del modelo

De acuerdo a los planos arquitectónicos de la vivienda se procedió a elaborar el modelo en el software Design Builder en el cual se establecieron las zonas térmicas de planta baja y planta alta. En la **Figura 72** se dibujaron las paredes con huecos entre la sala, comedor y sala de TV; se activaron en las opciones del modelo los parámetros para que el flujo de ventilación natural sea modelado a través de huecos y particiones virtuales.

Adicionalmente se activó la opción que permite el caudal de aire a través de aberturas internas en la ventilación programada. En el interior se dibujaron puertas, ventanas y el hueco en la caja de escalera. En la parte exterior con bloques de componentes se dibujaron las viviendas contiguas, cerramientos y árboles de acuerdo al contexto existente.

Design Builder al igual que otros softwares utiliza plantillas para cada espacio térmico de la vivienda, el tipo de usuario, la tasa metabólica, la vestimenta (clo), la actividad, equipos, iluminación, consignas para el control ambiente (climatización mecánica), horarios de aberturas de ventanas, el tipo de cerramiento (materiales utilizados en la envolvente térmica), tipo y materiales de las aberturas, con o sin protección, iluminación y la plantilla de HVAC que se detallan en la **Tabla 49**.

¹⁰⁵ Disponible en internet <https://energyplus.net/documentation>

Zona térmica	Número de personas	Horario de ocupación	Tasa Metabólica w/persona	Ganancia de calor equipos w/m2	Horario uso de equipos	Iluminación artificial ganancia de calor w/m2	Horario uso de iluminación artificial
Sala	3	Sábado (22:00-00:00) = 100%	108	0.00	0.00	15	19:00-24:00= 50%
Cocina	1	00:00-06:00= 0% 07:00-08:00=50% 9:00-12:00= 50% 12:00-13:00=100% 13:00-18:00=0% 19:00-20:00= 50%	207	30.28	00:00-06:00= 0% 07:00-08:00=50% 9:00-12:00= 50% 12:00-13:00=100% 13:00-18:00=0% 19:00-20:00= 50%	15	19:00-21:00= 100%
Comedor	4	00:00-06:00= 0% 07:00-07:30=75% 9:00-15:00= 0% 15:00-16:00=50% 16:00-20:00=25% 20:00-21:00= 75%	110	0.00	0.00	15	19:00-24:00= 100%
Sala TV	4	19:00-00:00=75%	81	3.58	19:00-24:00=100%	15	19:00-24:00= 100%
Dormitorio 1	1	23:00-07:00=100%	90	3.58	23:00-24:00= 50%	15	23:00-0:00= 100%
Dormitorio 2	1	16:00-18:00 22:00-07:00=100%	90	3.58	16:00-18:00=100% 23:00-24:00= 50%	15	22:00-0:00= 100%
Dormitorio Principal	2	23:00-07:00=100%	90	3.58	23:00-24:00= 50%	15	23:00-0:00= 100%
HORARIO DE USO DEL AIRE ACONDICIONADO							
Área	Lunes 19	Martes 20	Miércoles 21	Jueves 22	Viernes 23	Sábado 24	Domingo 25
Sala						15:00-24:00	15:00-24:00
Sala TV			21:00-0:00		18:30-24:00	16:00-24:00	15:00-24:00
Dormitorio 2		0:00-4:00	0:00-6:00	0:00-6:00	0:00-4:00	00:00-7:30 16:00-24:00	
Dormitorio Principal	0:00-6:00		0:00-2:00		0:00-4:00		
HORARIO DE ABERTURAS DE VENTANAS							
Área	Lunes 19	Martes 20	Miércoles 21	Jueves 22	Viernes 23	Sábado 24	Domingo 25
Sala	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Cocina	9:00-20:00	9:00-20:00	9:00-20:00	9:00-20:00	9:00-20:00	9:00-24:00	
Comedor	16:00-24:00	16:00-24:00	16:00-24:00	16:00-24:00	16:00-24:00	13:00-17:00	13:00-17:00
Sala TV	10:00-19:00						
Dormitorio 1	9:00-24:00						
Dormitorio 2	On	9:00-24:00	19:00-20:00	9:00-24:00	9:00-22:00	8:00-15:00	9:00-24:00
Dormitorio Principal	9:00-24:00	On	9:00-24:00	On	9:00-24:00	On	On

Tabla 49. Datos utilizados en el modelo energético
Semana del 19 al 25 de marzo

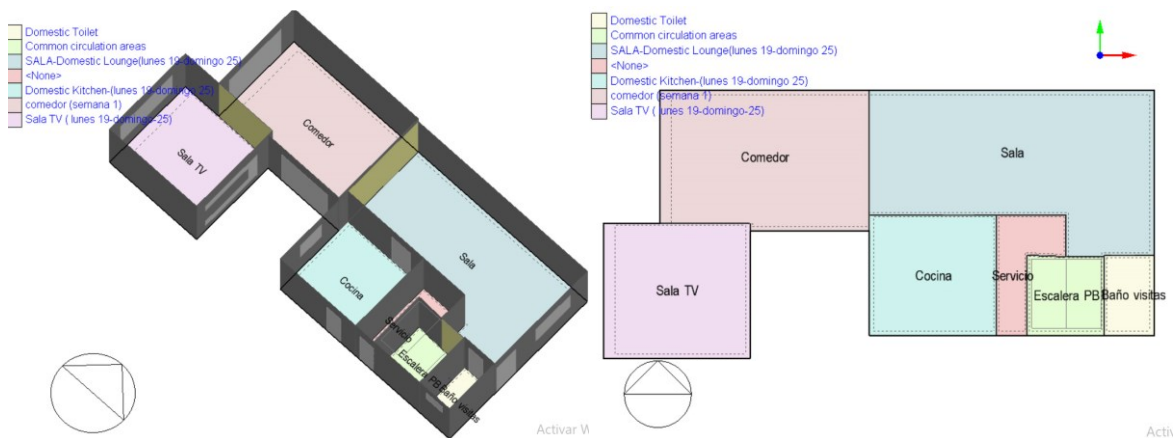


Figura 72. Planta Baja, Zonas Térmicas
Elaboración propia- Software Design Builder

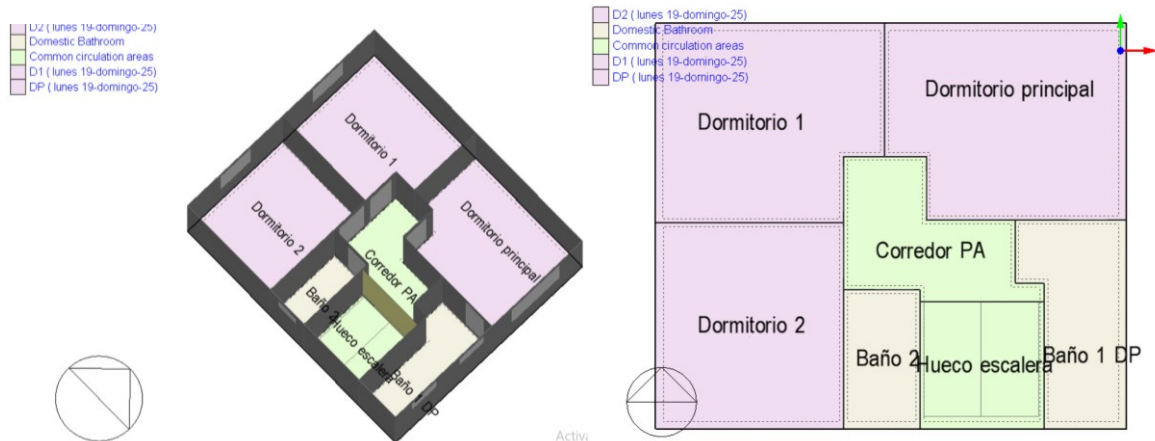


Figura 73. Planta Alta, Zonas Térmicas.
Elaboración propia- Software Design Builder

Con respecto a las actividades de los miembros de la familia se obtuvo información general sobre la ocupación, días que recibieron invitados, las horas en que abrían y cerraban las ventanas entre semana, y los horarios en los que prendían los equipos de aire acondicionado. La señora encargada de los quehaceres domésticos proporcionó información sobre sus actividades y diariamente informaba los valores del medidor de luz a primeras horas de la mañana. La simulación se configuró 15 días antes del período de análisis.

Opción de ventilación, ¿programada o calculada?

El programa Design Builder tiene dos opciones de ventilación natural: programada y calculada, las cuales son activadas en “opciones del modelo”, y se escogen de acuerdo al objetivo de las simulaciones.

La ventilación programada se activa de acuerdo a la temperatura exterior mínima, temperatura exterior máxima o un rango de temperaturas ΔT , pero a la vez se pueden anular estas opciones. Con respecto a los cerramientos se pueden colocar valores para las infiltraciones y en la viñeta HVAC se activa la ventilación natural y se coloca el número de renovaciones por hora con su respectivo horario en el cual se detalla en qué período de tiempo se abren o se cierran las ventanas (**Figura 74**) También es recomendable utilizar esta opción cuando se dispone de un archivo climático con una base de datos no tan exacta o que no han sido medidos en el sitio de estudio.



Figura 74. Ventilación Programada. Opciones disponibles en cerramientos y HVAC
Fuente: Elaboración propia, interfaz gráfica de Design Builder

La opción de ventilación calculada realiza el cálculo de la ventilación natural y las infiltraciones por medio de la presión impulsada por el viento, considerando las dimensiones de las aberturas, su operación, tamaño de las grietas y el efecto chimenea.



Figura 75. Ventilación Calculada. Opciones disponibles en cerramientos y HVAC
Fuente: Elaboración propia, interfaz gráfica de Design Builder

De acuerdo al manual de Design Builder se sugiere la utilización de la ventilación programada por su rapidez en el tiempo de la ejecución de las simulaciones y la ventilación calculada es recomendada para la obtención de las tasas de ventilación natural.

Para la calibración del caso de estudio se utilizaron las dos opciones de ventilación y se realizó un análisis de los resultados de cada uno de los ambientes. Las temperaturas de planta baja con la opción de ventilación calculada fueron más bajas en comparación con las mediciones. Esta situación se produce ya que el software no considera para el cálculo de la ventilación algunos obstáculos del entorno, como los cerramientos, los volúmenes de las casas aledañas representados con los bloques de componente en el modelo 3d. Estos elementos sólo se consideran como obstrucciones solares, razón por la cual la planta baja queda totalmente expuesta a la acción del viento.

Las simulaciones de planta baja con la opción de ventilación programada con una renovación de aire por hora controlaron las tasas de ventilación natural, motivo por el cual las temperaturas simuladas resultaron más aproximadas con los valores medidos.

Los resultados de simulación de planta alta con las opciones de ventilación programada y calculada fueron similares ya que en ese nivel no existen obstáculos cercanos a las ventanas de los dormitorios. En el archivo climático que se utilizó en las simulaciones se incorporaron los valores de dirección y velocidad del viento de la estación meteorológica más cercana al caso de estudio, razón por lo cual los valores de la estación meteorológica serán aproximados, pero no son exactos a la realidad.

En conclusión, las diferencias entre ventilación programada y calculada son el número de renovaciones. Una vez analizados los resultados con las opciones de ventilación se eligió la ventilación programada por su aproximación a las mediciones de planta baja, ya que en planta alta los resultados son similares con las 2 opciones de ventilación. Otro tema a considerar es que el manual del software sugiere utilizar la ventilación programada cuando las variables climáticas no se han medido en el sitio, en este caso solo se midieron en situ temperatura y HR exterior y temperatura y HR interior.

5.3 Resultados de Simulaciones Planta Baja

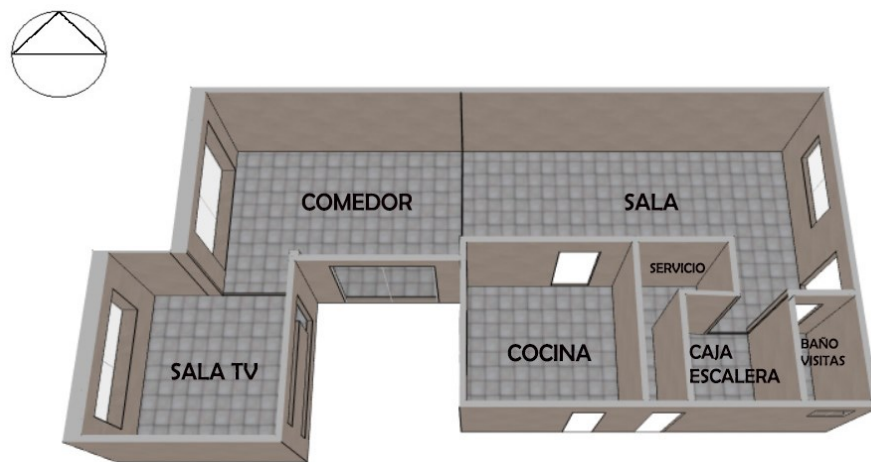


Figura 76. Distribución Planta Baja

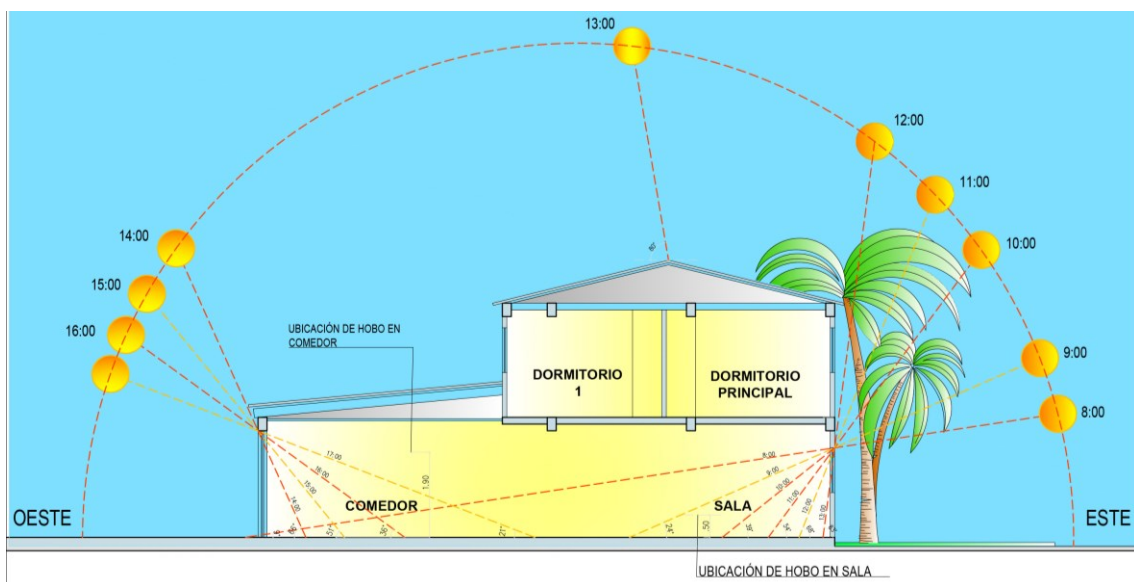


Figura 77. Corte Esquemático con trayectoria solar (mes de marzo)
Elaboración propia

Sala

La sala es un espacio abierto sin particiones interiores conformando un gran espacio con el Comedor, y la Sala de tv. El lado corto de la sala está orientado hacia el Este, en la cual se ubica una ventana de 1.60 mt de ancho, 1.20 mt de alto y 1 mt de antepecho; no incluye dispositivos de protección solar como aleros o cortinas, sólo cuenta con las sombras provista por palmeras y arbustos del jardín ubicado en la parte frontal de la vivienda. El Hobo fue colocado en una mesa baja cerca de un portarretrato, ya que la familia solicitó que los equipos de medición en la planta baja fueran colocados en lugares que pasaran desapercibidos.



Figura 78. Sala

En el armado del modelo energético se consideró dibujar bloques de componente para incorporar el sombreado en el jardín frontal de acuerdo a la situación real ya que la única ventana de la sala es beneficiada por el sombreado de la vegetación del jardín.



Figura 79. Modelo Design Builder y Fotografía actual del jardín

En la **Figura 80** se presentan los valores medidos y simulados de la sala, con diferencias del orden entre 0.1°C a 0.8°C, (desde el martes 20 hasta el viernes 23 de marzo), dentro de este período 9 horas tienen un desfase de 1.2°C. El lunes 19 presenta una calibración desfavorable, seguramente por las actividades y climatización del día anterior, del domingo 18, ya que el programa se configuró con temas puntuales para la semana de estudio. La configuración del domingo 25 marzo afecta los resultados de la simulación del primer día (lunes 19 de marzo). Se observa altas temperaturas en el exterior acorde con los valores de radiación global mientras que el interior las temperaturas son más bajas, el mejor ajuste de valores medidos y simulados se produce con valores bajos de radiación solar global.

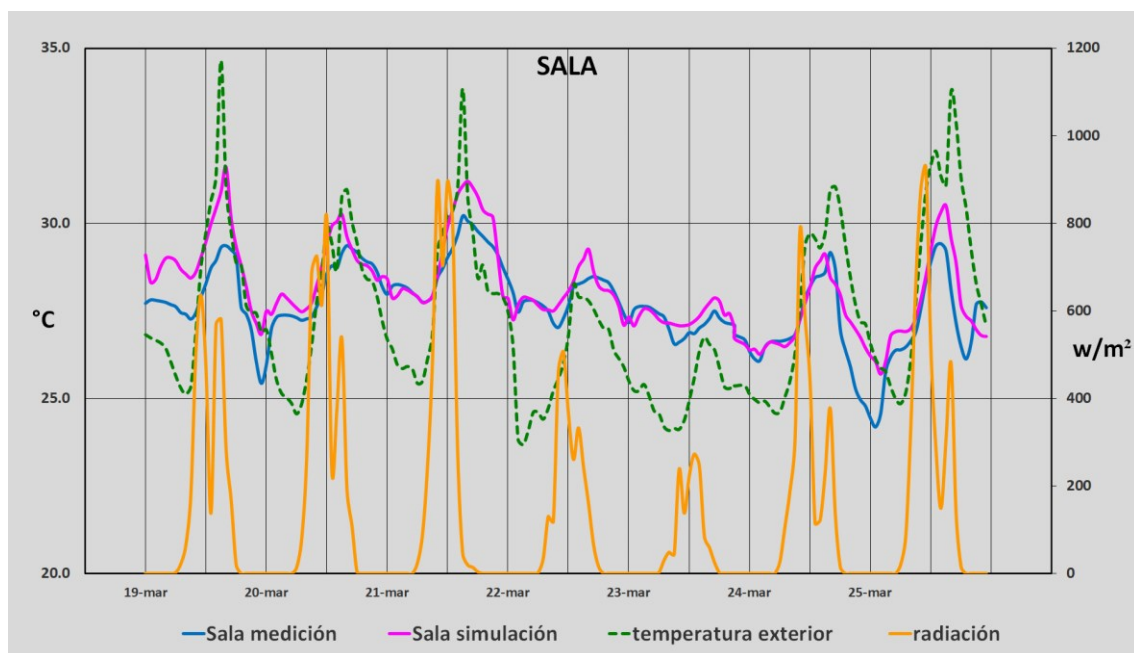


Figura 80. Datos medidos y simulados para la Sala
Elaboración propia

El fin de semana presenta los resultados con más desfases entre las mediciones y simulaciones, ya que el día sábado por la tarde y noche la familia recibió visitas y se prendieron los equipos de aire acondicionado en varias dependencias de la planta baja. La Sala de TV tiene un Split de 24.000 BTU y en la Sala se utiliza aleatoriamente un aire acondicionado portátil de 9.000 BTU; éstos equipos afectan el comportamiento térmico de toda la planta baja por la inexistencia de paredes divisorias entre la sala, comedor y sala de TV. Por esta situación la configuración del programa y los resultados de las simulaciones fueron analizados a nivel de planta baja, ya que el comportamiento térmico de una zona afecta a las demás y/o viceversa.

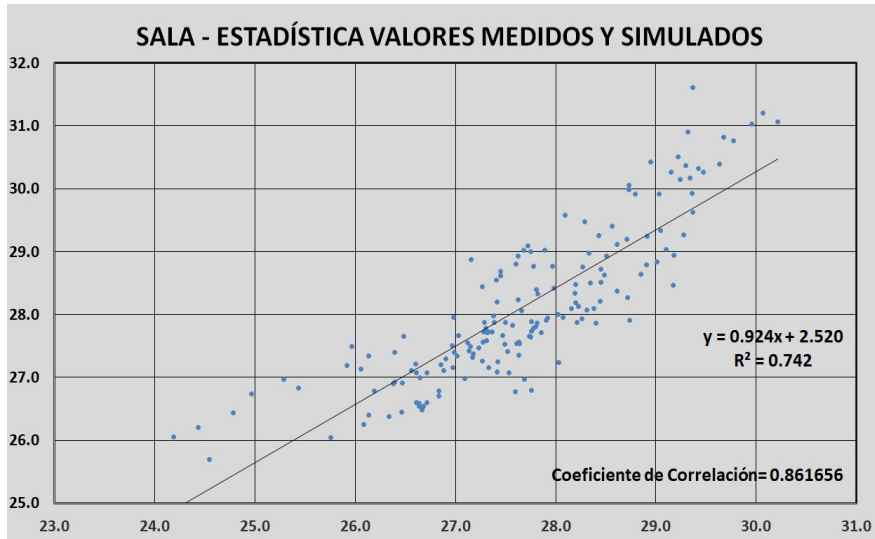


Figura81. Sala -Modelo de Dispersión.
 Elaboración propia

En la **Figura81** se presenta un análisis estadístico de regresión simple, el coeficiente de correlación entre los valores de las mediciones y simulaciones es de 86%.

Comedor

El comedor fue remodelado y ampliado con respecto al modelo original de la vivienda; el espacio cuenta con dos grandes ventanales de hojas móviles (sin protección solar) que se utilizan para ventilar naturalmente el espacio. Las puertas de vidrio, (en Ecuador se las conoce como mamparas) están orientadas hacia el oeste (2.40x2.20 mt) frente al patio trasero y hacia el norte (2.05x2.20 mt) ésta última colinda con el patio que divide la cocina con la nueva sala de TV.



Figura 82. Interior del Comedor

La temperatura interna del comedor es afectada directamente por los espacios contiguos, la Sala y la Sala de TV, a pesar de estas condicionantes el comedor registra altos valores de coincidencia entre los valores de medición y simulación. La mayor proporción de valores simulados presentan desfases hasta 0.5°C y otros presentan diferencias entre 0.5°C hasta 0.9°C. En menor proporción se registraron valores con desfases que sobrepasan 1°C.

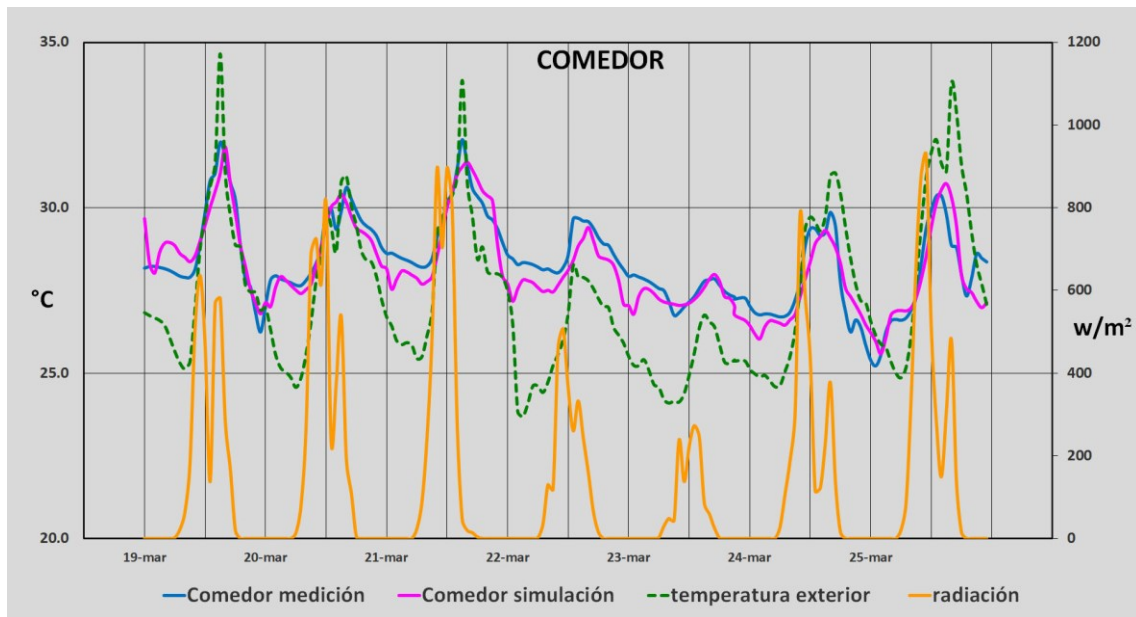


Figura 83. Datos medidos y simulados para el Comedor.
Elaboración propia

De acuerdo al análisis estadístico de regresión simple el coeficiente de correlación entre los valores de las mediciones y simulaciones es de 91%.

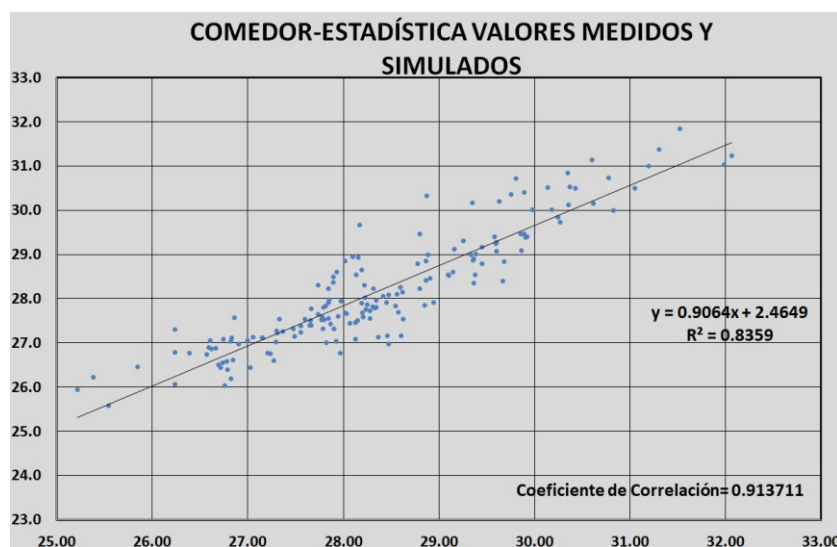


Figura 84. Comedor -Modelo de Dispersión.
Elaboración propia

Sala TV

La Sala de TV es otro de los nuevos espacios de la casa producto de la remodelación, el espacio se conecta con el comedor directamente sin divisiones. Cuenta con una ventana con hojas móviles de 2.40 x 2.00 mt con un antepecho de 1 mt orientada al oeste y en el sentido opuesto se ubica una ventana con vidrio fijo en forma de C con orientación al este. A pesar de ser una construcción nueva en el diseño arquitectónico no se consideraron aleros en las aberturas orientadas hacia el este y oeste respectivamente. La Sala de TV cuenta con un aire acondicionado tipo Split de 24.000 BTU el cual se lo enciende principalmente en las noches, fines de semana y cuando la familia recibe visitas.

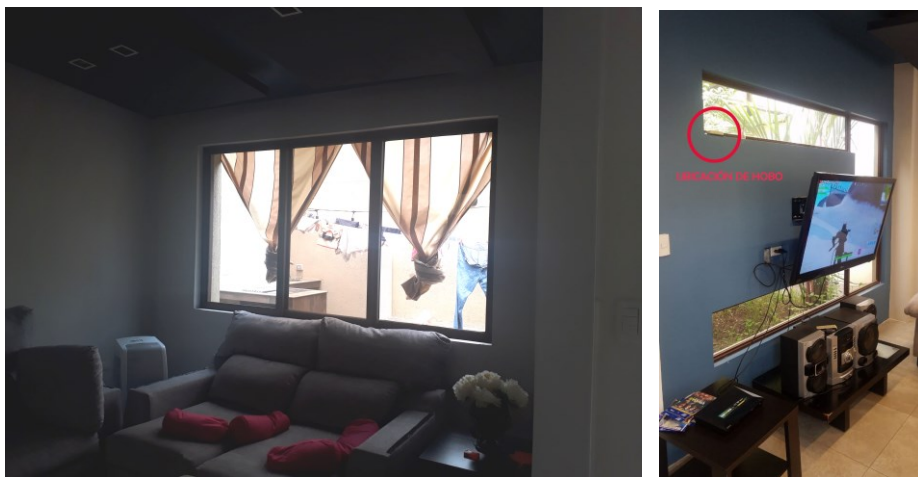


Figura 85. Interior Sala de TV

En la **Figura 86** se presentan los valores medidos con temperaturas máximas entre las 10:00 y 11:00 de la mañana entre 33°C y 34°C, diferencias entre 3°C y 4°C más con respecto a las simulaciones cuyos valores oscilan entre los 29 °C hasta los 32°C. Esta situación tiene una respuesta ya que el Hobo se lo colocó cerca de la ventana (orientación este) y el sol de la mañana lo afectó directamente.

Los dueños de la vivienda no permitieron colocar los Hobos suspendidos en el cielo raso por las reuniones sociales programadas; tampoco fue posible colocarlos en la pared ya que la casa había sido pintada recientemente.

Los valores medidos y simulados en las horas de la mañana se ajustan el viernes 23, el día que registra el menor valor de radiación global. En horas de la noche y madrugada los valores se ajustan, también por la incorporación de los horarios de funcionamiento del aire acondicionado en la plantilla HVAC de acuerdo a la información recibida por los usuarios.

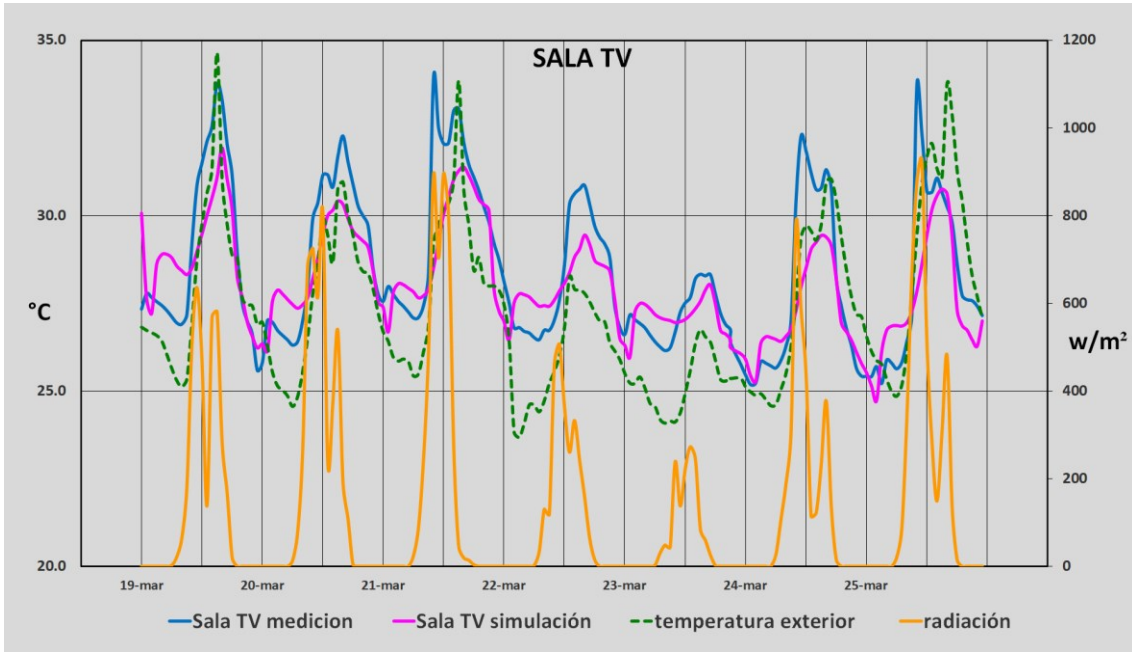


Figura 86. Datos medidos y simulados para la Sala TV
Elaboración propia

Para verificar las temperaturas máximas de las mediciones se realizó un ejercicio para comparar los valores de simulación de la Sala de TV y el Comedor, ya que son zonas contiguas sin divisiones, con la misma orientación, envolvente y se usan regularmente al mismo tiempo.

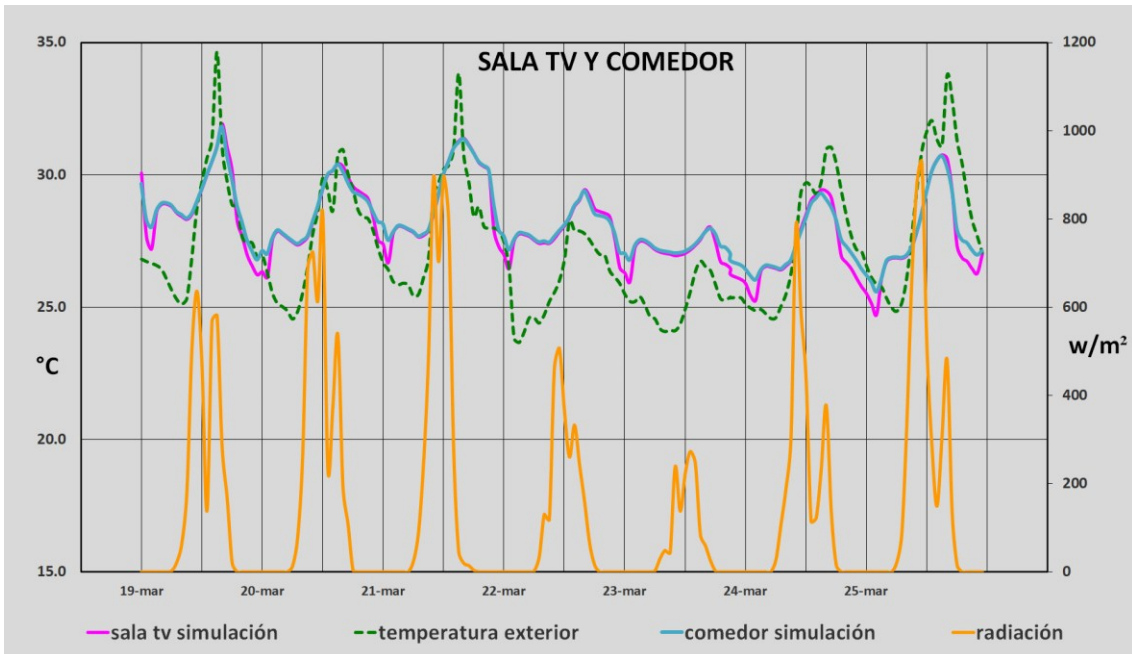


Figura 87. Datos simulados Sala TV y Comedor
Elaboración propia

Otra característica importante fue que los valores de medición y simulación del comedor tuvieron un alto nivel de calibración. En la **Figura 87** se observa que las simulaciones de la Sala de TV y Comedor se ajustan entre sí principalmente en horas de la tarde, en las noches se presentan temperaturas más bajas en la Sala de TV por el uso del aire acondicionado. Con este ejercicio se comprobó la incidencia de la radiación solar en el aparato de medición, destacando las temperaturas máximas por las mañanas de la Sala de TV como valores confiables para calibrar.

De acuerdo al análisis estadístico de regresión simple **Figura 88**, el coeficiente de correlación entre los valores de las mediciones y simulaciones es de 84%.

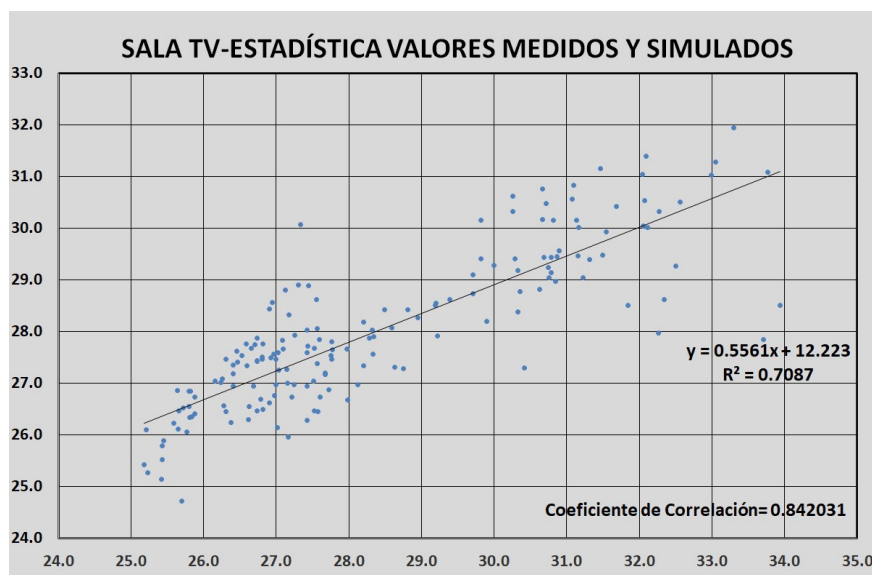


Figura 88. Sala TV -Modelo de Dispersión.
Elaboración propia

Cocina

La cocina tiene una dimensión de 9.60 m² (3.00 mx3.20m), cuenta con una ventana de doble hoja móvil de 1.00x 1.00 con vista al jardín interior de la Vivienda, la cual se mantiene abierta la mayor parte del día especialmente desde las 9:00 de la mañana hasta las 16:00 horas. El área tiene dos puertas, una interna que se comunica con el comedor y otra externa que accede al patio lateral, la cual permanece abierta en el horario de trabajo de la señora encargada de los quehaceres domésticos.

No se tuvieron datos exactos de las actividades domésticas de la señora, solo los horarios generales como la hora de entrada y salida de la señora, el período que se dedica a hacer el almuerzo para los hijos de la familia. De acuerdo a los horarios de los padres e hijos se

realizó un cronograma aproximado del uso y ocupación de la cocina en los días entre semana y fin de semana. El equipamiento del área consta de una cocina de 4 hornillas con horno que funciona con GLP envasado, una refrigeradora, microondas, licuadora y demás aparatos eléctricos.



Figura 89. Interior Cocina

En la **Figura 90** se presentan los valores medidos y simulados de la cocina, los valores máximos de medición se registraron el día miércoles 30.4°C y sábado 30.7°C, este ambiente es uno de los más frescos al igual que la sala, ya que la ventana y puerta hacia el patio está abierta en el horario de trabajo de la señora de los quehaceres, lo cual ayuda a ventilar el espacio.

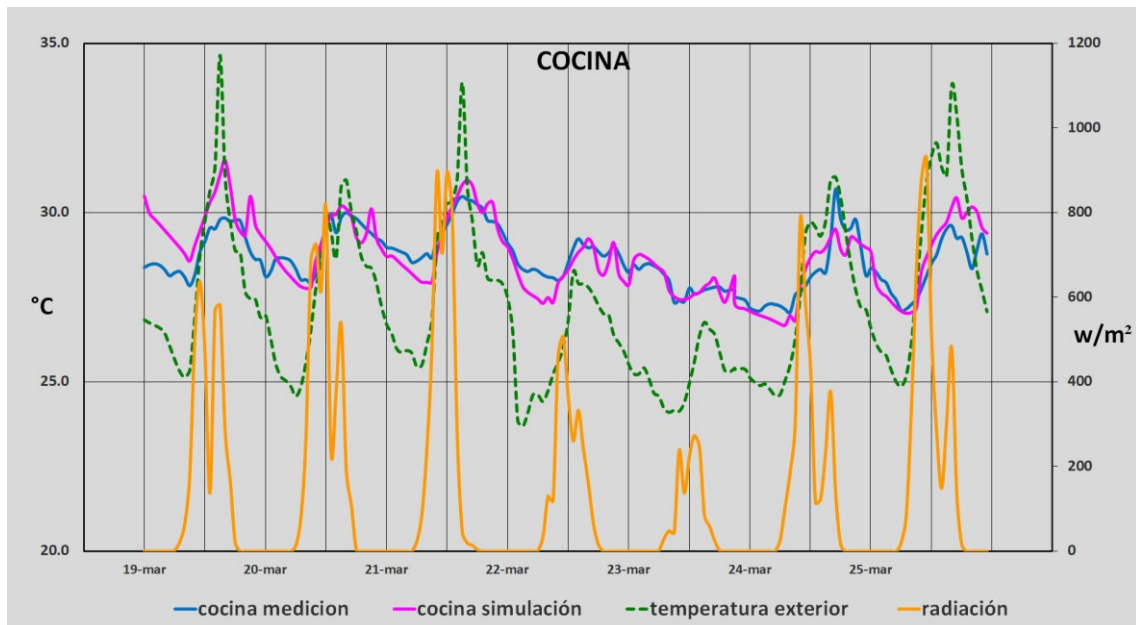


Figura 90. Datos medidos y simulados para la Cocina
Elaboración propia

Desde el día martes hasta el día sábado, las temperaturas se ajustan entre 0.1 a 0.8 °C El lunes 19 presenta una calibración desfavorable, con diferencias hasta 1.6°C principalmente en la madrugada y el domingo 25 de marzo en horas por la tarde. Los demás días calibran favorablemente.

De acuerdo al análisis estadístico de regresión simple, el coeficiente de correlación entre los valores de las mediciones y simulaciones es de 83%. **(Figura 91).**

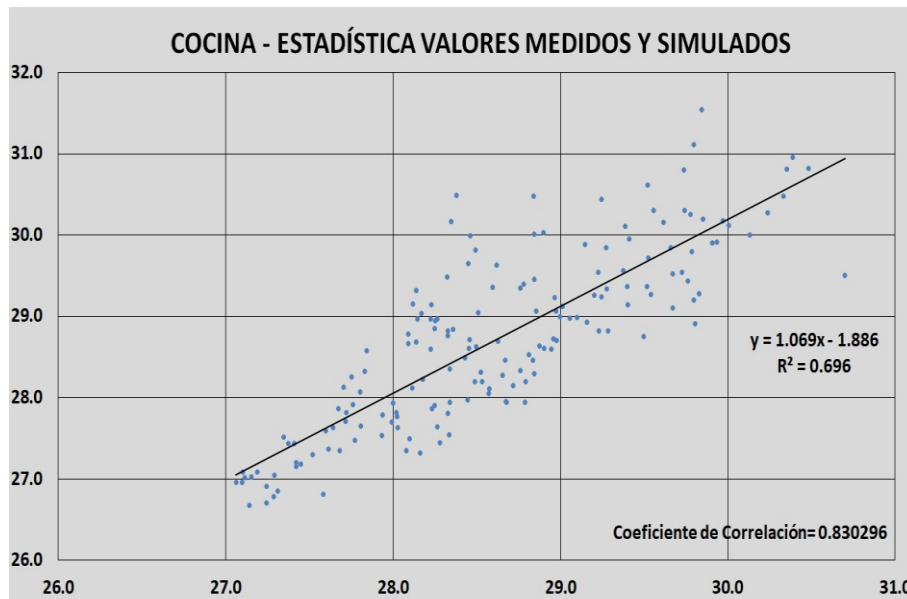


Figura 91. Cocina-Modelo de Dispersión.
Elaboración propia

Caja de Escalera

Se colocó un HOBO en el sector de la escalera a una altura de 40 cm sobre el nivel de planta alta. La caja no tiene aberturas móviles. Una de las paredes colinda hacia el patio lateral, la cual posee un paño central con bloques de vidrio para iluminar naturalmente la escalera. En el software Design Builder se utilizó un cerramiento virtual en la planta baja y la planta alta para delimitar la escalera de los espacios aledaños.

En la **Figura 92** se presentan los valores medidos y simulados de la escalera, en primera instancia se observa que los valores se ajustan favorablemente con diferencias hasta 0.5°C desde el jueves 23 hasta el sábado 25 de marzo. Los días lunes, martes miércoles se ajustan en horas de la mañana y al caer la tarde con desfases hasta 0.5°C y en menor proporción desde 0.5°C hasta 0.9°C. Los desfases con mayor amplitud térmica se registran desde 12:00 hasta las 18:00 los días lunes martes, miércoles, y el día domingo tiene un desfase al final de

la tarde. La caja de escalera está expuesta a las situaciones que se presentan en la sala, espacio contiguo en la planta baja y el corredor de la planta alta y también probablemente la radiación solar ejerció su efecto en la calibración.

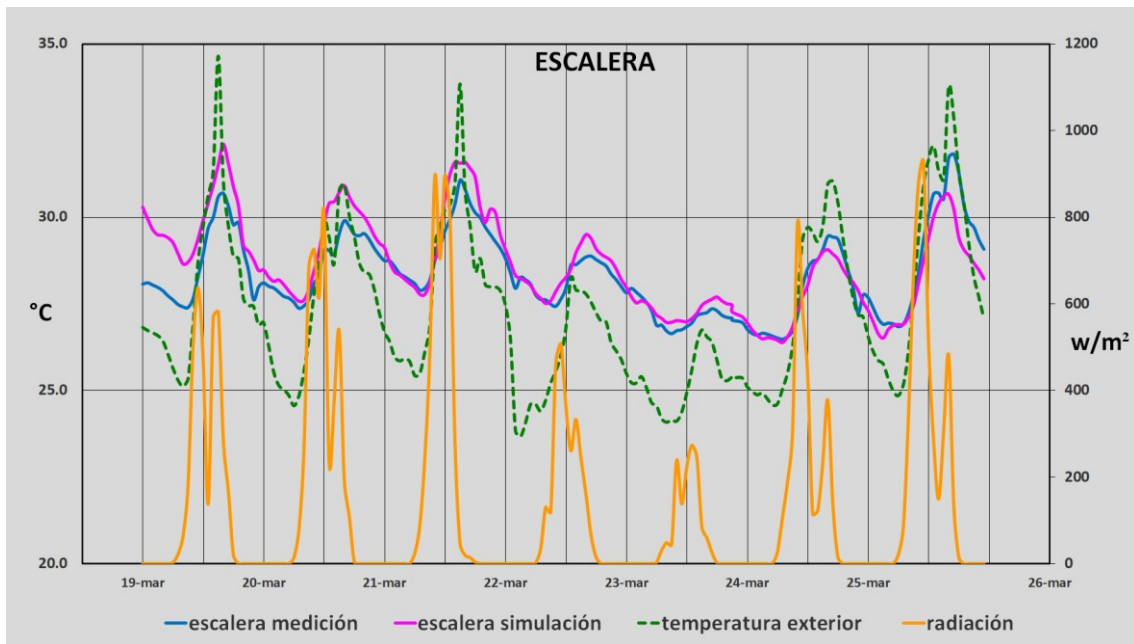


Figura 92. Datos medidos y simulados para la Escalera
Elaboración propia

De acuerdo al análisis estadístico de regresión simple, el coeficiente de correlación entre los valores de las mediciones y simulaciones es de 87%. **(Figura 93)**

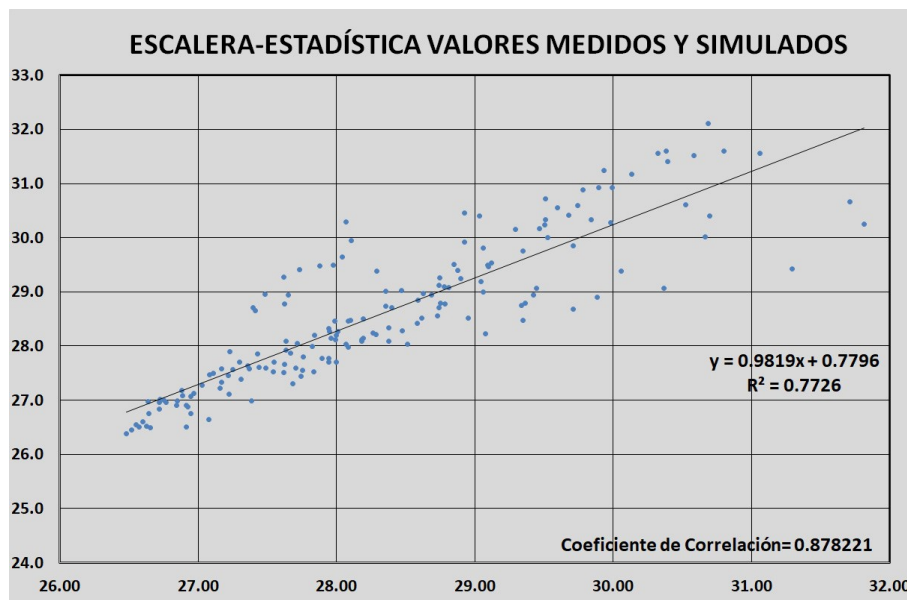


Figura 93. Escalera-Modelo de Dispersión.
Elaboración propia

5.4 Resultados de Simulaciones Planta Alta

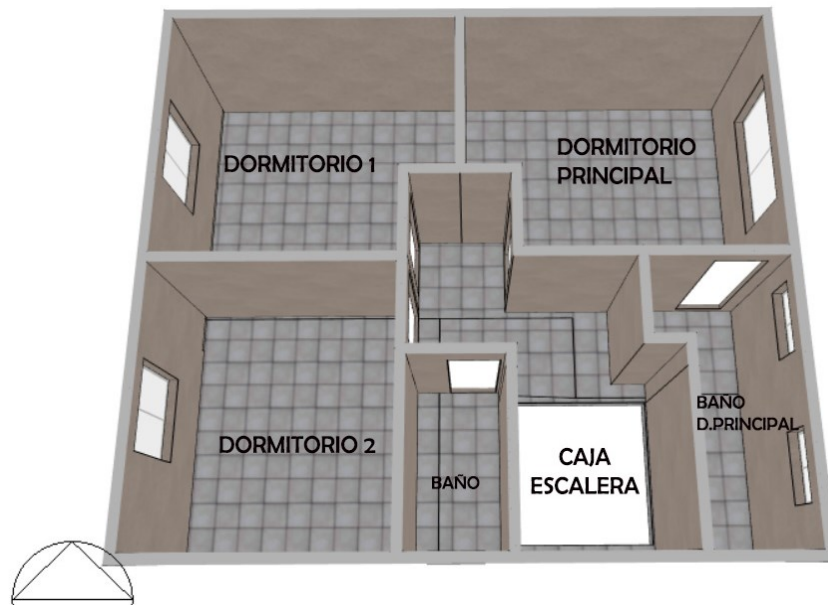


Figura 94. Distribución Planta Alta

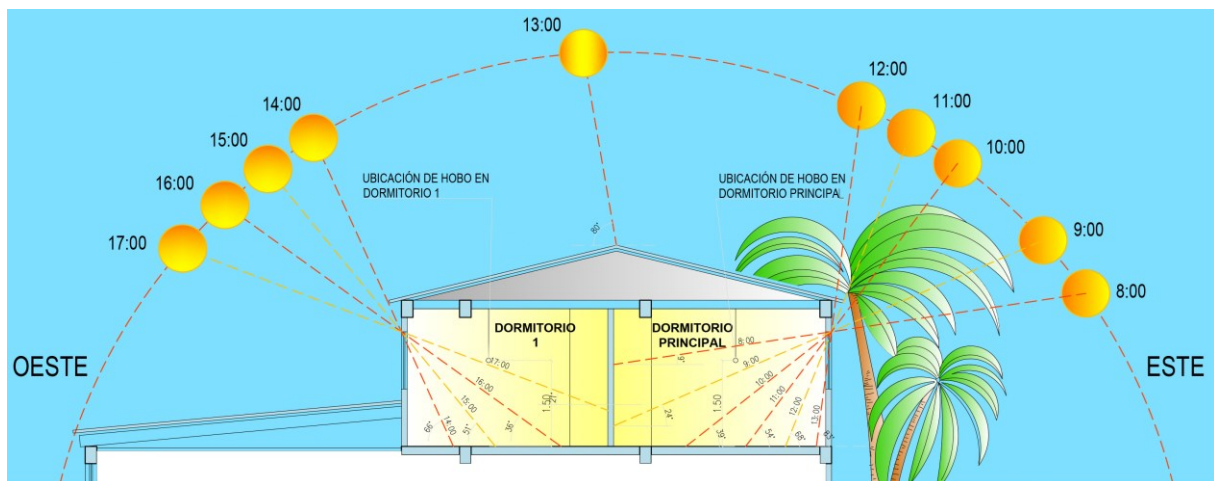


Figura 95. Corte Esquemático planta alta con trayectoria solar (mes de marzo)
Elaboración propia

Dormitorio 1

El dormitorio 1 tiene un área libre de 8.68 m² (3.00m x 2.80m) orientado al oeste, cuenta con una ventana de 1.00 m x 1.20m con antepecho de 1 m, con cortinas oscuras con tejido cerrado. Al igual que las otras ventanas de la vivienda no cuentan con un dispositivo de protección solar en el diseño de fachada. Es la única habitación de la planta alta que no

tiene aire acondicionado, la usuaria utiliza un ventilador de pedestal principalmente a la hora de dormir. Esta condicionante produjo desfases entre valores medidos y simulados (**Figura 96**), principalmente el día lunes 19 de marzo con diferencias hasta 2.5°C. El resto de las madrugadas la brecha se presenta entre 0.1°C a 0.9°C. Otros desajustes considerables se registran en horas de la tarde temperaturas máximas, el día lunes 19 con 35.2 °C y el miércoles 21 de marzo con 35.9°C. Esta última temperatura fue la más alta registrada en el período de medición con 35.9°C y la temperatura simulada fue 32.2°C, una diferencia de 3.5 °C. Esta situación genera algunas interrogantes sobre cuáles serían los motivos del desfase ya que en el dormitorio 2 en el mismo período (día y hora) la diferencia es de 1.1°C. (ver **Figura 98**).

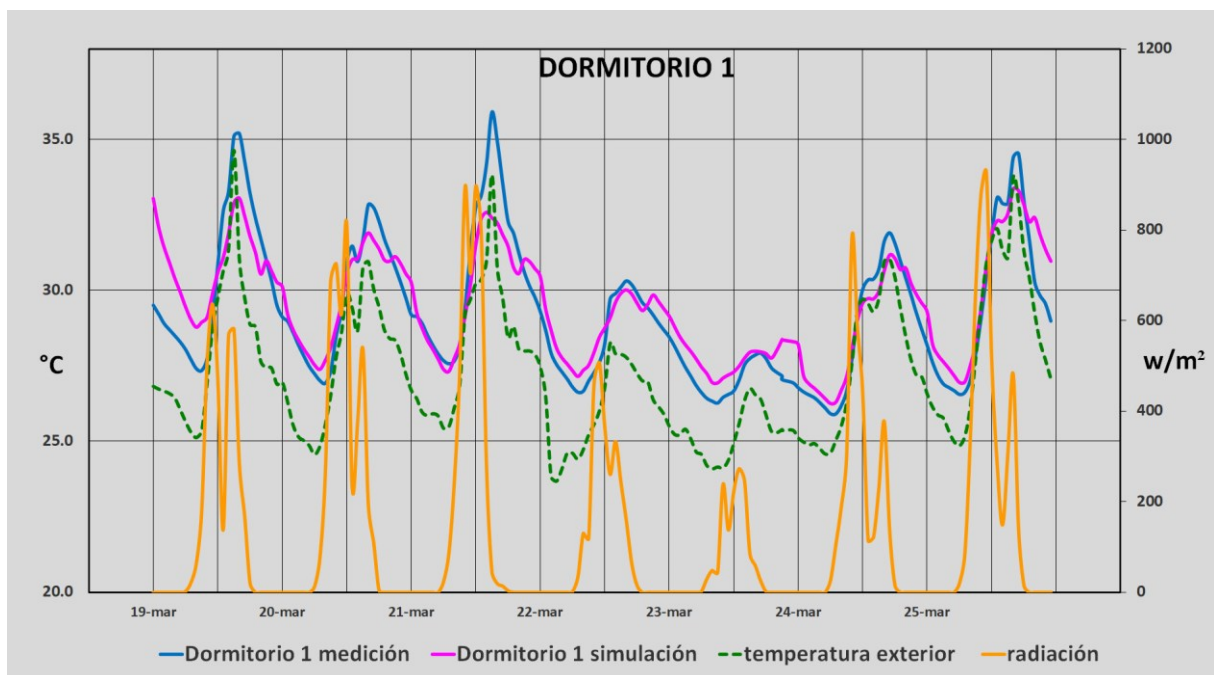
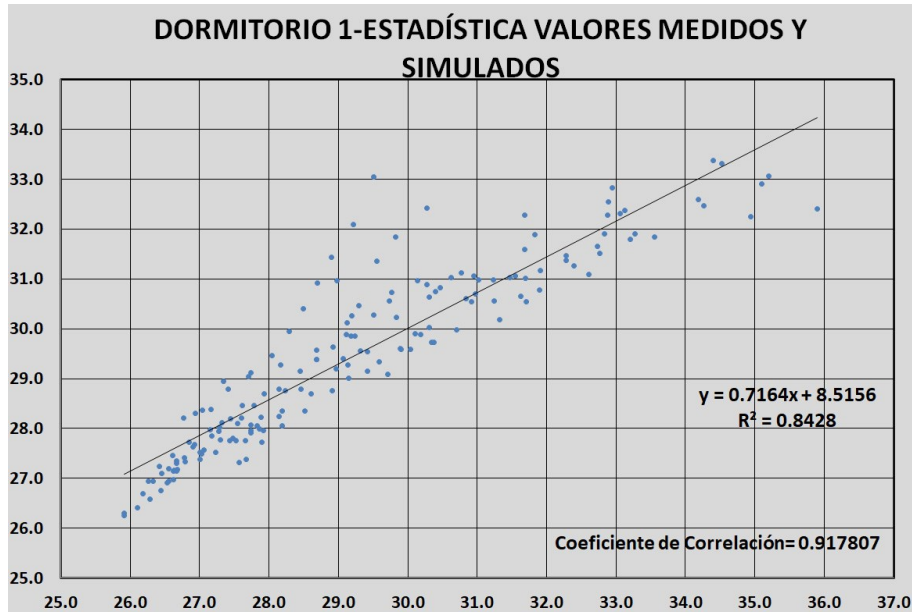


Figura 96. Datos medidos y simulados para el Dormitorio 1
Elaboración propia

De acuerdo al análisis estadístico de regresión simple, el coeficiente de correlación entre los valores de las mediciones y simulaciones es de 91%. (**Figura 97**)



Dormitorio 2

Este dormitorio es ocupado por el miembro más joven de la familia, cuenta con un área interior de 8.68 m² (3.10m x 2.80m) orientado al oeste, cuenta con una ventana de 1.00 m x 1.20m con antepecho de 1 m, con cortinas de color blanco con un tejido muy abierto. Esta habitación cuenta con un antiguo aire acondicionado de ventana, que no tiene la posibilidad de colocar el termostato a la temperatura que el usuario desea, se lo enciende por algunas horas en las noches para enfriar la habitación, posteriormente el padre lo apaga generalmente 4 de la mañana. De acuerdo al registro de mediciones el aire acondicionado funciona en las madrugadas y algunas horas en los fines de semana. Como se mencionó anteriormente no es posible establecer un valor definido al termostato del equipo, motivo por el cual en las mediciones se registraron bajas temperaturas con diferentes valores desde los 15°C hasta los 22°C. Cuando se activa la refrigeración en el programa Design Builder el termostato solo permite dos temperaturas, una principal y la otra secundaria; de acuerdo al rango de bajas temperaturas se configuró el software con 2 valores, consigna principal 18°C y la secundaria 20.

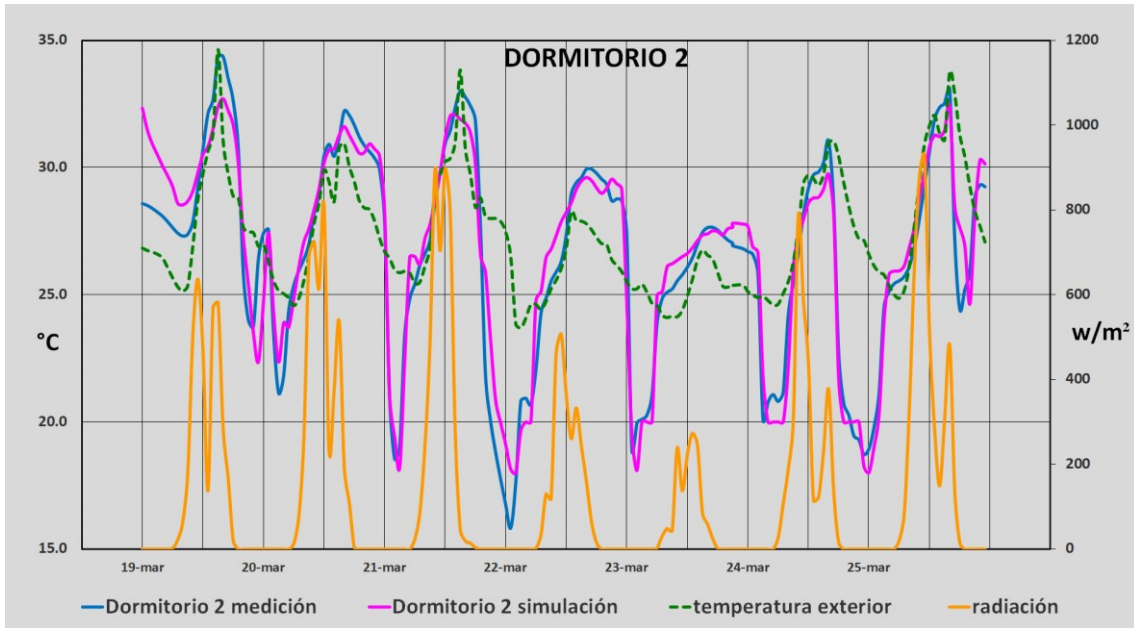


Figura 98. Datos medidos y simulados para el Dormitorio 2
Elaboración propia

La **Figura 98** presenta los valores registrados en sitio y simulados, la principal diferencia con los demás ambientes analizados son las abruptas caídas de temperatura por el uso del aire acondicionado sin termostato fijo, por lo que se observa temperaturas debajo de los 18 °C, principalmente el jueves 22 de marzo con 15.8°C mientras que la temperatura simulada para ese día fue 18°C (consigna principal). En horas de la tarde se presentan diferencias entre 0.2°C hasta 2.2°C como máximo.

De acuerdo al análisis estadístico de regresión simple, el coeficiente de correlación entre los valores de las mediciones y simulaciones es de 95%. (**Figura 99**)

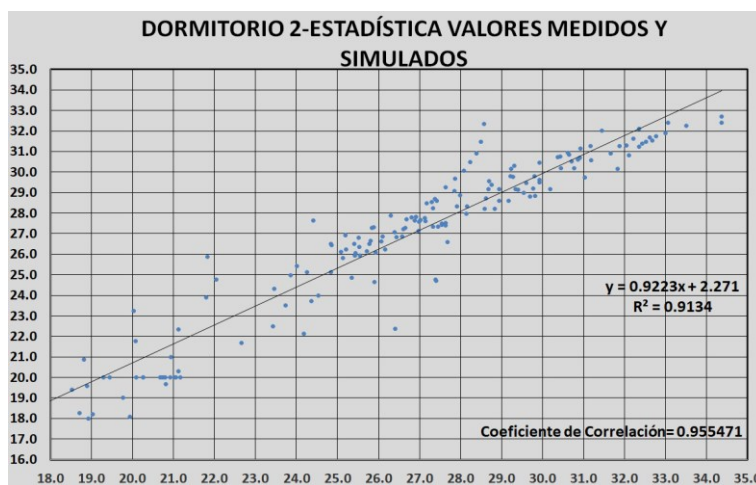


Figura 99. Dormitorio 2 - Modelo de Dispersión.
Elaboración propia

Dormitorio Principal

El dormitorio principal tiene un área libre de 9 m² (3.00m x 3.00m) orientado al este, la ventana tiene una dimensión de 1.60 m x 1.20 m la cual tiene una cortina de color oscuro con tejido cerrado. La ventana no cuenta con un elemento arquitectónico para protección solar en la fachada, pero esta falencia es compensada por las palmeras que están sembradas en el jardín que producen una sombra considerable.

El dormitorio posee un viejo aire acondicionado de ventana que es utilizado en horas de la madrugada, que se lo prende aleatoriamente aproximadamente desde las 23:00 hasta 4:00 o 5:00 de la mañana. En la Figura 95 se presenta un corte esquemático en la cual se observa la incidencia de las palmeras y una fotografía de la situación actual de la vegetación en la **Figura 79**.

En la **Figura 100** se presentan los valores medidos y simulados, en los cuales se registran desfases 0.1°C a 0.9°C, entre las mediciones y simulaciones principalmente en horas de la tarde y madrugada. Los días lunes y miércoles, la temperatura exterior registrada a las 15:00 supera las temperaturas interiores. Los días jueves 22 y viernes 23 registran menor radiación solar, la temperatura interior de la habitación es más alta que la temperatura exterior, amplitudes térmicas entre 1.6°C y 0.8°C respectivamente.

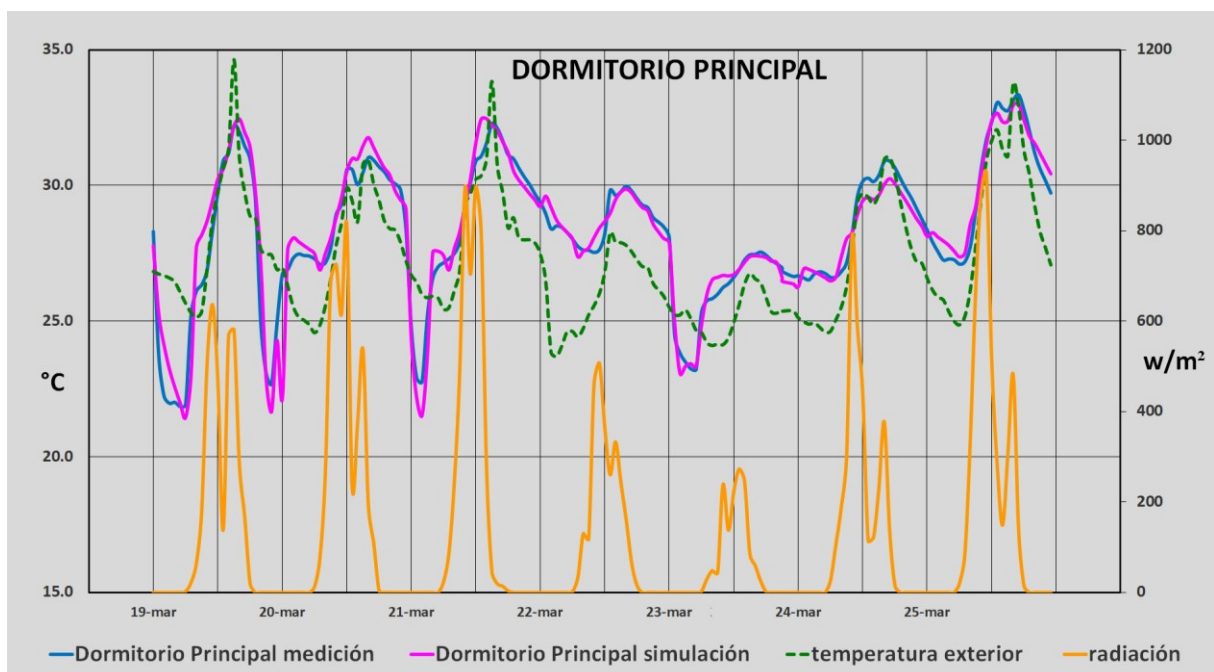


Figura 100. Datos medidos y simulados para el Dormitorio Principal
Elaboración propia

De acuerdo al análisis estadístico de regresión simple, el coeficiente de correlación entre los valores de las mediciones y simulaciones es de 96%. **(Figura 101)**

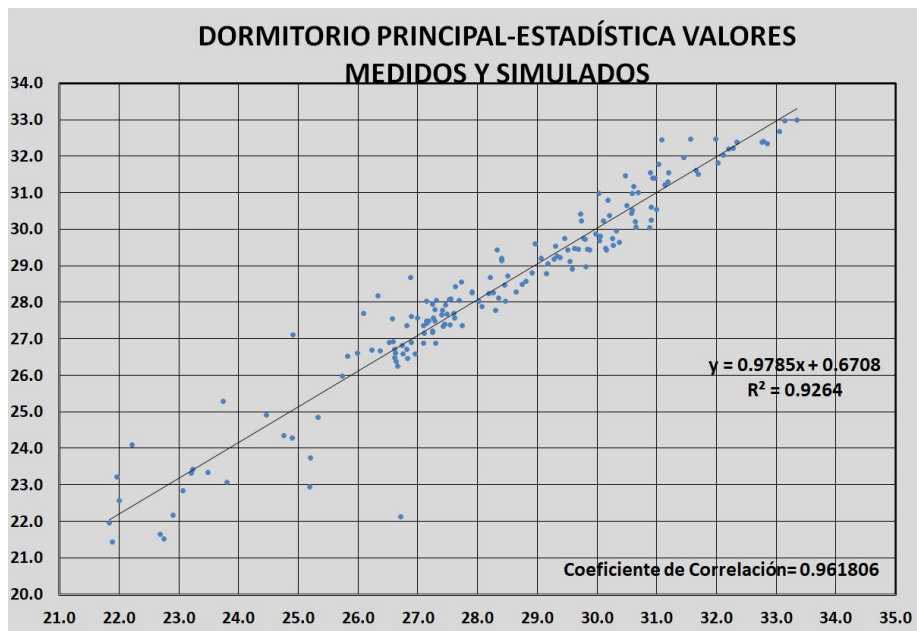


Figura 101. Dormitorio Principal - Modelo de Dispersión.
Elaboración propia

5.5 Conclusiones

La fiabilidad de los datos del archivo climático representó el punto neurálgico para el éxito de la calibración. Esta fase generó bastante dificultad porque no se tenían a disposición los datos climáticos medidos en sitio como la velocidad - frecuencia del viento y la radiación solar por la falta de instrumental. Con recursos propios se invirtió en la compra de 9 micro adquirentes de datos de la marca HOBO para realizar las mediciones de temperatura y HR en los espacios interiores y semicubiertos de la vivienda.

De acuerdo al proceso realizado los datos de la radiación solar fueron determinantes para obtener los resultados más aproximados entre las mediciones y simulaciones. Se utilizaron varios métodos para la obtención de la radiación directa y difusa a partir de la radiación global, dato disponible por el INAMHI, sin embargo, los resultados no fueron aceptables. Se consultó al Dr. Arq. Gustavo Barea¹⁰⁶ sobre cuál sería la mejor metodología a utilizar, y nos proporcionó los valores de radiación directa y difusa mediante la utilización del software SIMEDIF 2020. Esos datos fueron incorporados en el archivo climático y los resultados de las simulaciones se acercaron a los valores de las mediciones.

La calibración en las horas de uso de los acondicionadores de aire principalmente de los equipos de ventana con un termostato fijo resultó complicado ya que en muchas ocasiones las temperaturas medidas fueron muy bajas con registros desde 15°C a 20°C en el dormitorio 2 y se dificultó la configuración de la temperatura principal y temperatura secundaria del termostato en el programa de simulación para recrear el contexto real. Aún con todas esas condicionantes el coeficiente de correlación fue del 95%

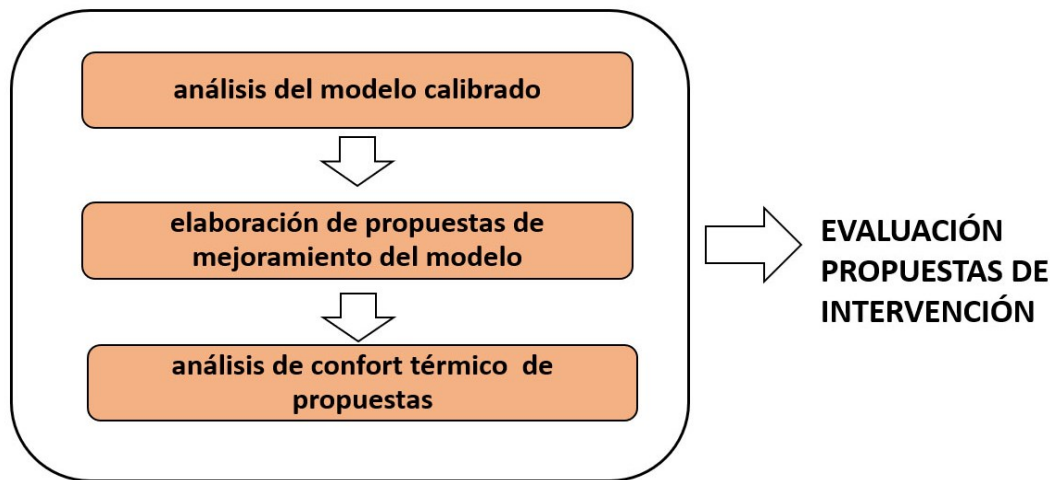
Los resultados de planta alta registraron los mejores valores de coeficiente de correlación, el dormitorio principal con 96%, el dormitorio 1 con 91% y el dormitorio 2 con 95%, a diferencia de la planta baja que presentaron valores entre 83% a 96%, siendo el comedor el espacio con mejor calibración. El uso de un aire acondicionado portátil y usarlo en las diferentes zonas de la planta baja dificultó la calibración, esta situación fue registrada durante el análisis de las mediciones de la sala. Para las simulaciones de esta zona se activó un equipo aire acondicionado para recrear esta situación en los horarios pertinentes.

106 Docente e investigador del CONICET.

Las zonas de planta baja no tienen separaciones, motivo por el cual las cargas térmicas internas y externas de un espacio afectan directamente a las zonas contiguas, esta situación fue considerada y los resultados de las simulaciones se acercaron un poco más a la realidad.

Otra condicionante fue la elección del tipo de ventilación a utilizar en la simulación, la ventilación programada fue elegida de acuerdo a los insumos disponibles, al funcionamiento del programa y mediante la comparación de los valores medidos y simulados.

6 CAPÍTULO SEIS: EVALUACIÓN DEL MODELO ENERGÉTICO



Esquema 6. Metodología Capítulo Seis

Con la obtención del modelo energético de acuerdo a las condiciones reales de uso, se realizó un análisis de confort térmico del modelo original y se estableció una línea base de confort. Posteriormente se elaboraron propuestas de mejoramiento de la envolvente y nuevos análisis de confort para compararlos con la línea base.

Para el análisis de confort se proponen 2 períodos:

1. Análisis de confort anual en el cual se determinaran el número de horas de confort y discomfort de acuerdo al método de confort adaptativo ASHRAE 55. Se propone realizar dos tipos de análisis:
 - Análisis de confort de los horarios ocupados por los usuarios
 - Análisis de todos los períodos, con o sin ocupación de las 8760 horas que comprende un año.
2. Análisis de confort de la semana que corresponde al estudio de campo (19 al 25 de marzo)

Para complementar los análisis de confort y los prototipos de mejoramiento se elaboraron los respectivos balances térmicos.

6.1 Análisis de confort térmico del modelo base

El caso de estudio presenta una condicionante importante para el análisis de confort térmico en estado pasivo, ya que la vivienda tiene 4 equipos de aire acondicionado en los siguientes ambientes:

- Un equipo portátil que se lo utiliza en varias zonas de la planta baja.
- Un Split en la Sala de TV,
- Un equipo de ventana en el Dormitorio Principal
- y un equipo de ventana en el Dormitorio 2.

Esta situación generó la búsqueda de alternativas para realizar el análisis con el método de Confort Adaptativo ASHRAE 55, ya que el modelo energético de la vivienda está calibrado de acuerdo al estudio de campo, (reales condiciones de usos de la vivienda) motivo por el cual se encuentra activado en el modelo energético la opción de aire acondicionado en la configuración del HVAC, motivo por el cual se plantearon las siguientes alternativas:

- Análisis de Confort Adaptativo en el período de medición de campo (19 de marzo al 25 de marzo) con los ambientes en estado pasivo, descartando los ambientes climatizados.
- Análisis de Confort Adaptativo anual desactivando la opción de refrigeración del modelo energético.

Análisis de confort adaptativo período (19 de marzo al 25 de marzo)

De acuerdo al monitoreo térmico y análisis de las mediciones de la vivienda, en la **Tabla 47** (capítulo 4), se revisaron los horarios de uso de climatización artificial estableciendo los períodos y las áreas de la casa que funcionaron de manera pasiva y activa. Estos insumos sirvieron de base para la elaboración de la **Tabla 50** para determinar los ambientes que fueron ventilados naturalmente o que no utilizaron climatización mecánica para realizar un análisis de confort térmico de acuerdo a los lineamientos del modelo adaptativo de ASHRAE 55.

Ambiente	Lunes 19	Martes 20	Miércoles 21	Jueves 22	Viernes 23	Sábado 24	Domingo 25
Sala	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva	activa	Activa (9 hr)
Cocina	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva
Comedor	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva
Sala TV	pasiva	pasiva	activa (2hr)	pasiva	activa (2.5 hr)	activa (8 hr)	activa (9hr)
Dormitorio Principal	activa	pasiva	activa	pasiva	activa	pasiva	pasiva
Dormitorio 1	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva	pasiva
Dormitorio 2	pasiva	activa	activa	activa	activa	activa	pasiva

Tabla 50. Climatización activa y pasiva de la vivienda (19 de marzo hasta el 25 de marzo)
Elaboración propia

De acuerdo a lo analizado en la **Tabla 50** se determinaron los ambientes y períodos de tiempo que se analizarán con el Estándar ASHRAE 55 de confort adaptativo.

Ambiente	período de análisis
Sala y Comedor	5 días
Cocina y Dormitorio 1	7 días

Tabla 51. Ambientes y período de análisis (19 de marzo al 25 de marzo)

En la **Tabla 51** se presentan los ambientes que no utilizaron aire acondicionado y el período que funcionaron en estado pasivo. El período de análisis de la Sala y Comedor será de 5 días, se descarta el fin de semana por el uso entre 8 y 9 horas del aire acondicionado en la Sala de TV lo que contribuye a la modificación de las temperaturas de los demás ambientes de la planta baja por la ausencia de paredes divisorias entre ellos. La cocina y el dormitorio 1 son espacios independientes con paredes divisorias, motivo por el cual el período de análisis fue de 7 días.

- Mediante las simulaciones térmicas se obtuvieron los datos de las temperaturas operativas de los ambientes seleccionados, las cuales se graficaron en la **Figura 102** en conjunto con los datos de radiación solar y la temperatura exterior (19 de marzo al 25 de marzo). Finalmente se añadió el rango de confort adaptativo 90% de aceptabilidad para el clima de Guayaquil (Límite superior 28.80°C- Límite inferior 23.80°C) previamente calculado en el capítulo 4.

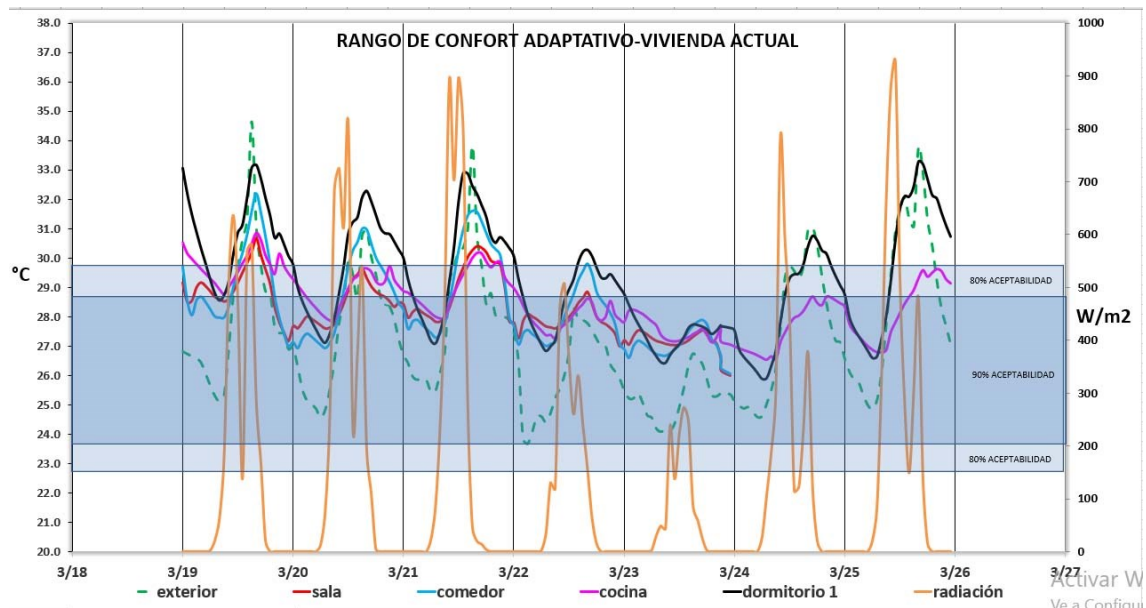


Figura 102. Temperaturas operativas de los ambientes que funcionan con climatización pasiva (19 de marzo al 25 de marzo) Elaboración propia

De acuerdo a los resultados se puede observar que la temperatura operativa del dormitorio 1 de la planta alta está fuera del rango de confort del 90% de aceptabilidad especialmente en horas de la tarde y es susceptible a los altos valores de radiación solar de los días 20, 21, 24 y 25 de marzo. Los días nublados o con menor índice de radiación solar como el día 24 de marzo las temperaturas operativas de los ambientes se encuentran dentro del rango de confort. En los demás días en las mañanas y en las tardes la vivienda se encuentra por encima del umbral de confort y en las noches las temperaturas operativas disminuyen. Tomando como referencia las temperaturas registradas en el dormitorio 1, registra un máxima de 33°C en horas de la tarde la cual disminuye aproximadamente a 27°C en horas de la noche registrándose una amplitud térmica aproximada de 6°C

Análisis de confort adaptativo anual

Para establecer una línea de base de confort térmico y realizar un análisis anual se desactivó la opción de refrigeración del modelo de simulación para que la vivienda funcione en estado pasivo bajo los parámetros del método de confort adaptativo ASHRAE 55. Cabe recalcar que la simulación anual fue realizada considerando los horarios de uso de la vivienda por parte de los usuarios y de la señora que realiza los quehaceres domésticos. De acuerdo al estudio de campo y a las entrevistas con los usuarios de la vivienda se

establecieron las condiciones de uso de las ventanas, horarios de ocupación y los hábitos de la señora que realiza la limpieza de mantener las ventanas cerradas en planta baja en algunos ambientes como la sala y el comedor para evitar que el polvo ingrese desde el exterior. Esta operación de la vivienda de acuerdo a las condiciones reales de uso se denominará Escenario 1.

En la **Tabla 52** se presentan los períodos de apertura de puertas y ventanas de acuerdo a las condiciones reales de la vivienda que comprende el Escenario 1. En general la planta baja tiene restricciones de ventilación por los hábitos de la señora que realiza los quehaceres domésticos, motivo por el cual la ventana de la sala permanece cerrada y ese ambiente no se utiliza en la mayor parte del tiempo. Las puertas corredizas del comedor hacia el patio interior y el patio posterior permanecen cerradas para evitar que el polvo ensucie el interior de la vivienda. Se abre a partir de las 16:00 cuando el hijo menor de la familia llega a almorzar. La ventana de la sala de TV permanece cerrada en las noches y fines de semana por el uso del A/C.

Ambiente	Período	Escenario 1	
		Ventanas	Puertas
Sala	Lunes a viernes	Off	N/A
	Fin de semana		
Comedor	Lunes a viernes	16:00-24:00	N/A
	Fin de semana	13:00-17:00	
Cocina	Lunes a viernes	9:00-20:00	9:00-24:00
	Fin de semana	9:00-24:00	Off
Sala TV	Lunes a viernes	10:00-19:00	N/A
	Fin de semana		
Dormitorio 1	Lunes a viernes	9:00-24:00	7:00-24:00
	Fin de semana		9:00-24:00
Dormitorio 2	Lunes a viernes	9:00-22:00	9:00-23:00
	Fin de semana	9:00-24:00	9:00-24:00
Dormitorio Principal	Lunes a viernes	9:00-24:00	9:00-24:00
	Fin de semana	On	9:00-24:00

Tabla 52. Escenario 1- Período de funcionamiento de ventanas y puertas
Elaboración propia

Las puertas y ventanas de los dormitorios de la planta alta permanecen abiertas por las mañanas y tardes, posteriormente en la noche los usuarios interactúan con las ventanas de acuerdo a sus requerimientos personales. Los dormitorios 2 y el principal tienen A/C, lo prenden por unas horas, luego lo apagan y cierran las ventanas. En esa época la usuaria del dormitorio 2 cerraba las ventanas y puertas para dormir y prendía un ventilador de pedestal. Se realizaron las simulaciones energéticas para el escenario 1, y se obtuvieron los datos horarios de temperatura operativa y temperatura radiante en los períodos en los que se registra ocupación la vivienda. Posteriormente se utilizó la herramienta en Excel Confadapt-Ash55 ¹⁰⁷ que calcula los resultados de confort adaptativo tomando como referencia el estándar ASHRAE 55-2017. La herramienta proporciona los resultados agrupados en el gráfico para la obtención del rango de confort adaptativo y la cantidad de horas ¹⁰⁸ de confort y desconfort.

En la **Tabla 53** se presentan la cantidad de horas de confort (90% de aceptabilidad), en la planta baja el comedor y la sala de TV son los ambientes menos confortables registrando 984 horas (39.81%) y 1067 horas (52.48%) respectivamente. En la planta alta, el área con mayores horas de confort es el dormitorio principal con 1851 horas (74.01%), el dormitorio 1 registró 2058 horas de confort (71.81%) y el dormitorio 2 con 1978 horas (63.28%).

Horas de confort (90% aceptabilidad)-modelo vivienda original-anual														
Períodos Ocupados por los usuarios														
No. Horas	Sala		Comedor		Cocina		Sala TV		Dormitorio 1		Dormitorio 2		Dormitorio Principal	
Escenario 1	62 h	59.62%	934 h	39.81%	1264 hr	67.34%	1067 h	52.48%	2058 h	71.81%	1978 h	63.28%	1851 h	74.01%
No. horas analizadas	104 h		2346 h		1877 h		2033 h		2866 h		3127 h		2501 h	

Tabla 53. Escenario 1- Análisis de confort adaptativo anual (períodos ocupados por los usuarios)
Elaboración propia

En la **Tabla 54** se presenta el análisis de las temperaturas de confort correspondiente a 8760 horas que comprenden un año determinando el número de horas que cumplen el 90% de aceptabilidad.

107 Disponible en internet <<https://www.seiscubos.com/recursos/confadapt-en15251>> una página especializada en casos de estudio de simulaciones y cursos en línea con Design Builder, y demás recursos.

108 La herramienta Confadapt-Ash55 realiza el análisis del confort adaptativo hasta 8.760 horas (anual)

De acuerdo a los resultados obtenidos la planta baja la sala registra un mayor número de horas de confort con 5700 horas equivalentes al 65.08%. Los valores registrados en el comedor, la cocina y la Sala de TV se encuentran entre el 57% y 59% de horas de confort, es decir que las horas de disconfort equivalen al 40%. En la planta alta el dormitorio principal es el que registra mayores horas de confort con 4711 horas equivalentes al 53.79%. El dormitorio 1 registró 4421 horas de confort equivalente al 50.47% y en el dormitorio 2 se registraron 4334 horas de confort representando el 49.49%.

Horas de confort (90% aceptabilidad)-modelo vivienda original														
Todos los períodos														
No. Horas	Sala		Comedor		Cocina		Sala TV		Dormitorio 1		Dormitorio 2		Dormitorio Principal	
Escenario 1	5700 h	65.08%	5158 h	58.89%	5049 h	57.65%	4998 h	57.07%	4421 h	50.47%	4334 h	49.49%	4711 h	53.79%
No. horas analizadas	8759 h		8759 h		8758 h		8757 h		8759 h		8757 h		8758 h	

Tabla 54. Escenario 1- Análisis de confort adaptativo anual (todos los períodos)
Elaboración propia

6.2 Balance Térmico de la vivienda original

En la **Tabla 55** se presenta el balance térmico anual en el cual se identifican las ganancias y pérdidas de calor de la vivienda. Las ganancias representan el 49%, divididos de la siguiente manera: la cubierta el 13%, ganancia solar por acristalamiento con el 22%, por iluminación el 7%, y por personas-equipos el 7%. Las pérdidas de calor representan -51%, el -27% mediante infiltraciones y aire exterior que ingresa a la vivienda, por los muros -12%, por las ventanas -7% y por los suelos o perímetros -5%. Los valores más altos de ganancias solares que sobrepasan los 600 kWh se presentan en los meses de diciembre, enero y febrero correspondiente a la temporada lluviosa. En la temporada seca las ganancias solares disminuyen especialmente en los meses de junio, julio y agosto por debajo de los 400kWh.

Las mayores ganancias de calor por las cubiertas se registran en los meses de enero con 9429 kWh, febrero con 481 kWh, el mes de marzo con 333 kWh, abril con 424 kWh y diciembre con 435 kWh. En la temporada seca las ganancias por la cubierta disminuyen, registrándose en mayo 185 kWh, en junio 183 kWh, en julio 70 kWh y en el mes de agosto con 168 kWh. Las ganancias internas de la vivienda están conformadas por la iluminación

interior con 1939.37 kWh y las personas y equipos equivalente a 1939.41 kWh. En resumen, se registra una carga de refrigeración de 13352.48 kWh.

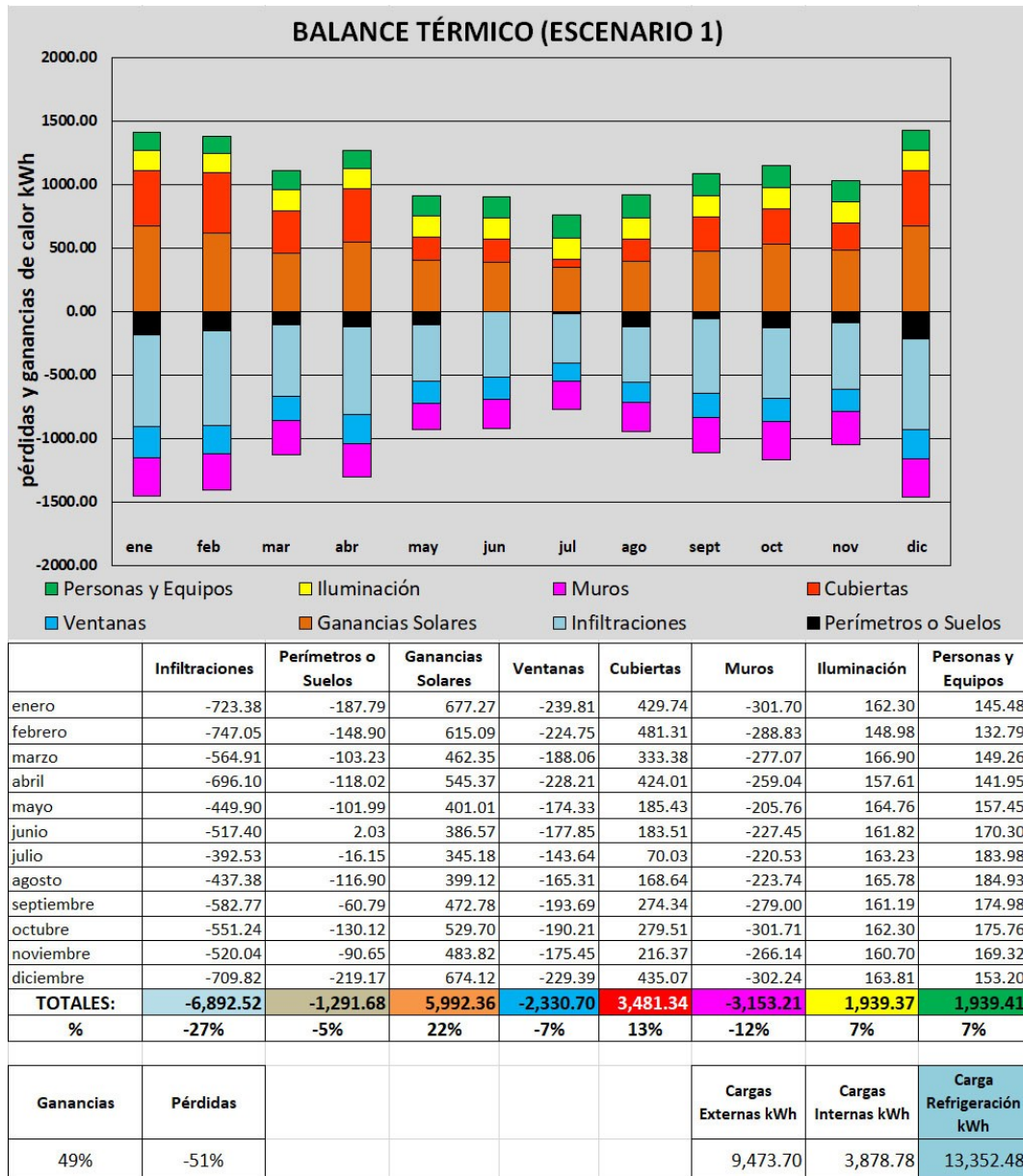


Tabla 55. Balance térmico anual (Escenario 1)
Software: Design Builder y tabla de Excel basada en Result-DB_BalanRenov

En la **Tabla 56** se presenta el balance térmico correspondiente al período del estudio de campo (19 de marzo al 25 de marzo) en el cual se ha incorporado los valores de radiación solar registrados de la estación meteorológica más cercana al sitio de estudio. Se puede observar que los días martes 20, miércoles 21 y domingo 25 de marzo son los días con mayores índices de radiación solar con ganancias solares que sobrepasan los 10 kWh. Los

días jueves 22 y viernes 23 de marzo presentan menores valores de radiación solar, sin embargo, se presenta calor acumulado en la masa térmica de los pisos ante la disminución de las ganancias solares por medio de las ventanas.

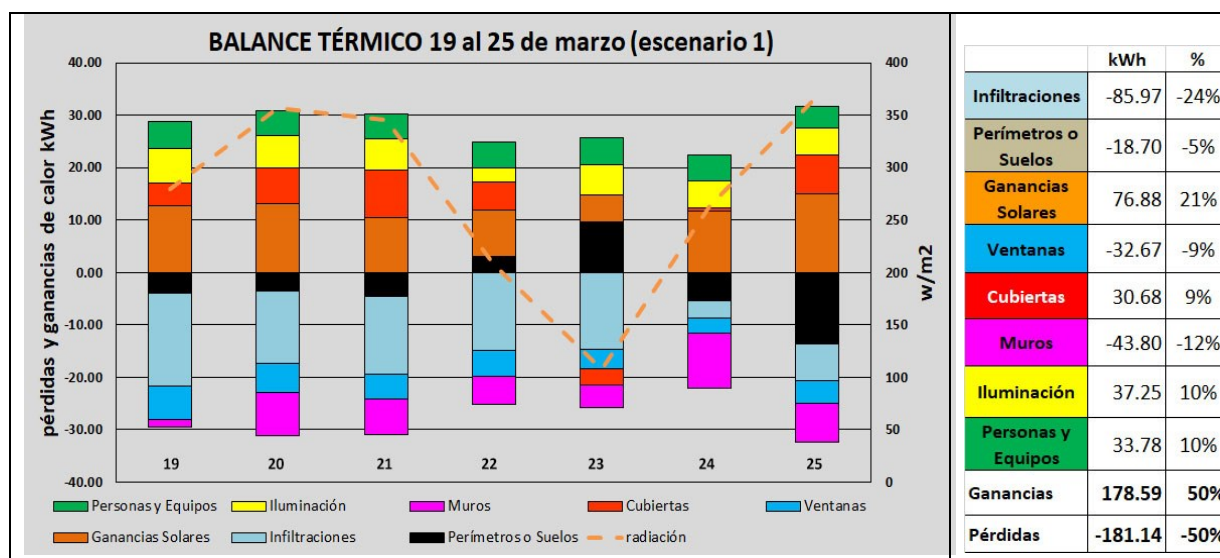


Tabla 56. Balance térmico semana 19 al 25 de marzo (Escenario 1)
Software: Design Builder y tabla de Excel basada en Result-DB_BalanRenov

En la **Tabla 57** se presenta el efecto de la radiación solar incidente¹⁰⁹ en la vivienda, (fachada oeste) de acuerdo a los valores de la radiación solar del día 21 de marzo y en el transcurso de las 7:00 hasta las 17:00 horas. Las cubiertas son las más expuestas al efecto de la radiación solar incidente, a las 13:00 se registra un valor máximo de 0.50 kWh/m² en la cubierta de planta alta, mientras que en las cubiertas de planta baja se observan valores entre 0.30 a 0.50 kWh/m². Con respecto a la afectación de la radiación incidente en las paredes, los valores más altos se presentan a partir de las 15:00 hasta el ocultamiento del

109 Radiación solar incidente (Gg) es la energía solar radiante que incide sobre la superficie terrestre y se denomina “radiación global” sobre una superficie (W m⁻²). La radiación solar total o global consiste en: Haz (o directo) Radiación (Gb) es la parte de la radiación total que llega directamente a la superficie terrestre sin ser dispersada por la atmósfera (W m⁻²)

Radiación difusa (Gd) es la parte de la radiación total que llega a la superficie terrestre después de un cambio de dirección debido a la dispersión por la atmósfera (W m⁻²).

La radiación solar incidente con respecto a la normal se refiere a la radiación solar que cae perpendicularmente sobre una superficie, es decir, que tiene un ángulo de 90° con respecto a la superficie.

Disponible en internet:

[https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/incident-solar-radiation#:~:text=Incident%20solar%20radiation%20to%20normal,\(W%20m%E2%88%922\).](https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/incident-solar-radiation#:~:text=Incident%20solar%20radiation%20to%20normal,(W%20m%E2%88%922).)

sol. Las paredes de planta baja se encuentran más resguardadas a diferencia de las paredes de planta alta que están más expuestas.

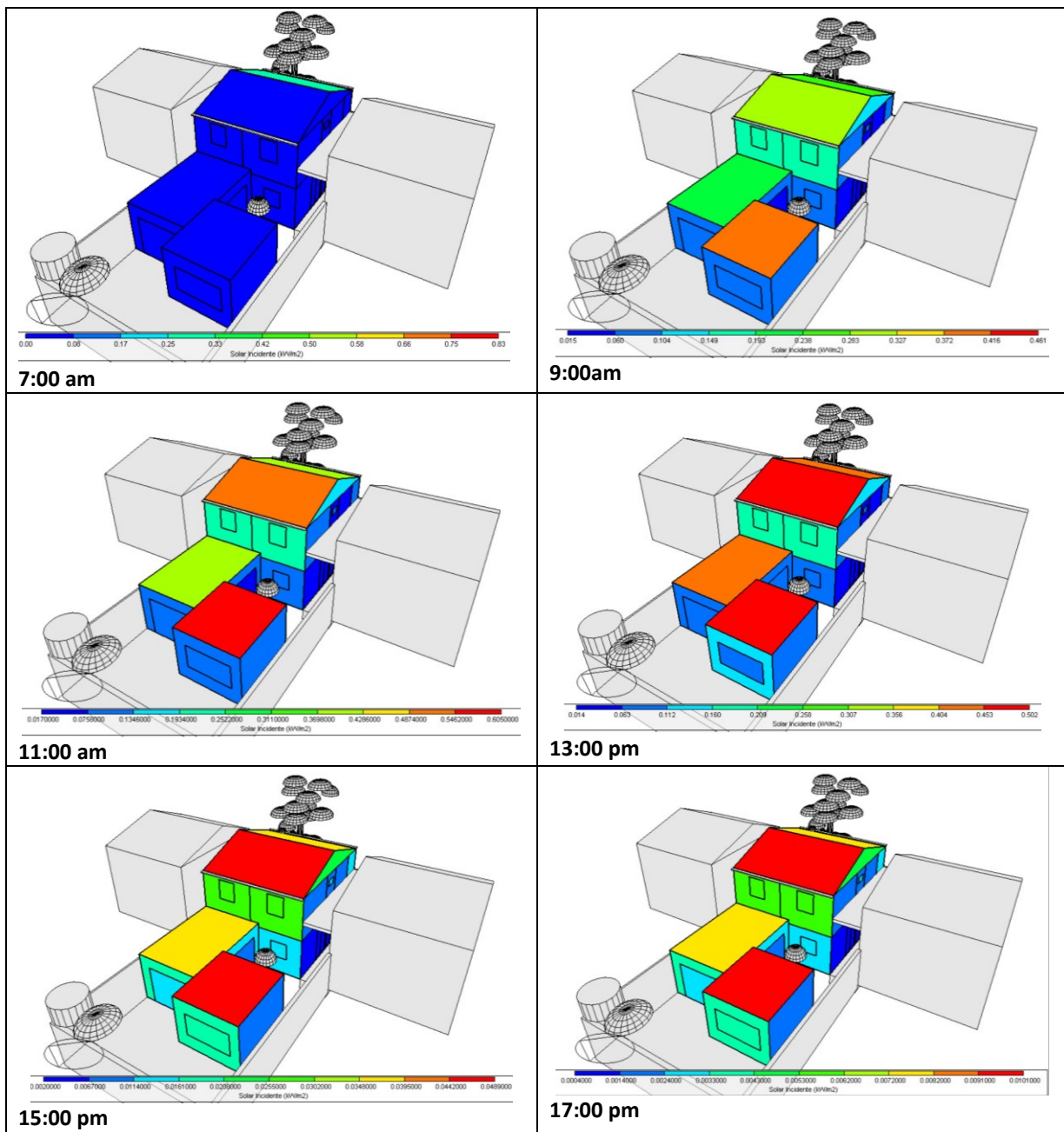


Tabla 57. Radiación solar incidente (fachada oeste)
Software: Design Builder

6.3 Propuestas de mejoramiento

De acuerdo a los resultados de los balances térmicos de la vivienda en las **Tabla 55** y **Tabla 56** las ganancias solares representan la mayor captación de calor, que sumado a las

demás cargas externas e internas representan una carga de refrigeración de 13352.48 kWh. Estos resultados son coherentes de acuerdo al análisis de confort de la **Figura 102** y de la **Tabla 54**, (análisis todos los períodos) en esta última se registra los porcentajes de horas de confort entre el 49% al 59% (excepto la sala que registra 65% de horas de confort, lo que indica que aproximadamente el 50% o el 40% del año la vivienda se encuentra en disconfort.

Considerando los horarios de apertura de puertas y ventanas presentados en la **Tabla 52** se considera la necesidad de mejorar la ventilación natural estableciendo horarios idóneos para el refrescamiento de la vivienda, para lo cual se ha tomado como referencia la **Tabla 32** del capítulo 4, en la cual se presenta las temperaturas de la madrugada las cuales están por debajo de los 25°C.

De acuerdo a los resultados del diagnóstico se presenta a continuación las propuestas para mejorar las condiciones de confort.

- Mejoramiento de la ventilación natural
- Disminución de la ganancia solar

Mejoramiento de la ventilación natural

De acuerdo a las bajas condiciones de confort de acuerdo al análisis de todos los períodos de la vivienda de la **Tabla 54** se consideró plantear un nuevo escenario estableciendo diferentes horarios de apertura de puertas y ventanas. Se toma como referencia la tesis de doctorado del Arq. José Ricardo Moreno “Análisis del efecto de la actividad de los usuarios en el desempeño térmico de dos casas de interés social en Tecomán, Colima”. La hipótesis general de la tesis indica lo siguiente “La actividad de los usuarios de una casa habitación modifica el desempeño térmico de la envolvente arquitectónica; ésta modificación es de tal magnitud, que se convierte en el principal factor de su desempeño” y la hipótesis específica “La manipulación de puertas y ventanas realizada por los usuarios de una casa habitación, modifica el desempeño térmico de la envolvente”. Estas hipótesis fueron comprobadas por el autor mediante mediciones en sitio con la identificación de algunos patrones de uso en el abrir puertas y ventanas que mejoraron el confort térmico de las viviendas analizadas.

Otro tema importante de considerar son los horarios idóneos para implementar la ventilación de acuerdo a las condiciones climáticas. La ventilación cruzada es una estrategia para aumentar las horas de confort en climas cálidos con elevada humedad y amplitudes térmicas entre 6°C y 9°C que ayuda a mejorar la sensación de humedad en la piel; este refrescamiento equivale a disminuir 2°C de temperatura aproximadamente (Evans, Schiller 1998). Sin embargo, al mediodía o en los períodos con mayores temperaturas se recomienda reducir la tasa de ventilación para evitar el aumento de la temperatura interior. En los períodos más frescos o en las noches se puede aumentar la ventilación para disminuir las temperaturas interiores mediante la ventilación selectiva o nocturna (Evans 2000). La ventilación nocturna favorece a ventilar la masa estructural por las noches, al día siguiente esta masa enfriada absorberá el calor que entra el edificio y el calor generado dentro del mismo. De acuerdo a las recomendaciones de uso de la ventilación cruzada en climas cálidos se indica que se debe evitar las altas temperaturas del clima exterior, razón por la cual se han elaborado un segundo escenario con diferentes horarios de uso ventanas y puertas.

Horarios de apertura de ventanas y puertas					
Tipo de Escenario		Lunes a viernes		Fin de semana	
		Ventanas	Puertas	Ventanas	Puertas
Escenario 2	PB	16:00 a 9:00	On 24/7	16:00 a 9:00	On 24/7
	PA	On 24/7	7:00 a 23:00	On 24/7	7:00 a 23:00

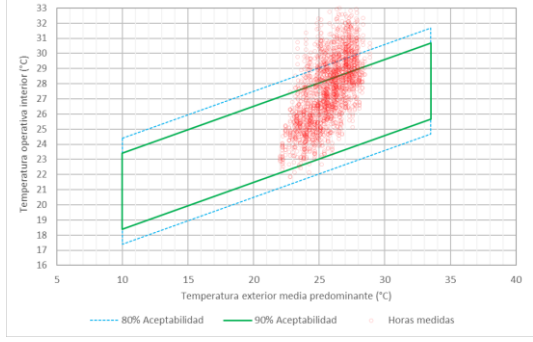
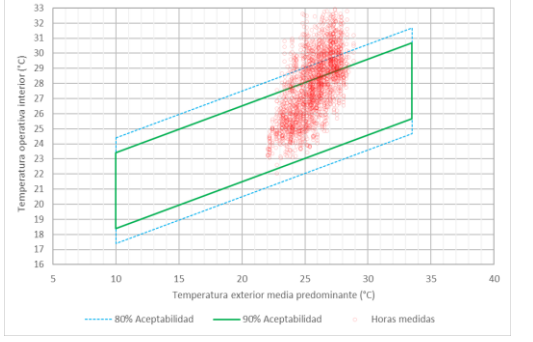
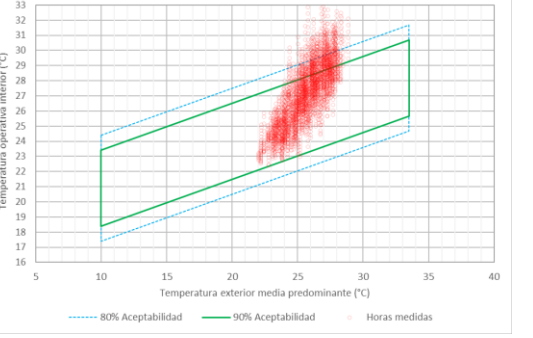
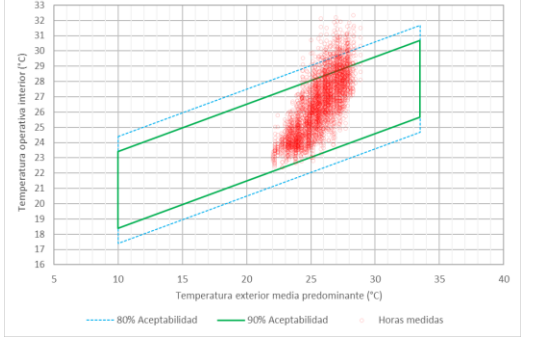
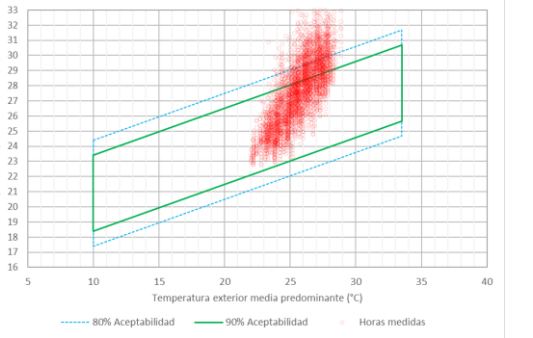
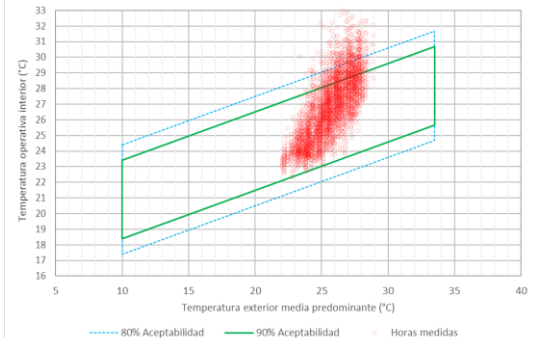
Tabla 58. Horarios de apertura de puertas y ventanas, Escenario 2
Elaboración propia

El Escenario 2 tiene como base los horarios algunos usuarios de la vivienda y podría modificarse sus hábitos en el abrir y cerrar puertas y ventanas. Un pilar fundamental es la señora de los quehaceres domésticos, ella ingresa a trabajar a las 9:00 de la mañana y termina sus labores aproximadamente a las 16:00 y es factible que antes de salir de la vivienda abra y cierre puertas y ventanas de acuerdo a un determinado horario. Se ha planteado que la ventana de la cocina esté abierta permanentemente.

Para este nuevo escenario se plantea que las ventanas y puertas corredizas de la planta baja se abran a partir de las 16:00 y se mantengan abiertas hasta las 9:00 horas de la mañana, horario en el que empiezan sus labores los usuarios de la vivienda. En la **Tabla 59**

se presenta los rangos de confort adaptativo anual de todos los ambientes de la vivienda del Escenario 1 y el Escenario 2 considerando los períodos ocupados por los usuarios.

S A L A								
	Escenario 1		Escenario 2					
	90% aceptabilidad		80% aceptabilidad		90% aceptabilidad		80% aceptabilidad	
No. Horas confort	62 h	59.62%	98 h	94.23%	92 h	88.46%	103 h	99.04%
No. Horas disconfort	42 h	40.38%	6 h	5.77%	12 h	11.54%	1 h	0.96%
Horas analizadas	104				104			
C O M E D O R								
	Escenario 1		Escenario 2					
	90% aceptabilidad		80% aceptabilidad		90% aceptabilidad		80% aceptabilidad	
No. Horas confort	934 h	39.81%	1236 h	52.69%	839 h	35.75%	1177 h	50.15%
No. Horas disconfort	1412 h	60.19%	1110 h	47.31%	1508 h	64.25%	1170 h	49.85%
Horas analizadas	2347 h				2347 h			
C O C I N A								
	Escenario 1		Escenario 2					
	90% aceptabilidad		80% aceptabilidad		90% aceptabilidad		80% aceptabilidad	
No. Horas confort	1264 h	67.34%	1614 h	85.99%	1451 h	77.26%	1724 h	91.80%
No. Horas disconfort	613 h	32.66%	263 h	14.01%	427 h	22.74%	154 h	8.20%
Horas analizadas	1877 h				1878 h			

S A L A T V								
	Escenario 1				Escenario 2			
		90% aceptabilidad		80% aceptabilidad		90% aceptabilidad		80% aceptabilidad
No. Horas confort	1067 h	52.48%	1456 h	71.62%	1285 h	63.24%	1614 h	79.43%
No. Horas disconfort	966 h	47.52%	577 h	28.38%	747 h	36.76%	418 h	20.57%
Horas analizadas	2033 h							
D O R M I T O R I O 1								
	Escenario 1				Escenario 2			
		90% aceptabilidad		80% aceptabilidad		90% aceptabilidad		80% aceptabilidad
No. Horas confort	2058 h	71.81%	2525 h	88.10%	2308 h	80.53%	2691 h	93.89%
No. Horas disconfort	808 h	28.19%	341 h	11.90%	558 h	19.47%	175 h	6.11%
Horas analizadas	2867 h							
D O R M I T O R I O 2								
	Escenario 1				Escenario 2			
		90% aceptabilidad		80% aceptabilidad		90% aceptabilidad		80% aceptabilidad
No. Horas confort	1978 h	63.28%	2518 h	80.55%	2347 h	75.03%	2822 h	90.22%
No. Horas disconfort	1148 h	36.72%	608 h	19.45%	781 h	24.97%	306 h	9.78%
Horas analizadas	3128 h							

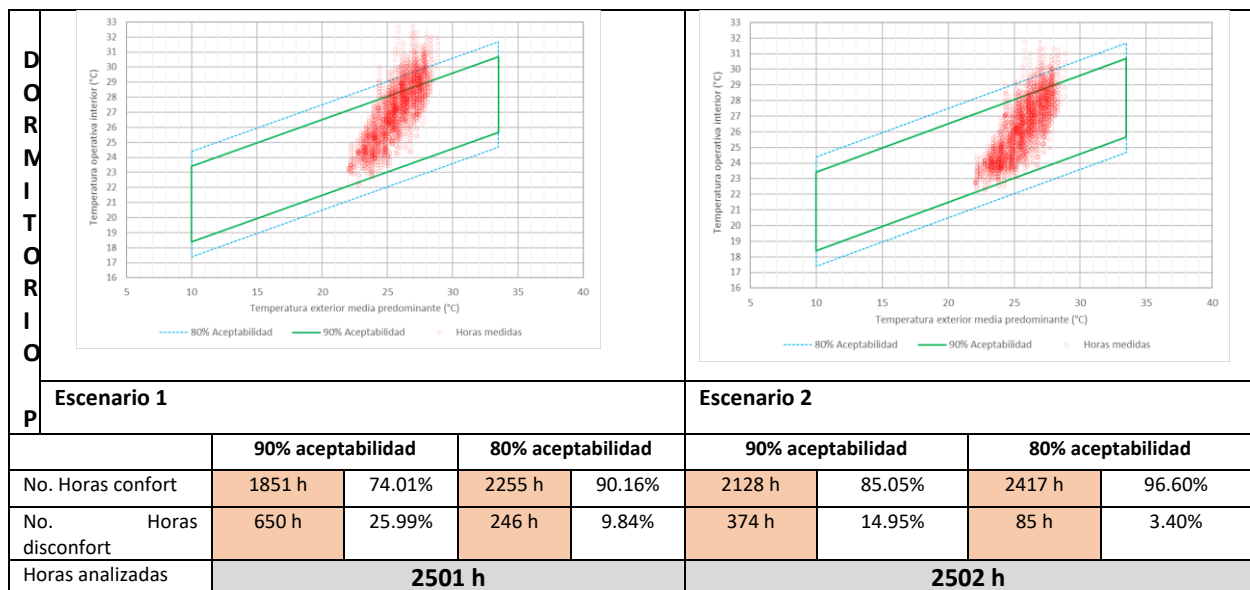


Tabla 59. Rango de Confort Adaptativo escenarios 1 y 2 (períodos ocupados por los usuarios) Design Builder y tabla de cálculo en Excel Confadapt-ASH55

De acuerdo a los resultados de la **Tabla 59**, se presenta un resumen de la cantidad de horas de confort y disconfort anuales en la **Tabla 60** y se verifica que los ajustes en los horarios de ventilación del escenario 2 incrementan las horas de confort en comparación con el Escenario 1.

Confort Adaptativo: Resultados horas de confort (90% aceptabilidad)-modelo vivienda original															
Períodos ocupados por los usuarios															
		Sala		Comedor		Cocina		Sala TV		Dormitorio 1		Dormitorio 2		Dormitorio Principal	
E1	Confort	62 h	59.62%	934 h	39.81%	1264 h	67.34%	1067 h	52.48%	2058 h	71.81%	1978 h	62.38%	1851 h	74.01%
	Disconfort	42 h	40.38%	1412 h	60.19%	613 h	32.66%	966 h	47.52%	808 h	28.19%	1148 h	36.72%	650 h	25.99%
E2	Confort	92 h	88.46%	839 h	35.75%	1451 h	77.26%	1285 h	63.24%	2308 h	80.53%	2347 h	75.03%	2128 h	85.05%
	Disconfort	12 h	11.54%	1508 h	64.25%	427 h	22.74%	747h	36.76%	558h	19.47%	781 h	24.97%	374h	14.95%
Total horas analizadas		104 h		2346 h		1877 h		2033 h		2867 h		3127 h		2502 h	
Mejoramiento		30 h	48.39%	95 h	10.17%	187 h	14.79%	218 h	20.43%	250 h	12.15%	369 h	18.66%	277h	14.96%

Tabla 60. Número de horas de confort (horarios ocupados anual) Software: Design Builder y tabla de cálculo en Excel Confadapt-ASH55

El Escenario 2 implementa el mejoramiento de las condiciones de confort mediante la ventilación natural en horarios más favorables, evitando las horas entre las 11:00 y 15:00 en la planta baja y la abertura de ventanas por las noches y madrugadas en la planta alta

favoreciendo el refrescamiento de la vivienda. Esta situación comprende el período de lunes a viernes. Los fines de semana las ventanas permanecen abiertas todo el día.

La sala y el comedor tienen menor exposición a la radiación solar por la sombra de los jardines que los rodean, motivo el cual los horarios de la ventilación propuesta incrementaron las horas de confort entre el 45.65 % en la sala y 13.34% en la cocina. El comedor y la sala de TV al estar orientados al oeste el porcentaje de aumento de las horas de confort se registró en 0.61% y 23.54% respectivamente.

Con respecto a la planta alta, los dormitorios 1 y 2 aumentaron sus horas de confort en 16.97 % y 18.42% respectivamente y el dormitorio principal en un 16.80%.

El aumento de las horas de confort en los ambientes de planta alta durante los períodos ocupados favorecería a que los usuarios disminuyan el uso de equipos de climatización mecánica, sin embargo, en las temporadas más calurosas la ventilación natural no será suficiente para alcanzar los niveles de confort requeridos.



Figura 103. Puerta tradicional, casa hacienda Graciela, Cantón Daule

De acuerdo a la distribución de la planta alta de la **Figura 61** los dormitorios 1 y 2 son los más favorecidos por la dirección de los vientos dominantes, (SO-NO) sin embargo para la efectiva ventilación de toda la planta es necesario implementar la ventilación cruzada. La distribución actual de la planta alta tiene paredes divisorias que obstaculizan la acción de los vientos, razón por la cual se ha implementado rejillas en la parte superior de las puertas de los dormitorios 1, 2 y el dormitorio principal, considerando una de las estrategias de diseño para potenciar la ventilación cruzada que se utilizó en la arquitectura tradicional de la costa ecuatoriana. **Figura 103**

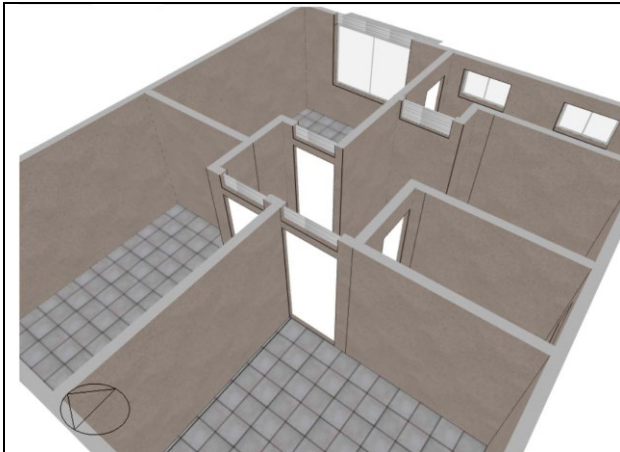


Figura 104. Rejillas superiores

Distribución de la planta alta, incorporación de rejillas en la parte superior de las puertas y paredes para que se fortalezca la ventilación cruzada.



Figura 105. Ventana tipo chaza, casa patrimonial, barrio las Peñas, Guayaquil

Otra estrategia que se implementará en la vivienda es la incorporación de rejillas de ventilación en la parte superior de las ventanas para desplazar el aire caliente debajo de la losa o cielo raso. Este elemento de diseño fue utilizado en las viviendas patrimoniales de la costa ecuatoriana. **Figura 105**



Figura 106. Aleros y rejillas superiores en ventanas

Se incorporará aleros en las ventanas en las fachadas este y oeste para proveer sombra y disminuir la carga solar en los vidrios.

Disminución de la ganancia solar

En la **Figura 107** se presentan los rayos solares de los equinoccios (período de estudio de campo), la fachada frontal ubicada al Este, la cual está protegida por la sombra de varias palmeras y follajes. La fachada oeste recibe una alta carga solar y el diseño original no contempla dispositivos de protección solar y de acuerdo al monitoreo térmico los ambientes orientados al oeste presentan altas temperaturas como el comedor, sala de TV y los dormitorios 1 y 2. De acuerdo con las mediciones registradas por los hobos, la sala es el ambiente más confortable, por la protección solar de la vegetación y por la losa de entrepiso que no recibe directamente radiación solar.

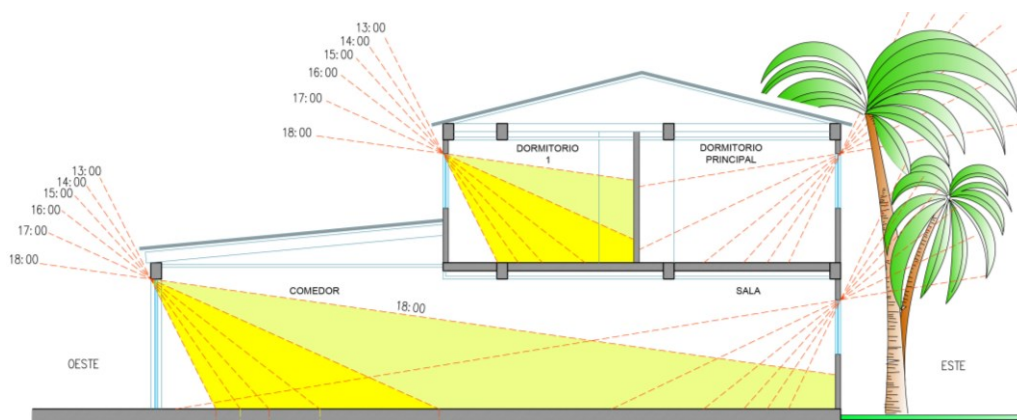


Figura 107. Equinoccios, rayos solares
Elaboración propia

Una de las estrategias para disminuir la ganancia solar es incorporar aleros en las ventanas y mamparas de la fachada este - oeste y en las aberturas ubicadas alrededor del patio interior. (**Figura 108**)

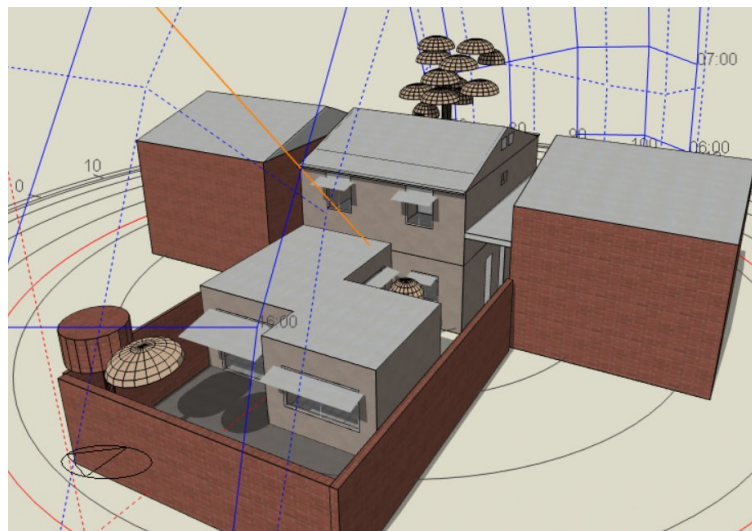


Figura 108. Perspectiva fachada posterior, incorporación de aleros

Se analizaron la altitud de los rayos solares en los solsticios de invierno-verano y en los equinoccios. Los aleros ayudan a obstaculizar algunos rayos solares principalmente en los solsticios. En la **Figura 109** se presenta el alero de 1.40 m (alineado con el volumen que sobresale de la Sala de TV) protege la mampara (puerta corrediza), obstruyendo los rayos de las 13:00, 14:00 y 15:00. La situación es similar con las ventanas de los dormitorios 1 y 2 con el alero de 0.65 m. **Figura 110**

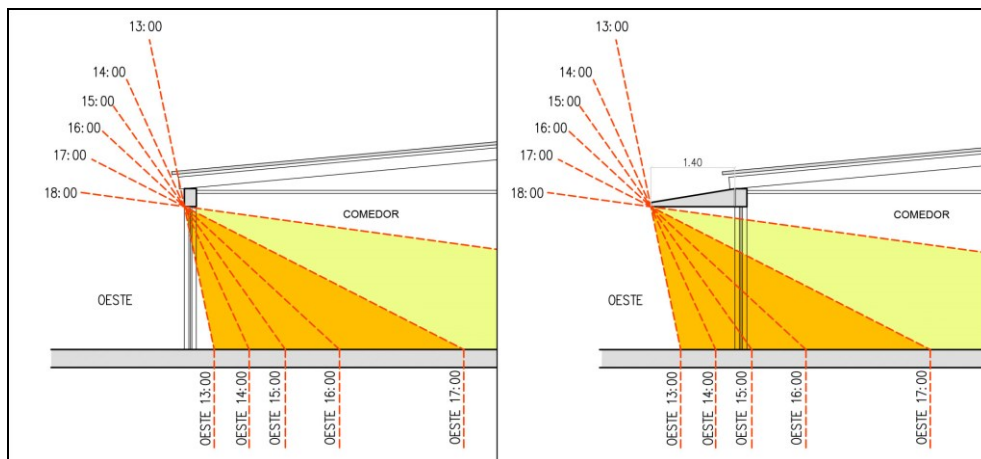


Figura 109. Solsticio de invierno y verano- orientación oeste

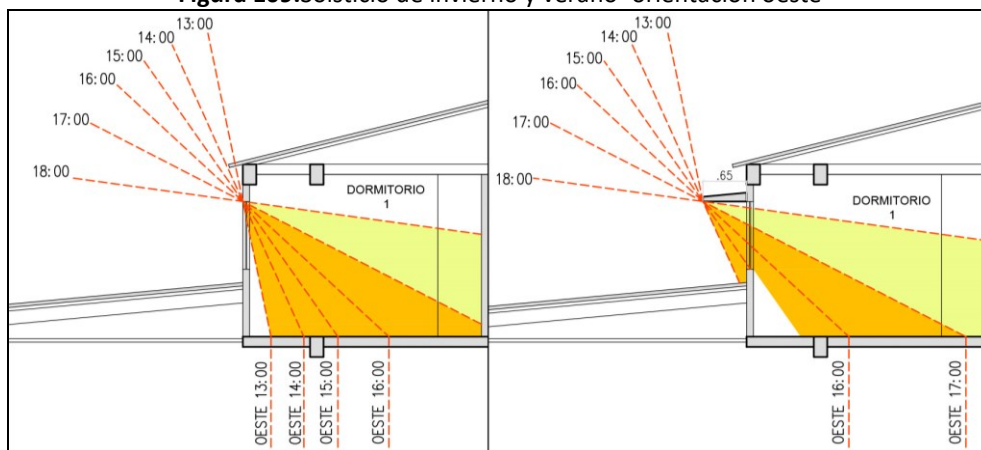


Figura 110. Solsticio de Verano-Aleros Planta Alta, orientación oeste

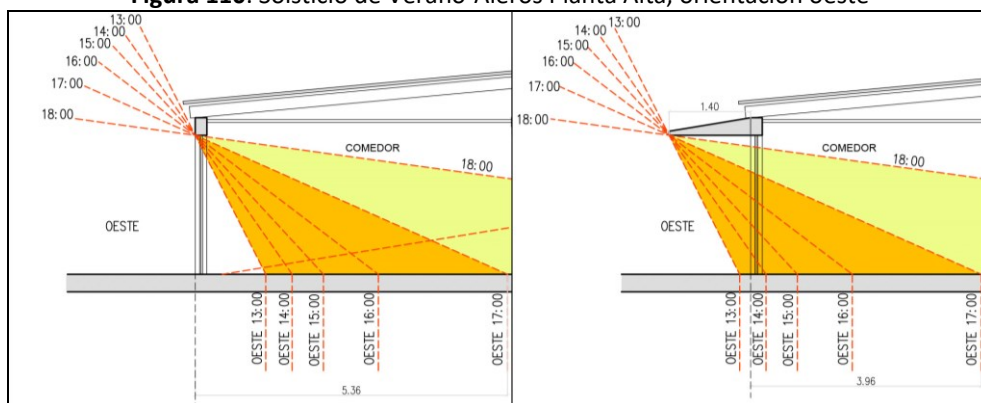


Figura 111. Equinoccios de primavera y otoño, Alero en mampara de comedor PB

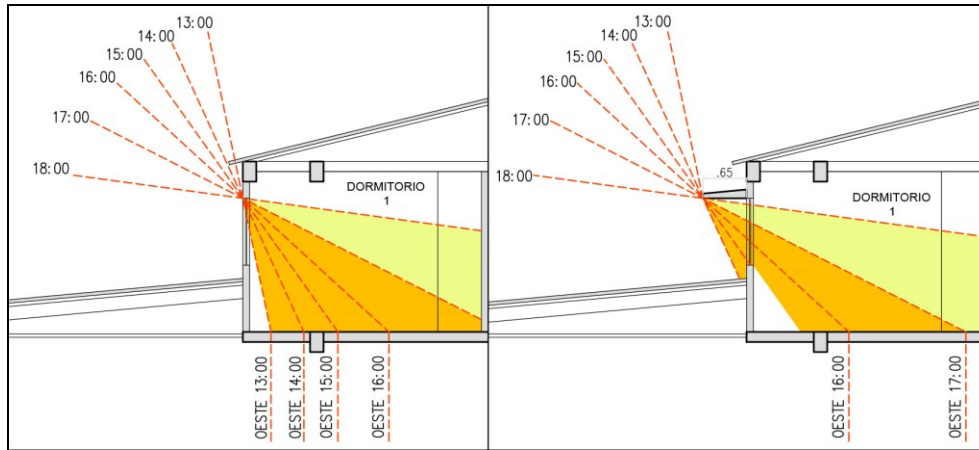


Figura 112. Equinoccios de primavera y otoño, Aleros Planta Alta, orientación oeste

Otra estrategia para la disminución de la ganancia solar es la utilización de vidrios con mejor comportamiento térmico y con un bajo coeficiente de SHGC de acuerdo a las recomendaciones de la Norma NEC de Eficiencia Energética. Para los espacios climatizados la norma sugiere un vidrio con 0.25 SHGC y para un espacio no climatizado un vidrio de 0.77 SHGC. El valor de 0.25 SHGC sería difícil de cumplir por el costo, ya que por lo general el grosor del vidrio con esas prestaciones aumenta a 10mm. Con respecto al valor 0.77 SHGC para el espacio no climatizado, se debería considerar un valor intermedio (entre 0.77 y 0.25) ya que el uso de los espacios está supeditado a las preferencias de los usuarios de refrigerar o no los ambientes de sus viviendas.

Para la elección del tipo de acristalamiento, se consultó con el gerente de la región costa de la empresa Fairis, que distribuye varias marcas de vidrios en el mercado ecuatoriano. Se revisó su catálogo de productos y se escogió tres tipos de vidrios con un bajo coeficiente de SHGC y con un tinte que no disminuya la ganancia de luz solar LSG. Se escogió un valor intermedio de SHGC (entre 0.77 y 0.25 SHGC) para no encarecer los costos, otra condicionante para la elección del material fue establecer un grosor mínimo de 8mm. Por la ausencia de un clima extremo y por temas económicos se escogió dos tipos de vidrios, el primero tipo laminado de 6 mm, (color bronce y gris) compuesto por dos vidrios flotados (cada uno de 3 mm) unidos entre ellos mediante interláminas de Polivinil Buitral (PVB) ¹¹⁰

¹¹⁰ El Buitral de Polivinilo (PVB) es un compuesto químico resultante de la mezcla entre alcohol de polivinilo (PVA) y butiraldehído. El resultado es un polímero de gran adherencia, transparencia y durabilidad. Disponible en internet. El butiral PVB se utiliza extensamente en la industria del vidrio, jugando un papel fundamental en la fabricación de vidrios laminados. Se utiliza como una lámina para la unión de hojas de vidrio.

Sentryglass, espesor total 8 mm. El uso de vidrio templado también es conveniente por temas de seguridad ya que el Ecuador se encuentra en zona sísmica y en caso de un terremoto los vidrios quedarían rotos y fijos sobre la lámina de PVB disminuyendo el riesgo de heridas por corte a los usuarios.

● Es un vidrio de Seguridad, compuesto por dos o más hojas de vidrio flotado, unidas entre sí por interláminas de POLIVINIL BUTIRAL (PVB) o SENTRYGLAS®.

● Mayor seguridad a las personas: en caso de rotura, los pedazos de vidrio quedan adheridos a la interlámina, evitando que puedan causar daño. Protege los bienes en caso de robo al obstaculizar un ingreso violento.


BENEFICIOS

- Su estructura constituye una excelente barrera contra el ruido.
- En caso de rotura los pedazos quedan adheridos a la lámina.
- En combinación con vidrio de baja emisividad adquiere características de control térmico.
- Filtra hasta el 99% de los rayos U.V.
- Color permanente.
- - Su fabricación puede ser en plano o curvo.
- Simple de instalar.
- Puede ser cortado a la medida en obra.
- Puede ser de 2 o más capas.
- Logra altos niveles de seguridad.
- Laminado con SentryGlas® posee una resistencia superior a los laminados con PVB.

APLICACIONES


- Fachadas verticales e inclinadas
- Pasamanos
- Pisos
- Antepechos
- Mamparas
- Puertas
- Visores de Piscina
- Divisiones de ambientes
- Panororías
- Muebles
- Escalones

Sello de Calidad

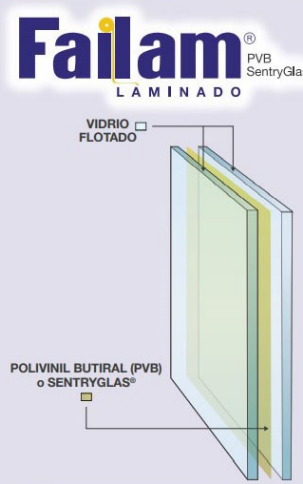


UNION NACIONAL DE INGENIEROS
NTE INEN 2067

UNICOS EN EL PAIS
CON EL CERTIFICADO



Más Información
Safety Glazing Certification Council



Failam®
PVB SentryGlas®
L A M I N A D O

VIDRIO FLOTADO

POLIVINIL BUTIRAL (PVB) o SENTRYGLAS®

	PLANO	CURVO
RANGO ESPESORES DE VIDRIOS	6 a 100 mm	8 a 100 mm
ESPESORES DE PVB	0.38 - 0.76 - 1.14 mm	0.76 - 1.14 mm
ESPESORES DE SENTRYGLAS	0.76 - 1.52 - 2.28 mm	0.76 - 1.52 - 2.28 mm
*COLORES	PVB: Ocean Blue – Light Blue Green - White – Black Bronze – Gris - Translúcido – Transparente, etc.	
	SENTRYGLAS: Claro - Translúcido	
TAMAÑO MÁXIMO	3600 x 2600 mm	
	Consultar	

*INFINIDAD DE COLORES - CONSULTAR DISPONIBILIDAD

Figura 113. Failam, vidrio laminado
Fuente: Catalogo Fairis, vidrios de alto desempeño

Como tercera opción se consideró un vidrio espectral de la marca Pilkington de la serie Eclipse Advantage Ever Green de 6 mm fabricado especialmente para los edificios que requieren control solar y baja emisividad que reducen el coeficiente de transmitancia térmica. Este vidrio proporciona una buena transmitancia de luz visible evitando el uso de iluminación en el interior y con baja transmitancia de los rayos UV.

Disponible en internet:

< <http://vidriosyristalestemplados.com/que-es-el-pvb-y-por-que-se-usa-en-los-vidrios/> >

Pilkington Eclipse Advantage™ solar control low-e glass

Technical Bulletins

ATS 123
Thermal Stress

ATS 124
Spandrel Panel Glazing

ATS 176
Handling, Inspecting,
Fabricating & Glazing

Pilkington **Eclipse Advantage™** is the world's first reflective pyrolytic low-e glass. It is designed for buildings that require both solar control performance and the insulating benefits of a low-e coating.

Pilkington **Eclipse Advantage™** is manufactured by the NSG Group pyrolytic process. In this on-line chemical vapor deposition process, a gas reacts with the semi-molten surface of the float glass to form a subtle reflective coating on clear and tinted glass. The result is a product that combines solar and thermal performance, subtle reflectivity and glare control.

Pilkington Low-e 4th Surface Technology
See page 21 for information on how Pilkington Low-e 4th Surface Technology can enhance the performance of Pilkington **Eclipse Advantage™**.

Available Colors

- Clear
- Grey
- Bronze
- Blue-Green
- EverGreen
- Arctic Blue

Available Thickness

- 6 mm (1/4")
- 8 mm (5/16")

Applications

- Commercial buildings requiring solar and thermal control
- Low, mid and hi-rise buildings
- Medical/Hospital
- Educational/Schools
- Office
- Retail
- Residential

Figura 114. Vidrio Pilkington Eclipse Advantage

Fuente: Pilkington North America, Architectural Glass Product Guide

En la **Tabla 61** se presentan los datos de las propiedades térmicas, solares, visibles y los coeficientes de LSG y SHGC de los vidrios elegidos adjuntando también las especificaciones del vidrio utilizado actualmente en la vivienda.

Tipo de vidrio	Propiedades Térmicas		Propiedades Solares			Propiedades Visibles			Factor U verano w/m ² K	LSG	SHGC
	espesor mm	conductividad	Transmitancia Solar	Reflectancia solar exterior	Reflectancia solar interior	Transmitancia visible	Reflectancia visible exterior	Reflectancia visible interior			
Vidrios clear 3mm	3	0.90	0.84	0.08	0.08	0.90	0.08	0.08	5.89		0.86
Vidrios bronce 6mm (Fairis)	6	1	0.5	0.06	0.06	0.54	0.06	0.06	5.19	0.85	0.64
Vidrios PVB gris 6mm (Fairis)	6	1	0.46	0.05	0.05	0.41	0.05	0.05	5.19	0.68	0.61
Pilkington Eclipse Advantage (coating on # 2 surface)- Evergreen	6	1	0.23	0.08	0.08	0.48	0.15	0.27	3.7		0.37

Tabla 61. Vidrios, propiedades térmicas, solares, visibles y coeficientes de LSG y SHGC

Fuente: Fairis y Pilkington

Con la finalidad de bajar la carga solar de la vivienda se debe de utilizar un vidrio con un bajo porcentaje de transmitancia solar ya que de ese valor una parte se queda en el interior y la otra es reflejada hacia el exterior. El porcentaje de la transmitancia solar, **Figura 115** está relacionado con el coeficiente de ganancia de calor solar (SHGC), el cual se expresa como una cifra entre 0 y 1, mientras sea menor el SHGC menor será el calor solar que transmitirá y mayor será su capacidad de sombreado. El SHGC es similar al coeficiente de

sombra (SC), sin embargo, el SHGC también considera la energía solar que se absorbe y la que se convierte y se irradia al interior.¹¹¹

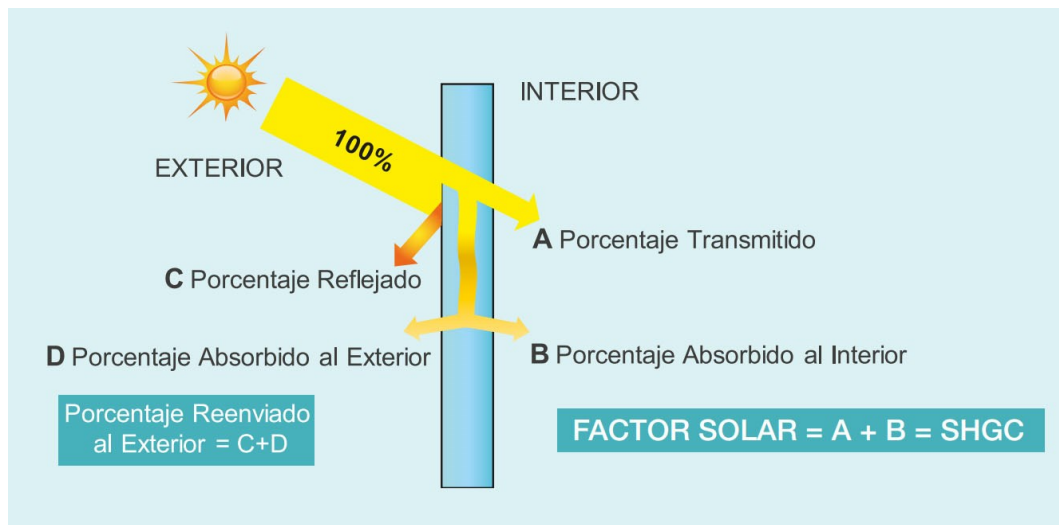


Figura 115. Detalle de Ganancias Solares en Vidrios
Fuente: Fairis

Para determinar la eficiencia de los vidrios propuestos, en la **Figura 116** se presentan los resultados de las cargas solares (kWh) mediante la utilización del programa de simulación. De acuerdo a las propiedades térmicas indicadas en la **Tabla 61** el vidrio Pilkington Eclipse Advantage Ever Green presenta el menor valor de transmitancia solar con 0.23, el cual está relacionado con el bajo coeficiente de SHGC, motivo por el cual registra el menor valor de ganancia solar. Se presenta el detalle de las ganancias solares en kWh del vidrio actual de la vivienda con las opciones de vidrios anteriormente indicados. El vidrio común es susceptible a los efectos de la radiación, a diferencia de los vidrios bronce, gray y Evergreen que presentan menores ganancias en los días con mayor radiación solar (días 20, 21, 24 y 25 de marzo) y en los días con menor radiación. Para realizar el análisis de la ganancia solar se tomó como base utilizar el período del estudio de campo (19 de marzo al 25 de marzo) por la utilización los datos reales de la radiación solar y demás variables climáticas en el archivo climático. epw el cual está operativo en el programa de simulación.

111 Ficha Técnica, Vitro-Vidrio Arquitectónico.

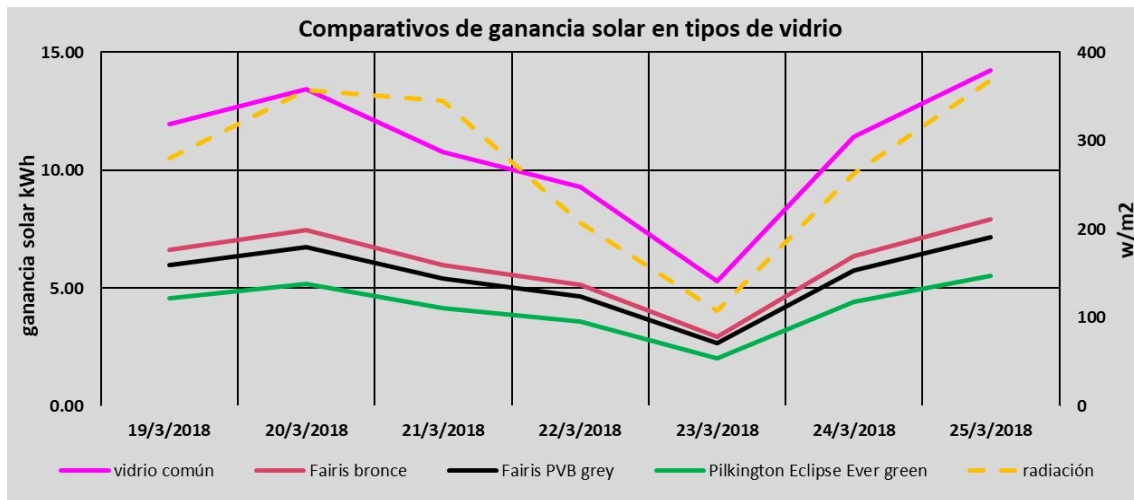


Figura 116. Resultados de Ganancia Solares modelo calibrado con opciones de vidrio
Elaboración propia, Software Design Builder

Los vidrios de la marca Fairis también presentaron un buen comportamiento térmico, el vidrio bronce y gris tienen similares valores de transmitancia solar y SHGC, pero el factor Ganancia de Luz Solar (LSG) es más alto en el vidrio bronce.

Mejoramiento de la Cubierta

En la costa ecuatoriana no es muy común utilizar aislamiento térmico en las cubiertas principalmente en los planes de vivienda que construyen las empresas inmobiliarias y en las viviendas sociales. Los materiales de cubierta más utilizados son el Eternit, la teja de barro y un tipo de cubierta de acero galvanizado pintado con perfil trapezoidal.¹¹² La norma NEC indica valores mínimos de aislación térmica para los elementos de la envolvente, para el caso de las cubiertas la Resistencia Térmica mínima es $3.5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ para zonas climatizadas y para espacios no climatizados de $0.3 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$. Ver **Tabla 8**.

La cubierta del caso de estudio es de Eternit, debajo de la misma se ubica una cámara de aire y el cielo raso de gypsum cierra el espacio. En las paredes laterales se ubican pequeños orificios (rejillas redondas de PVC) para la salida del aire caliente.

En el mercado ecuatoriano los aislantes más conocidos son: el EPS, la lana de roca, el poliuretano inyectado y las cubiertas tipo sándwich, éstas últimas se utilizan en centros comerciales, bodegas y complejos industriales. Son muy pocas las marcas que incorporan en

¹¹² En los nuevos modelos de la urbanización Villa Club, (sitio de estudio) se está utilizando cubiertas de acero galvanizado reemplazando el Eternit de las construcciones de años anteriores.

sus folletos las especificaciones térmicas de las cubiertas, la información técnica disponible se concentra en las capacidades de carga y detalles constructivos. Se analizaron los datos técnicos de las cubiertas y se escogió para el mejoramiento de la vivienda una cubierta tipo sándwich “Kutérmico” **Figura 117** de la empresa KUBIEC compuesta por un aislante denominado poliisocianurato (PIR) un polímero termoestable eficiente para la aislación termoacústica y resistencia al fuego. Esta opción es más costosa por el producto y por la instalación ya que implica desmontar la antigua cubierta de la vivienda a rehabilitar, la revisión de los elementos estructurales y de sujeción y la contratación de personal calificado para la instalación.

- El poliisocianurato (PIR) es un polímero termoestable con mayor eficiencia de aislación termoacústica y superior resistencia frente al fuego.

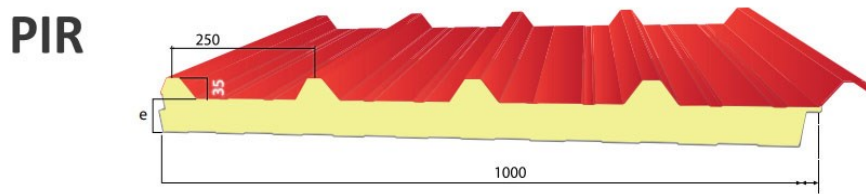


TABLA PARA PANEL KUTÉRMICO TECHO PIR															
CAPACIDADES Y EFICIENCIA		kg				Carga Sobreimpuesta (kg/m ²)*									
e	R	Condiciones de Apoyo*			Separación entre apoyos (m)										
Espesor de Panel* (mm)	Resistencia Térmica (m ² k/W)	Peso Panel (kg/m ²)	Una Luz	Dos Luces	Tres Luces	1,75	2,00	2,25	2,50	2,75	3,00	3,25	3,50	3,75	4,00
15	0,75	6,79	2,25	2,4	2,6	120	100	80	-	-	-	-	-	-	-
25	1,24	7,13	2,50	2,70	2,90	160	140	110	80	-	-	-	-	-	-
50	2,49	7,98	3,50	3,70	4,10	-	240	200	180	140	110	90	80	-	-
65	3,23	8,01	4,30	4,50	4,90	-	330	280	220	200	160	145	120	110	-
100	4,98	11,6	5,25	5,60	6,10	-	480	460	390	320	280	230	200	170	150

*Estos apoyos son consideradas para una condición de sobrecarga de 80 kg/m².

* Esta tabla es sólo una guía referencial, para mayor información consultar a KUBIEC

Figura 117. Kutérmico, PIR

Fuente: Kubiec

Para la adquisición de esta cubierta tiene que solicitarse por pedido ya que por la situación de la pandemia no se está fabricando en grandes cantidades y raramente está disponible en los centros de distribución. Otro problema es el incremento de su costo en determinados períodos por el aumento del precio del hierro en los mercados internacionales. Como segunda opción se eligió un aislamiento térmico reflectivo, un material con alta reflectividad¹¹³ y baja emitancia o emisividad¹¹⁴, lo cual disminuye la

113 La emisividad es la proporción de radiación térmica emitida por una superficie u objeto a una temperatura determinada. Los valores comprenden un rango de 0 a 1. Ejemplos: Ladrillo: 0.93, Vidrio: 0.93, Yeso: 0.91, Mármol: 0.93, Madera: 0.90, Aluminio puro: 0.03.

transmisión de calor por radiación dentro de una cámara de aire. En la **Figura 118** se presenta un diagrama con las tres formas de conducción del calor en una cámara de aire (radiación, convección y conducción). A mayor espesor de la cámara de aire existe mayor convección y disminuye la conducción, a diferencia del calor por radiación que se mantiene inalterable, es independiente del grosor de la cámara.

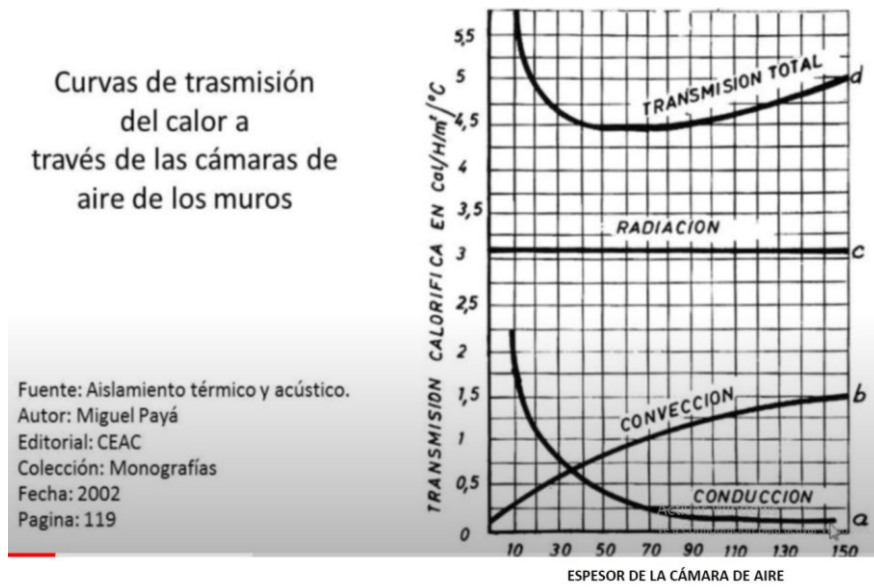


Figura 118. Curvas de transmisión de calor a través de cámaras de aire
 Fuente: Miguel Payá, Aislamiento térmico y acústico.

Los aislantes reflectivos están fabricados a base de films de aluminio puro brillante con unas burbujas de aire encerradas en un material de polietileno que ayuda a cortar los flujos de calor por conducción y radiación.

114 La reflectividad es la fracción de energía incidente reflejada por una superficie. Los valores están dentro de un rango de 0 a 1.

COMPOSICIÓN DEL AISLANTE	
Lámina de Aluminio puro con tratamiento anticorrosión + Burbujas aire seco + Lámina de Aluminio puro con tratamiento anticorrosión	
PROPIEDADES FÍSICAS	
Presentación	Bobinas
Ancho	1,2 m (+/- 5%)
Largo	50 m (+/- 5%)
Superficie	60 m ² (+/- 5%)
Peso m ²	230 gr/ m ²
Espesor	4 mm (+/- 5%)
PROPIEDADES TÉRMICAS	
Emitancia	0,03
Reflectividad	97%
Conductividad Térmica	$\lambda = 0,025 \text{ W/mK}$
Valor Térmico en instalación en Pared/Fachada	Resistencia Térmica $R = 1,46 \text{ m}^2\text{K/W}$ AIR-BUR TERMIC en interior de cámara de aire de 40 mm Transmisión Térmica $U = 0,42 \text{ W/ m}^2\text{K}$ (*)
Valor Térmico en instalación Bajo Techo	Resistencia Térmica $R = 2,40 \text{ m}^2\text{K/W}$ Aislamiento Térmico BAJO TECHO en cámara de aire de 100 mm Transmisión Térmica $U = 0,36 \text{ W/ m}^2\text{K}$ (**)

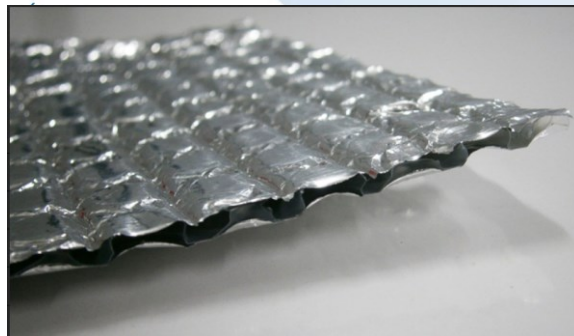


Figura 119. Barrera radiante, Air-Bur Termic 10, especificaciones técnicas

La barrera radiante se colocará dentro de la cámara de aire, (conformada por el cielo raso y la cubierta de Eternit). Las cubiertas livianas de Eternit están ubicadas en la nueva área remodelada de planta baja y en la cubierta de la planta alta.

En caso de una vivienda que necesita ser rehabilitada energéticamente, para el uso de este material se necesitaría cambiar el cielo raso si es tipo losa (paneles de gypsum), o en el caso de paneles móviles, se posibilita el desmontaje del sistema y reutilizar los componentes.

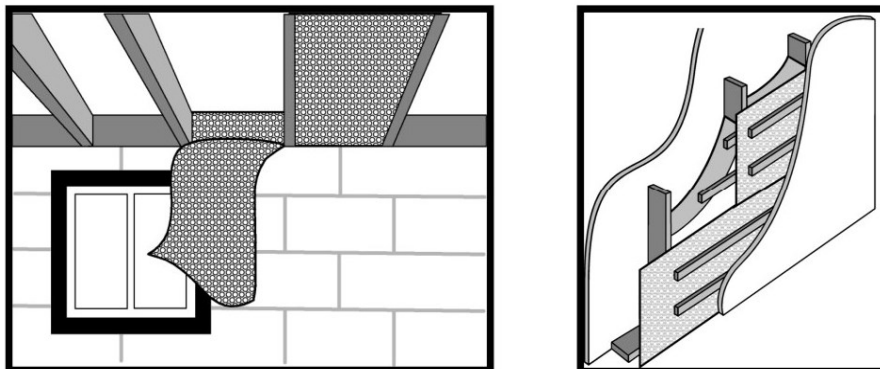


Figura 120. Ubicación de barrera radiante en cámaras de aire horizontal y vertical

Fuente: Understanding and Using Reflective Insulation, Radiant barriers and Radiation Control Coating

En la **Figura 121** se presenta el detalle para la colocación de la barrera radiante, esta opción implica desmontar el cielo raso actual para realizar las aberturas en los laterales para las rejillas de ventilación. La propuesta se basa en el armado de una estructura con perfiles de acero galvanizado, (se podría reutilizar la estructura actual), en la parte superior se colocaría la barrera radiante y en la parte inferior las placas de gypsum. Por temas de mantenimiento se prevé una tapa desmontable en el corredor de la planta alta para acceder a la cámara de aire.

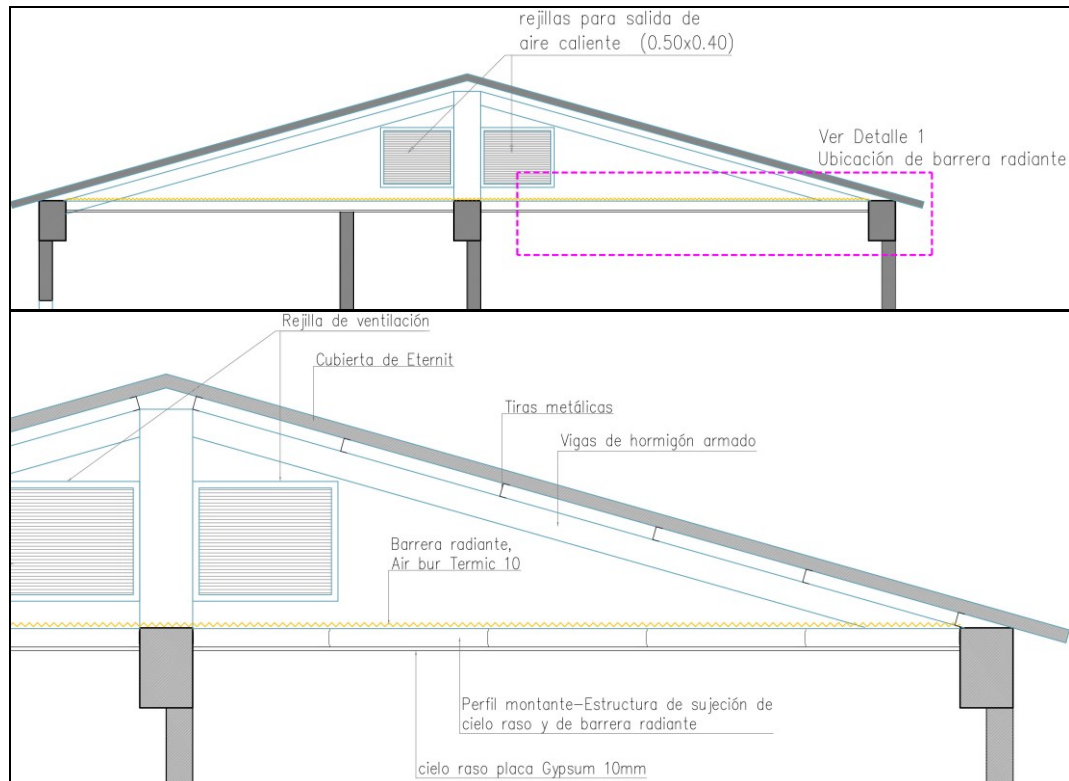


Figura 121. Detalle 1- de colocación de barrera radiante en cámara de aire

A continuación, se presentan las 3 propuestas para el mejoramiento de la envolvente de acuerdo a las estrategias presentadas anteriormente.

- El Prototipo M1 se utilizó una cubierta con aislante PIR,
- Prototipo M2 mantiene la cubierta original de Eternit añadiendo pintura blanca en la cara externa. En el interior de la cámara de aire se incorporó la barrera radiante encima del cielo raso.

- Prototipo M3 (opcional) considera la recomendación de la norma NEC de colocar un grosor mínimo de aislación en las paredes en los espacios climatizados y aislación de cubierta.

En las 3 opciones se utilizó el vidrio Pilkington Ever Green por su baja transmitancia solar y en las propuestas se incorporaron aleros en la fachadas este y oeste y las rejillas para la ventilación de la cámara de aire entre la cubierta y cielo raso. Con respecto a las paredes se propuso el revestimiento de pintura de color blanco.

PROTOTIPO M1		espesor	K
		m	W/m ² .K
Piso Interior PB	Losa con malla electrosoldada (0.20 m) con revestimiento de cerámica	0.24	0.83
Muro exterior	Ladrillo hueco con enlucido y pintura elastomérica	0.11	2
Muro interior	Ladrillo hueco con enlucido pintura tipo satinada	0.11	2
Losa de entepiso	Losa de hormigón armado con revestimiento de cerámica	0.20	1.73
Cubierta	Ktérmico PIR	0.065	0.29
Vidrio	Pilkington Eclipse Ever Green	espesor mm	6
		K W/m ² .K	3.7
		Transmitancia Solar	0.23
		SGHC	0.37

Tabla 62. Coeficiente K de Transmitancia térmica- Prototipo M1

PROTOTIPO M2		espesor	K
		m	W/m ² .K
Piso Interior PB	Losa con malla electrosoldada (0.20 m) con revestimiento de cerámica	0.24	0.83
Muro exterior	Ladrillo hueco con enlucido y pintura elastomérica de color blanco	0.11	2
Muro interior	Ladrillo hueco con enlucido pintura tipo satinada	0.11	2
Losa de entepiso	Losa de hormigón armado con revestimiento de cerámica	0.20	1.73
Cubierta	Eternit con pintura de color blanco (cámara de aire con barrera radiante)	0.005	6.55
Vidrio	Pilkington Eclipse Ever Green	espesor mm	6
		K W/m ² .K	3.7
		Transmitancia Solar	0.23
		SGHC	0.37

Tabla 63. Coeficiente K de Transmitancia térmica - Prototipo M2

PROTOTIPO M3		espesor	K
		m	W/m ² .K
Piso Interior PB	Losa con malla electrosoldada (0.20 m) con revestimiento de cerámica	0.24	0.83
Muro exterior	Ladrillo hueco con enlucido, EPS e: 3 cm+tablero eterboard	0.16	0.85
Muro interior	Ladrillo hueco con enlucido pintura tipo satinada	0.11	2
Losa de entrepiso	Losa de hormigón armado con revestimiento de cerámica	0.20	1.73
Cubierta	Ktérmico PIR	0.065	0.29
Vidrio	Pilkington Eclipse Ever Green	espesor mm	6
		K W/m ² .K	3.7
		Transmitancia Solar	0.23
		SGHC	0.37

Tabla 64. Coeficiente K de Transmitancia térmica - Prototipo M3

6.4 Análisis de Confort Adaptativo de los prototipos de mejoramiento

A continuación, se presenta los análisis de confort adaptativo anual (horarios ocupados) de cada uno de los prototipos de mejoramiento en los cuales se ha calculado el número de horas de confort y desconfort con sus respectivos porcentajes. En la **Tabla 65** se presentan los resultados de confort adaptativo del prototipo M1 incorporando la cubierta Ktérmico PIR y el vidrio Pilkington Eclipse Advantage Ever Green. Los ambientes de planta baja que presentan menores horas de confort son el comedor con 1359 horas (57.93%) y la Sala de TV con 1424 horas (70.08%), por su orientación hacia al oeste. Los ambientes más resguardados de la ganancia solar son la sala con 96 horas de confort (92.31%) y la cocina con 1634 h (87.01%). En la planta alta el dormitorio principal registra 2197 horas de confort equivalente al 87.92%, siendo el más confortable de este nivel. El dormitorio 1 cuenta con 2447 horas de confort (85.35%) y el dormitorio 2 registra 2563 horas equivalente 81.96%.

Confort Adaptativo: Resultados horas de confort (90% aceptabilidad) M1															
Períodos ocupados por los usuarios															
		Sala		Comedor		Cocina		Sala TV		Dormitorio 1		Dormitorio 2		Dormitorio Principal	
M1	Confort	96 h	92.31%	1359 h	57.93%	1634 h	87.01%	1424 h	70.08%	2447 h	85.35%	2563 h	81.96%	2197 h	87.92%
	Disconfort	8 h	7.69%	987h	42.07%	244 h	12.99%	608 h	29.92%	420h	14.65%	564 h	18.04%	302 h	12.08%
Total, horas analizadas		104 h		2346 h		1878 h		2032 h		2867 h		3127 h		2499 h	

Tabla 65. Horas de Confort y Disconfort (períodos ocupados) prototipo M1
Software: Design Builder y tabla de cálculo en Excel Confadapt-ASH5

En la **Tabla 66** se presentan los resultados de confort adaptativo del prototipo M2 en el cual se ha incorporado una barrera radiante encima del cielo raso. Los ambientes de planta baja que presentan menores horas de confort son el comedor con 1376 horas (58.68%) y la Sala de TV con 1423 horas (70%). Los ambientes con mayores horas de confort de este nivel son la sala con 96 horas (92.31%) y la cocina con 1633 horas (86.95%).

En la planta alta el dormitorio principal registra 2211 horas de confort equivalente al 88.40%, siendo el más confortable de este nivel. El dormitorio 1 cuenta con 2418 horas de confort (84.40%) y el dormitorio 2 registra 2554 horas equivalente 81.68%.

Confort Adaptativo: Resultados horas de confort (90% aceptabilidad) M2															
Períodos ocupados por los usuarios															
		Sala		Comedor		Cocina		Sala TV		Dormitorio 1		Dormitorio 2		Dormitorio Principal	
M 2	Confort	96 h	92.31%	1376 h	58.68%	1633 h	86.95%	1423 h	70%	2418 h	84.40%	2554 h	81.68%	2211 h	88.40%
	Disconfort	8 h	7.69%	969 h	41.32%	245 h	13.05%	610 h	30%	447 h	15.60%	573 h	18.32%	290h	11.60%
Total, horas analizadas		104 h		2345 h		1878 h		2033 h		2865 h		3127 h		2501 h	

Tabla 66. Horas de Confort y Disconfort (períodos ocupados) prototipo M2
Software: Design Builder y tabla de cálculo en Excel Confadapt-ASH55

En la **Tabla 67** se presenta esta propuesta opcional considerando los requerimientos de la Norma NEC para ambientes climatizados presentados en la **Tabla 8** del capítulo 1. La norma implementa aislación térmica en paredes y cubiertas. En la planta baja, el comedor registró 1354 horas (57.69%) y la Sala de TV con 1518 horas (74.70%). La sala tiene 98 horas de confort (94.23%) y la cocina 1626 horas de confort (86.63%). En la planta alta, el dormitorio principal registra 2250 horas de confort equivalente al 89.93%, siendo el más confortable de este nivel. El dormitorio 1 cuenta con 2506 horas de confort (87.41%) y el dormitorio 2 registra 2635 horas equivalente al 84.32%.

Confort Adaptativo: Resultados horas de confort (90% aceptabilidad) M3															
Períodos ocupados por los usuarios															
		Sala		Comedor		Cocina		Sala TV		Dormitorio 1		Dormitorio 2		Dormitorio Principal	
M 3	Confort	98 h	94.23%	1354 h	57.69%	1626 h	86.63%	1518 h	74.70%	2506 h	87.41%	2635 h	84.32%	2250 h	89.93%
	Disconfort	6 h	5.77%	993 h	42.31%	251 h	13.37%	514h	25.30%	361 h	12.59%	490 h	15.68%	252 h	10.07%
Total, horas analizadas		104 h		2347 h		1877 h		2032 h		2867 h		3125 h		2502	

Tabla 67. Horas de Confort y Disconfort (períodos ocupados) prototipo M3
Software: Design Builder y tabla de cálculo en Excel Confadapt-ASH55

En la **Tabla 68** se ha elaborado un resumen con el número de horas de confort adaptativo con los diferentes escenarios y prototipos de mejoramiento.

El escenario 1 está elaborado de acuerdo a los hábitos de los usuarios con respecto a la ocupación y horarios de apertura de puertas y ventanas, y se ha eliminado el uso de climatización mecánica para utilizar el método de confort adaptativo ASHRAE 55.

El escenario 2 se ha establecido un horario determinado de apertura de puertas y ventanas detallado en la **Tabla 58**, en el cual se basa en el aprovechamiento de la ventilación natural al finalizar la tarde, por la noche, madrugada y primeras horas de la mañana. Se puede observar el aumento de las horas de confort del escenario 2 comparándolo con el escenario 1, (excepto en el comedor) razón por la cual el escenario 2 se lo considera como la línea base de confort para implementar los prototipos de mejoramiento.

Con la implementación de las opciones de mejoramiento se registra el aumento de las horas de confort principalmente en los ambientes de la planta alta. Con respecto a la planta baja, los ambientes con menor índice de confort son la sala de TV y comedor. De acuerdo al escenario 2, la sala de tv registra 1285 horas de confort (63.24%), con el prototipo M1 se incrementa a 1424 horas (70.08%), con el prototipo M2 presenta 1423 horas (70%) y con el prototipo M3 registra 1518 horas (74.40%).

Con respecto al comedor presenta 839 horas de confort (35.75%) en el escenario 2, con el prototipo M1 registra 1359 horas (57.93%), con el prototipo M2 presenta 1376 horas de confort (58.68%) y el prototipo M3 tiene 1354 horas (57.69%).

El dormitorio 1 presenta 2308 horas de confort (80.53%) de acuerdo al escenario 2, con el prototipo M1 registra 2447 horas (85.35%), con el prototipo M2 presenta 2418 horas (84.40%) y el prototipo M3 registra 2506 horas (87.41%).

El dormitorio 2 presenta 2347 horas (75.03%) de acuerdo al escenario 2, con el prototipo M1 registra 2563 horas (81.96%), con el prototipo M2 presenta 2554 horas (81.68%) y el prototipo M3 registra 2635 horas (84.32%).

Y por último el dormitorio principal registra 2128 horas de confort (85.05%), con el prototipo M1 2197 horas equivalente al 87.92%. Con el prototipo M2 presenta 2211 horas (88.40 %), y con el prototipo M3 registra 2250 horas (89.93%)

Cuadro comparativo horas de confort (90% aceptabilidad)														
Períodos ocupados por los usuarios														
No. Horas	Sala		Comedor		Cocina		Sala TV		Dormitorio 1		Dormitorio 2		Dormitorio Principal	
Escenario 1	62 h	59.62%	934 h	39.81%	1264 h	67.34%	1067 h	52.48%	2058 h	71.81%	1978 h	62.38%	1851 h	74.01%
Escenario 2	92 h	88.46%	839 h	35.75%	1451 h	77.26%	1285 h	63.24%	2308 h	80.53%	2347 h	75.03%	2128 h	85.05%
Prototipo M1	96 h	92.31%	1359h	57.93%	1634 h	87.01%	1424 h	70.08%	2447 h	85.35%	2563 h	81.96%	2197 h	87.92%
Prototipo M2	96 h	92.31%	1376 h	58.68%	1633 h	86.95%	1423 h	70%	2418 h	84.40%	2554 h	81.68%	2211 h	88.40%
Prototipo M3	98 h	94.23%	1354 h	57.69%	1626 h	86.63%	1518 h	74.70%	2506 h	87.41%	2635 h	84.32%	2250 h	89.93%
Total, horas analizadas	104 h		2347 h		1877 h		2031 h		2865 h		3125 h		2502	

Tabla 68. Cuadro comparativo no. horas de confort (períodos ocupados)
Design Builder y tabla de Excel basada en confaAdapt-ASH55

En la **Tabla 69** se presenta de manera gráfica los porcentajes de las horas de confort de acuerdo a los resultados de la **Tabla 68**. El comedor registra el menor porcentaje de horas de confort ya que se lo utiliza en horas de la tarde y por su orientación hacia el oeste. Con la misma orientación la sala de TV aledaña al comedor presenta porcentajes más altos de horas de confort ya que se ocupa a partir de las 19:00 cuando la temperatura exterior empieza a disminuir. Los dormitorios ocupados en la noche registran altos porcentajes de confort, ya que se utilizó como base el Escenario 2 con el aprovechamiento de la ventilación nocturna. Los dormitorios 1 y 2 registran entre el 80% y 87% horas de confort con los prototipos M1, M2 y M3. En el dormitorio principal los porcentajes de horas de confort se presentan entre 85% al 90%.

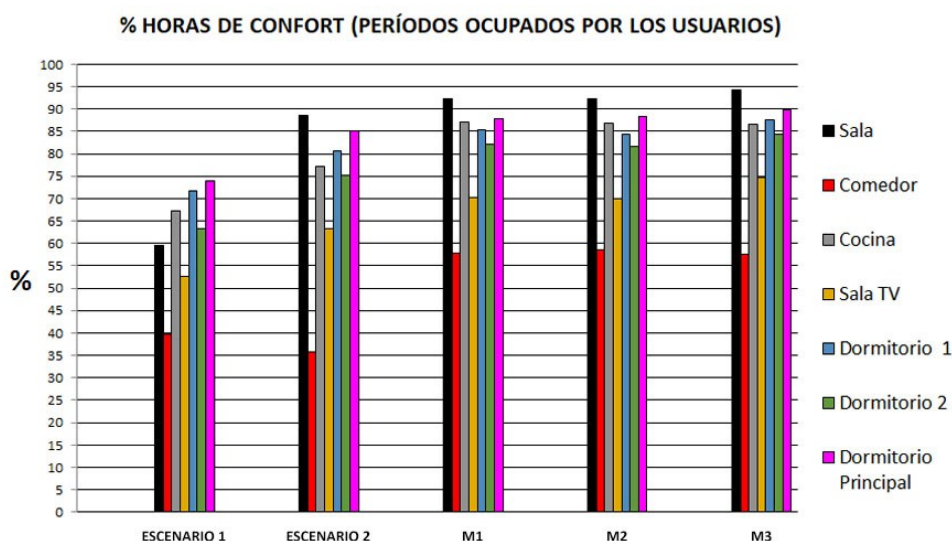


Tabla 69. Porcentaje horas de confort (períodos ocupados)

En la **Tabla 70** se presentan los resultados de las temperaturas operativas de un año considerando todos los períodos (los ocupados por los usuarios y los no ocupados). Se realizó este ejercicio ya que los horarios de ocupación habituales de los usuarios no siempre serán acatados con rigurosidad ya que depende de factores externos como la temporada de clases, vacaciones, pandemias, modificación de los horarios laborales, permiso por enfermedad, etc. Considerando el total de las horas que conforman un año (8760 horas), un mayor período incrementa la cantidad de horas de confort y desconfort al compararlo con los resultados de la **Tabla 68** que sólo considera las horas de confort de los horarios ocupados.

Cuadro comparativo horas de confort (90% aceptabilidad)														
Todos los períodos														
No. Horas	Sala		Comedor		Cocina		Sala TV		Dormitorio 1		Dormitorio 2		Dormitorio Principal	
Escenario 1	5700 h	65.08%	5158 h	58.89%	5049 h	57.65%	4998 h	57.07%	4421 h	50.47%	4334 h	49.49%	4711 h	53.79%
Escenario 2	6117 h	69.84%	4785 h	54.62%	6145 h	70.15%	4636 h	52.95%	4850 h	55.38%	4924 h	56.22%	5231 h	59.74%
Prototipo M1	7144 h	81.56%	6262 h	71.50%	7229 h	82.52%	6264 h	71.54%	6335 h	72.33%	6393 h	73%	6631 h	75.72%
Prototipo M2	7151 h	81.63%	6316 h	72.13%	7227 h	82.54%	6318 h	72.14%	6275 h	71.67%	6421 h	73.32%	6743 h	77.01%
Prototipo M3	7157 h	81.71%	6167 h	70.43%	7306 h	83.42%	6036 h	68.92%	6425 h	73.36%	6501 h	74.26%	6703 h	76.53%
Total, horas analizadas	8760													

Tabla 70. Cuadro comparativo no. horas de confort (todos los períodos)
Design Builder y tabla de Excel basada en confaAdapt-ASH55

En la **Tabla 71** están graficados los resultados de los porcentajes de horas de confort considerando todos los períodos del año. Los porcentajes de confort del Escenario 1, las horas de confort de la planta baja se presentan 53% al 63% de horas de confort. Los dormitorios 1 y 2 están por debajo del 50% de horas confort y el dormitorio principal llega al 53%.

En el Escenario 2 con ventilación nocturna los porcentajes de horas de confort aumentaron y se presentan entre el 56% al 74%. La sala y la cocina superan el 70% de horas de confort, el comedor con el 62.14 % y la sala de TV con el 61.47%. Los dormitorios 1 y 2 están con el 56% de horas confort y el dormitorio principal llega al 61%.

Con el prototipo M1 los porcentajes de horas de confort se incrementaron con respecto al Escenario 2 y se presentan en un rango entre el 72% al 82%. La sala y cocina presentan 82% de horas de confort, el comedor con el 71% y la sala de TV con el 72%. Los dormitorios 1 y 2 están con el 72% y 73% respectivamente y el dormitorio principal llega al 76% de horas confort.

El prototipo M2 y M3 registraron porcentajes similares especialmente en la sala con el 82%, la cocina 83%. En la sala de TV el prototipo M2 presentó el 72.12% y el M3 con el 69%.

Con respecto a los dormitorios 1 y 2, con el prototipo M3 presentaron mayores horas de confort del 73.34% y 74.21% respectivamente. A diferencia del prototipo M2 en el dormitorio 1 de 71.63% y dormitorio 2 con el 73.30%. Con el prototipo M2 el dormitorio principal presentó el 77% de horas de confort y 76.52% con el prototipo M3.

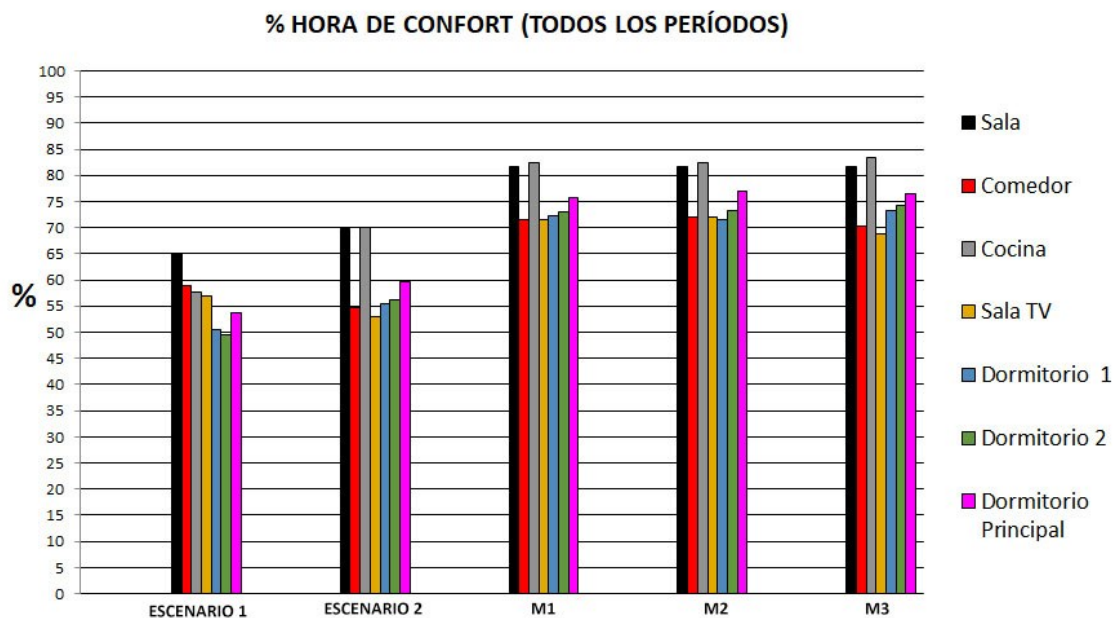


Tabla 71. Porcentaje horas de confort (todos los períodos)

6.5 Análisis de Confort Adaptativo semana estudio de campo (19 de marzo-25 de marzo)

En esta sección se realizará el análisis de confort en el período del estudio de campo (19 al 25 de marzo del 2018); los cuadros que se presentan a continuación están elaborados con los datos climáticos medidos en el exterior como la temperatura del aire y la HR. Los datos como radiación solar, y los vientos fueron provistos por una de las estaciones meteorológicas del INAMHI. La base de los gráficos incorpora la temperatura exterior, la radiación solar y el rango de confort adaptativo 90% de aceptabilidad (límite inferior 23.80°C y límite superior 28.8°C) y los gráficos de las temperaturas operativas de los Escenarios 1-2 y los prototipos de mejoramiento, M1, M2 y M3.

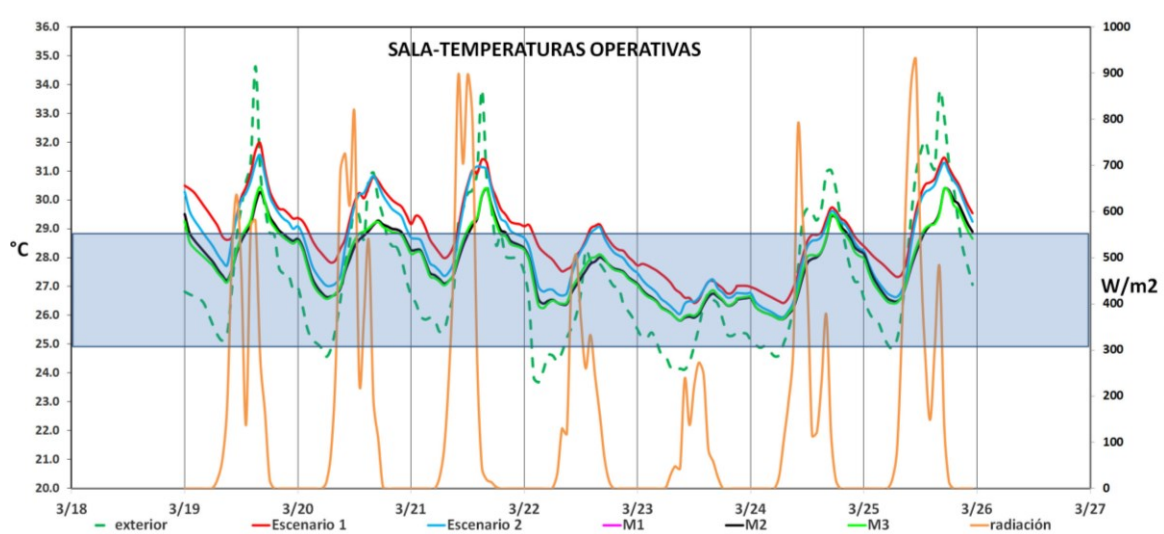


Figura 122. Sala-temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo)

Software: Design Builder

Los ambientes analizados de la vivienda han sido agrupados de acuerdo a la orientación y a los resultados de la **Tabla 70**. El análisis empieza con la sala **Figura 122** y el comedor **Figura 123** que son las áreas con mayores horas de confort de planta baja. Se toma como referencia el comportamiento térmico en los períodos con mayor incidencia de la radiación solar. En los escenarios 1 y 2 las temperaturas máximas no superan los 32°C sin embargo el aumento de ventilación del escenario 2 favorece a que las temperaturas disminuyan por las noches en los días con mayor radiación registrados el 19, 20, 21, 24 y 25 de marzo. El período con mayor desconfort se presenta generalmente en horas de la tarde en los días con mayor índice de radiación solar. El día 23 de marzo presenta bajos valores de radiación solar y la mayor parte de las temperaturas operativas registradas se encuentran dentro del

rango de confort adaptativo. Con respecto a los prototipos de mejoramiento se observa que los prototipos M2 y M3 disminuyen aproximadamente entre 1.20°C a 1.55°C en comparación con las temperaturas máximas del escenario 1 registradas (el 19, 20, 21 y 25 de marzo).

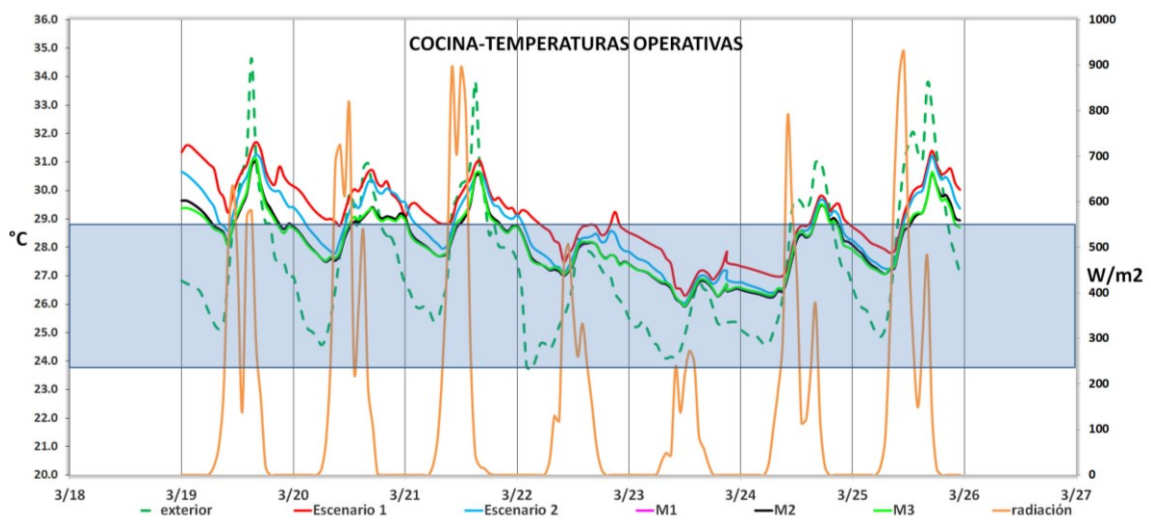


Figura 123. Cocina-temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo)
Software: Design Builder

A continuación, se presenta el análisis de las temperaturas operativas de los espacios de planta baja orientados hacia el oeste, el comedor **Figura 124** y la sala de tv en la **Figura 125**. En los 2 ambientes de acuerdo al escenario 1 se registraron temperaturas que sobrepasaron los 34°C en los días 19, 21 y 25 de marzo, y con los prototipos de mejoramiento M2 y M3 se observa una disminución de temperatura en estos días entre 3.50 a 3.80 °C aproximadamente.

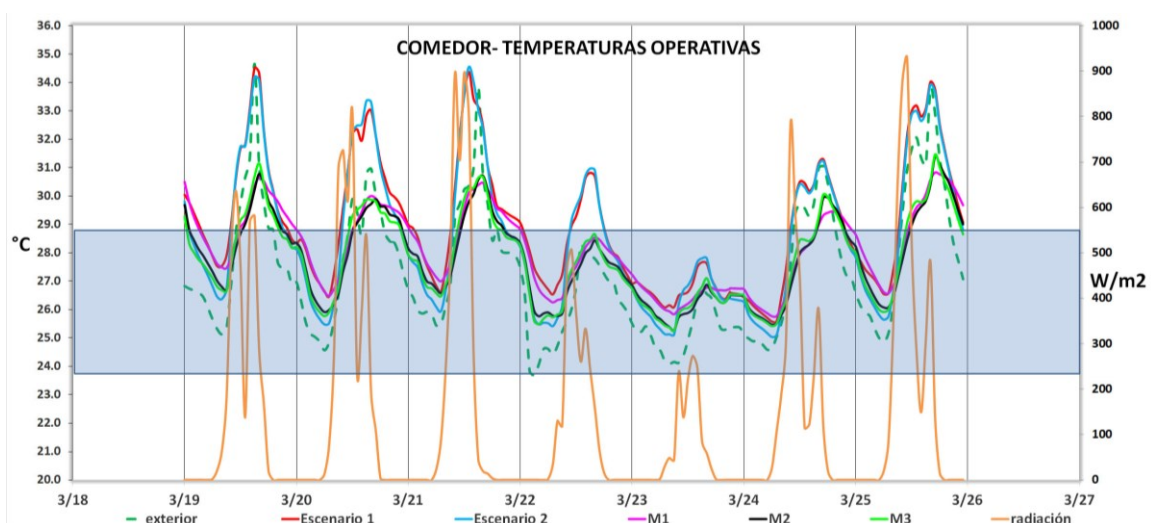


Figura 124. Comedor-temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo)
Software: Design Builder

En el comedor el día lunes 19 de marzo se registró una temperatura máxima de 34.51°C, la cual disminuyó a 31.14 °C aproximadamente con los prototipos M1, M2 y M3.

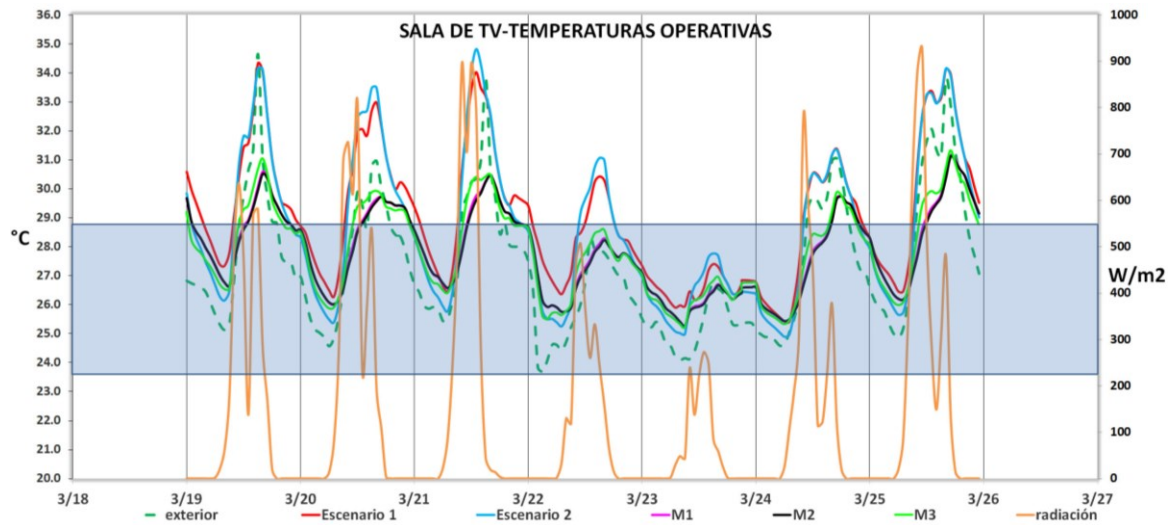


Figura 125. Sala de TV-temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo)
Software: Design Builder

De los ambientes de planta alta se analizaron el dormitorio principal (orientación este) **Figura 126** y el dormitorio 2 (orientación oeste) **Figura 127**. (el dormitorio 1 registró temperaturas similares a los ambientes antes mencionados).

Las temperaturas máximas registradas del Escenario 1 (vivienda original) fueron entre 33.77°C a 33.22°C los días lunes, miércoles y domingo que presentan altos valores de radiación solar; sin embargo, estas temperaturas con los prototipos M2 y M3 disminuyen a un rango de 31.16°C a 30.80°C aproximadamente. Dentro de este período las temperaturas máximas que sobrepasan los 33°C se presentan generalmente en horas de la tarde entre las 13:00 a 15:00, no obstante, en las demás horas del día se presentan temperaturas que no bajan de los 30°C. Los días nublados o con poca incidencia de radiación solar como el viernes 24 de marzo las temperaturas de todo el día se encuentran dentro del rango de confort adaptativo. Después de la puesta del sol las temperaturas disminuyen notablemente, un ejemplo de esta situación considerando las temperaturas del escenario 1 del día lunes 19 de marzo que registra una amplitud térmica aproximada de 2.5°C.

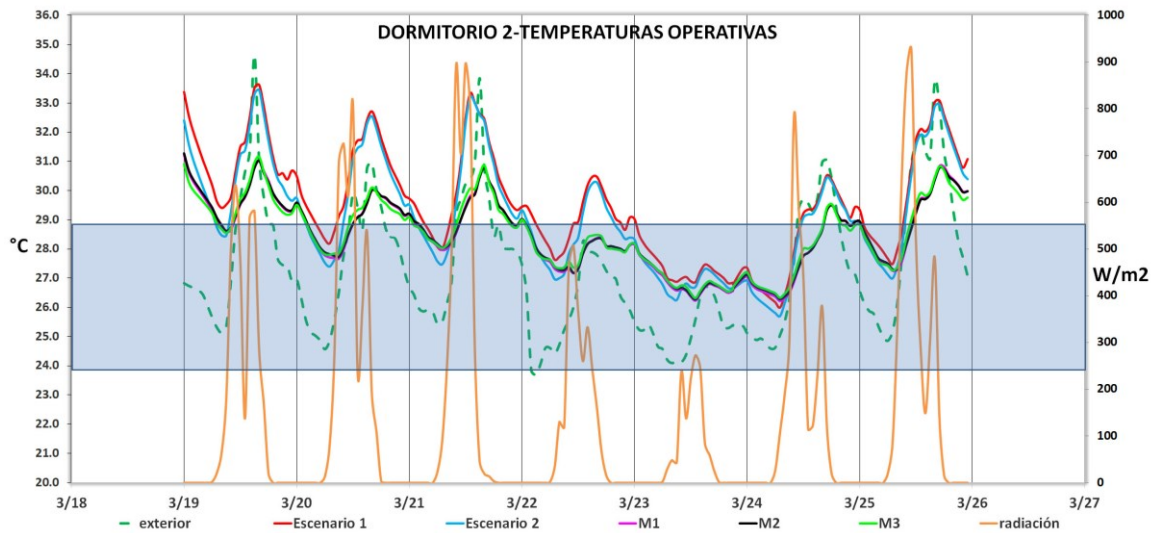


Figura 126. Dormitorio 2 -temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo)
Elaboración propia- Software: Design Builder

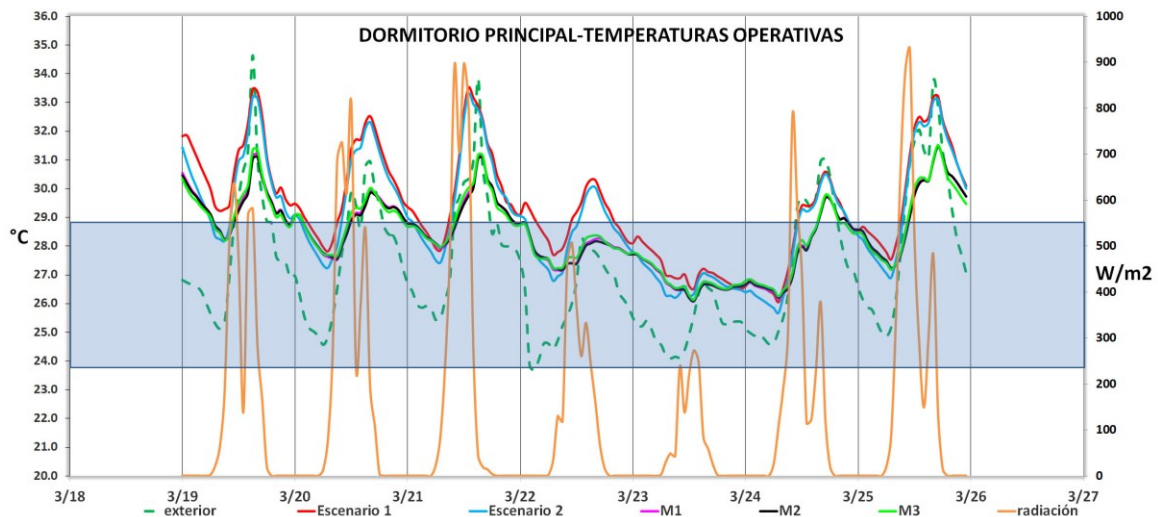
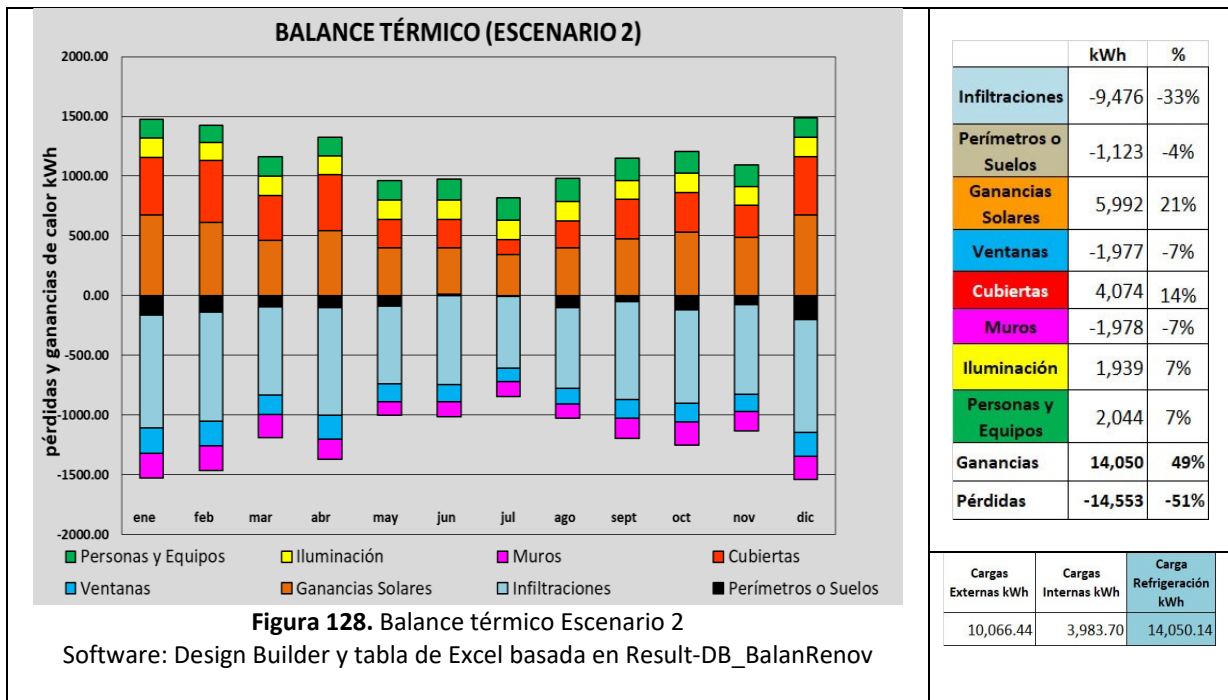


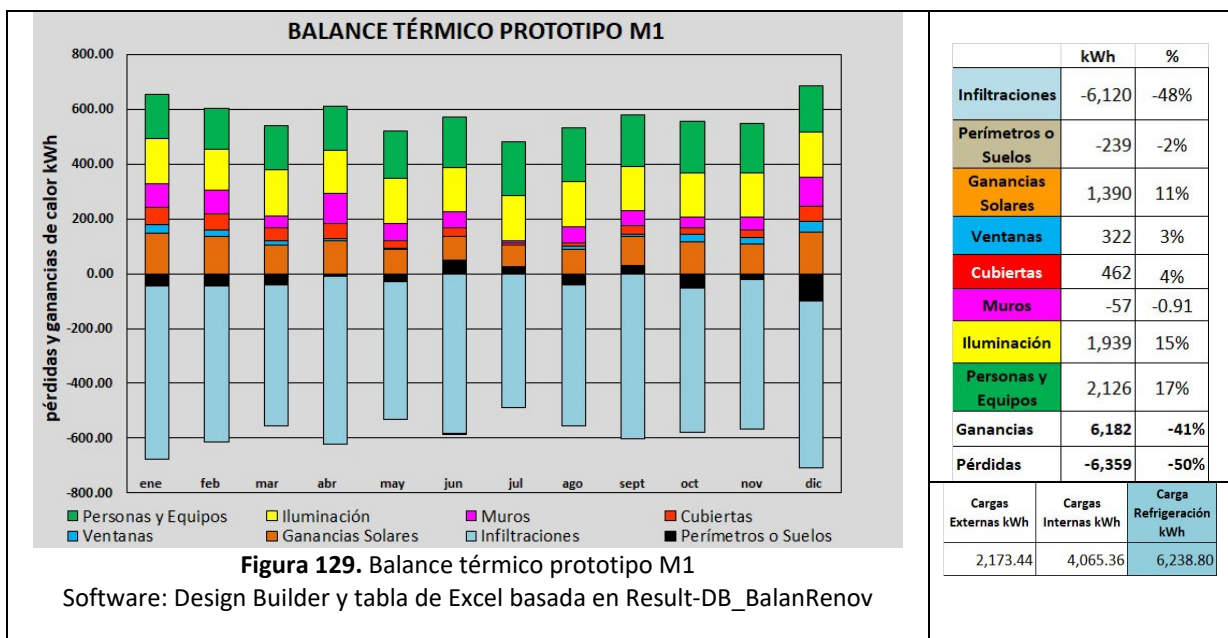
Figura 127. Dormitorio Principal -temperaturas operativas (19 de marzo al 25 de marzo)
Elaboración propia- Software: Design Builder

A continuación, se presentan los balances térmicos anuales del Escenario 2 (horarios ampliados de ventilación natural, sin mejoras en la envolvente) y los prototipos de mejoramiento M1, M2 y M3.

La **Figura 128** presenta el balance del Escenario 2, las ganancias externas registran 10066.44 kWh y las ganancias internas 3983.70 kWh con una carga de refrigeración de 14050.14 kWh. Las ganancias solares registran 5992 kWh, equivalente al 21%, las ganancias por cubierta presentan un valor 4074 correspondiente al 14%.

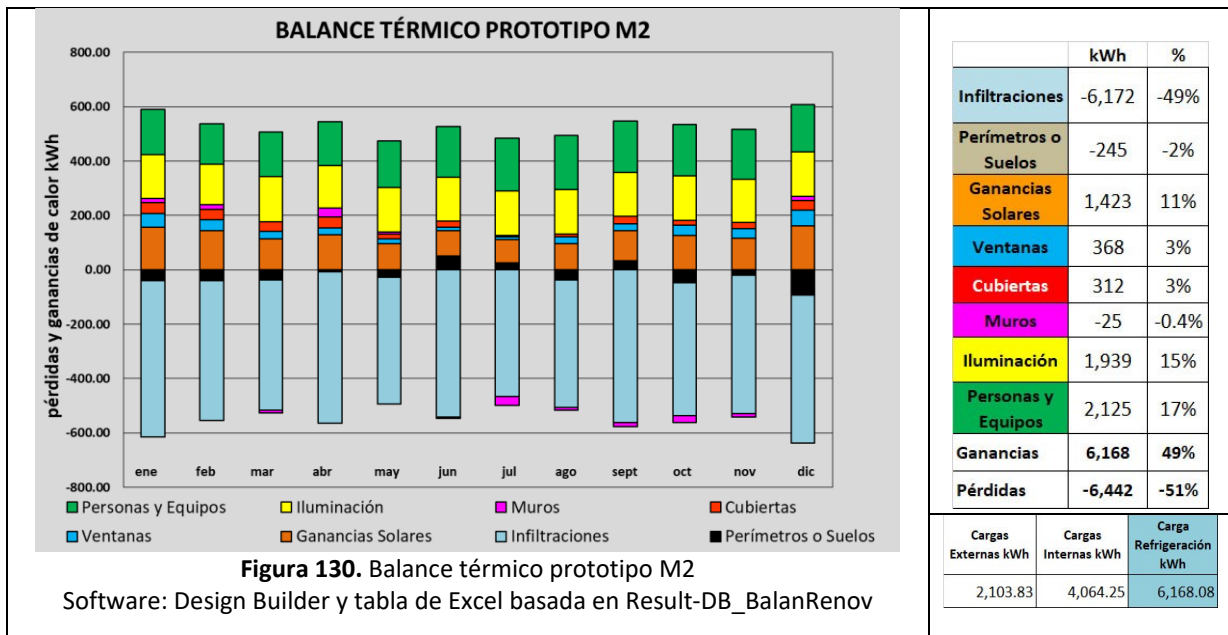


La **Figura 129** presenta el balance térmico del prototipo M1 (cubierta PIR de Kubiec) con ganancias externas de 2173.44 kWh, ganancias internas de 4065.36 kWh y una carga de refrigeración de 6238.80 kWh. El valor total de las ganancias solares es 1390 kWh equivalente al 11 % y las ganancias por cubierta presenta un valor 462 kWh correspondiente al 4%.

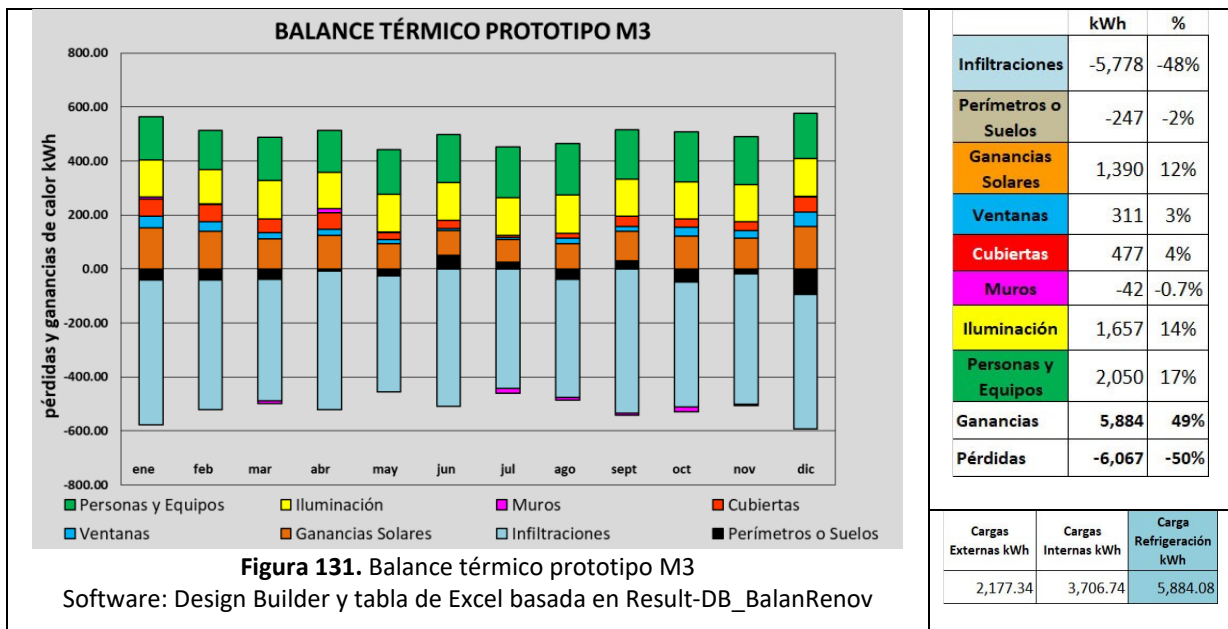


La **Figura 130** presenta el balance térmico del prototipo M2 (barrera radiante en cielo raso), se registra ganancias externas de 2103.83 kWh, ganancias internas 4064.25 kWh y una carga de refrigeración de 6168.08 kWh. Las ganancias solares registran 1423 kWh

equivalente al 11% y las ganancias por cubierta presenta un valor 312 kWh correspondiente al 3%.



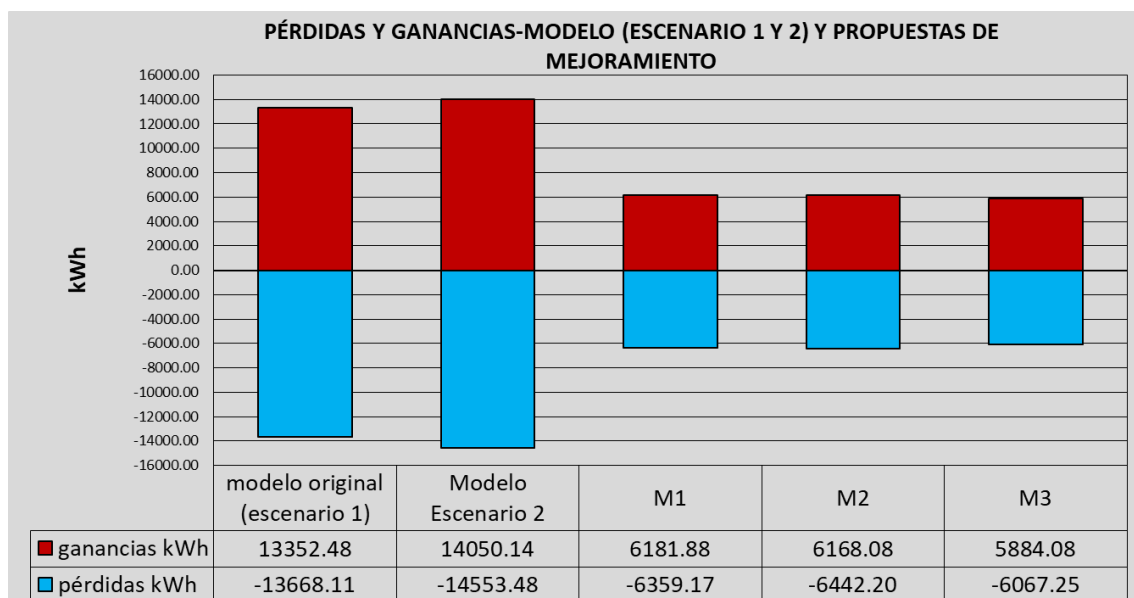
La **Figura 131** presenta el balance térmico del prototipo M3 (cubierta PIR de Kubiec y paredes con aislación de EPS), se registran ganancias externas de 2177.34 kWh, las ganancias internas de 3706.74 kWh con una carga de refrigeración de 5884.08 kWh. Las ganancias solares registran 1390 kWh equivalente al 12% y las ganancias por cubierta presenta un valor 477 kWh correspondiente al 4%.



Finalmente, en la **Figura 132** se presenta un cuadro comparativo con las cargas de refrigeración de acuerdo a los resultados de los balances térmicos. Se observa una

diferencia mínima entre las ganancias de calor de los escenarios 1 y 2, este último presenta un desmejoramiento del -5%, ya que los fines de semana se ventila naturalmente la vivienda lo que originó un sobrecalentamiento en el Comedor y Sala de TV de acuerdo a los resultados de la **Tabla 70**.

Los resultados de los prototipos de mejoramiento, se observa una disminución considerable de la carga de refrigeración. El prototipo M1 presenta una carga de 6181.88 kWh con un porcentaje de mejoramiento del 56% con respecto al modelo del Escenario 2. El prototipo M2 registra una carga de 6168.08 kWh con un porcentaje de mejoramiento del 56.10 % con respecto al Escenario 2 y finalmente, el prototipo M3 tiene una carga de 5884.08 kWh con un mejoramiento del 58.12%.



Prototipos	Escenario 2	M1	M2	M3
Porcentaje de mejoramiento	-5.23%	56.00%	56.10%	58.12%

Figura 132. Ganancias y pérdidas de calor. Porcentajes de mejoramiento

6.6 Conclusiones

Varios temas dieron un giro radical en el Capítulo 6, una de ellas fue la decisión de desactivar la refrigeración del modelo de simulación para realizar el análisis de confort adaptativo de acuerdo a los requerimientos de ASHRAE 55 y la ampliación del período de análisis de confort a un año, ya que el estudio de campo se concentró en 2 semanas en la primera y segunda medición.

Un análisis anual considera en el caso de Guayaquil las dos temporadas climáticas, la lluviosa (calurosa) y la seca (con temperaturas más frescas), se determinó la cantidad de horas de confort y desconfort con sus respectivos porcentajes. Adicionalmente se realizó un análisis más detallado en un período de una semana que corresponde al caso de estudio en el cual se registró el comportamiento térmico de la vivienda original con sus dos escenarios (1y2) y los prototipos de mejoramiento.

Un tema importante a definir fue el rango de confort adaptativo que se utilizaría en los análisis, ya que en el Estándar ASHRAE 55 de años anteriores indicaba que el rango del 90% de aceptabilidad se utiliza en situaciones muy exigentes. En primera instancia se consideró el rango más estricto el del 90%, sin embargo, en la norma actualizada del 2020 se recomienda el rango del 80% de aceptabilidad. Esta situación originó una exhaustiva revisión del marco teórico presentado en el capítulo 4, se revisaron las investigaciones de campo de confort adaptativo en Singapur y Venezuela en conjunto con las ecuaciones de confort de diferentes autores. Las ecuaciones de confort o temperatura neutral se encuentran dentro un rango entre 23.80°C a 28.80°C y se determinó que este rango de temperaturas no está de acuerdo la zona de confort del 80% de aceptabilidad que propone el Estándar ASHRAE 55 del 2020. Con esos fundamentos se tomó la decisión de seguir utilizando el rango de confort del 90%.

Para el análisis de confort adaptativo se debe considerar los períodos ocupados por los usuarios, en este caso la familia tiene diversos horarios, (incluyendo a la señora que trabaja en los quehaceres domésticos). Esta situación generó varias reflexiones tales como: ¿la vivienda tiene que ser confortable todo el tiempo?, o ¿Sólo en ciertos períodos? O en los períodos que sea posible de acuerdo a las variables climáticas. ¿Se debería analizar todos los períodos de la vivienda aún sin ocupación para estimar un diagnóstico base y más integral?

De acuerdo a estas reflexiones que fueron surgiendo en este capítulo se decidió trabajar con los períodos ocupados y con todos los períodos del año.

Analizando las temperaturas de confort (sólo los períodos los ocupados) a partir del Escenario 1 se elaboró el Escenario 2 utilizando la ventilación nocturna durante todo el año. Este ajuste en los horarios de ventilación incrementó las horas de confort en el Escenario 2, especialmente en los ambientes ocupados por las noches como en la sala de TV y en las habitaciones de planta alta. Los porcentajes de mejoramiento se presentaron en un rango del 15% al 20%, excepto la sala que registró un mejoramiento del 48%.

Posteriormente se realizó el balance térmico del modelo original y se establecieron las cargas internas y externas para el cálculo de la carga de refrigeración. Las principales cargas externas son las ganancias solares y la ganancia por la cubierta. De acuerdo a este diagnóstico se establecieron las estrategias para el mejoramiento de la envolvente que consistió en la disminución de la ganancia solar y el mejoramiento de la ventilación natural.

Con los prototipos de mejoramiento la carga de refrigeración se redujo notablemente comparándola con el Escenario 1, con el prototipo M1 el porcentaje de mejoramiento fue del 56%, con el prototipo M2 fue 56.10% y con el prototipo M3 el porcentaje de mejoramiento fue de 58.12%.

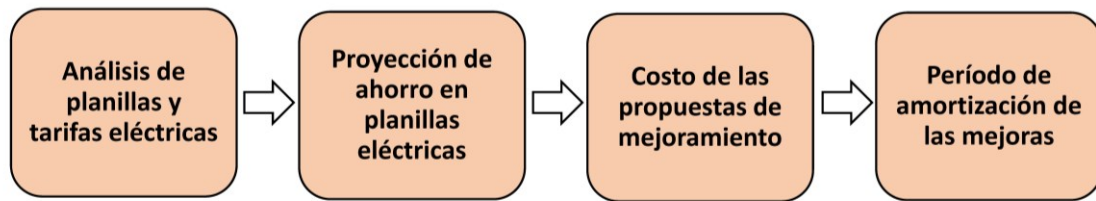
Cabe recalcar que se elaboró como opcional el prototipo M3 de acuerdo a los requerimientos de la norma NEC para espacios climatizados con la finalidad de conocer el comportamiento de una vivienda sin refrigeración con aislación térmica en paredes y techos en un clima cálido húmedo. La opción M3 ventilada permanentemente registra el mayor número de horas de confort con respecto a los demás prototipos con un porcentaje de mejoramiento de sólo el 2.02% con respecto a la opción M2. El prototipo M3 es el más eficiente por el incremento en las horas de confort en los dos análisis (períodos ocupados y todos los períodos) y por la disminución de la carga de refrigeración. Esta carga disminuye un 4.60% con respecto a los resultados de los prototipos M1 y M2

La opción M3 como indica la norma se recomienda en espacios climatizados ya que utilizarla con ventilación natural no sería rentable ni eficiente desde el punto de vista económico.

Con respecto a los resultados del análisis de confort de la semana del 19 al 25 de marzo, se observa con mayor detalle las temperaturas operativas máximas y su comportamiento de acuerdo a la radiación solar. En horas de la tarde en los días que presentan altos índices de radiación solar específicamente los días lunes 19, miércoles 21 y domingo 25 de marzo. En la planta baja el área que registró mayores temperaturas fue la sala de TV y el comedor, con temperaturas entre los 30°C a 34°C. Con los prototipos de mejoramiento las temperaturas disminuyeron en un rango de 2.50°C hasta 3.80°C. En la planta alta las temperaturas máximas registradas superaron los 33°C, específicamente en el dormitorio 1 con 33.77°C, en el dormitorio 2 con 33.62°C y en el dormitorio principal de 33.47°C. Con los prototipos M1, M2 y M3 las temperaturas máximas disminuyeron entre 2.50°C hasta 2.60°C. Por ejemplo, el Dormitorio 1, a las 16:00 registró 33.77°C disminuyendo a 31.23°C.

A pesar de las mejoras en la envolvente ejecutadas y la implementación de la ventilación nocturna, se registran períodos que están fuera de la zona de confort generalmente en horas de la tarde (entre la 13:00 y 16:00) principalmente en los días que tienen altos índices de radiación solar. Esta situación cambia en los días nublados en los cuales la temperatura exterior y las temperaturas operativas se presentan dentro del rango de confort.

7 CAPÍTULO SIETE: ANÁLISIS ECONÓMICO



Esquema 7. Metodología Capítulo Siete

7.1 Análisis de planillas y tarifas eléctricas

En la **Tabla 72** se presentan los componentes e impuestos de la planilla de energía eléctrica, el consumo real se lo multiplica por el valor USD kWh de acuerdo al nivel de voltaje de acuerdo a la **Figura 133**; mientras el consumo es más alto, el valor kWh se incrementa. Por ejemplo, un consumo entre un rango de 51 a 100 kWh el valor a pagar es 0.093 USD por kWh. Si el consumo se encuentra entre 501 a 700 kWh se incrementa a 0.105 USD el kWh (diciembre a mayo), y un valor 0.1285 USD kWh (junio a noviembre).

PERIODO: **ENERO - DICIEMBRE ***

EMPRESAS ELÉCTRICAS:

CNEL EL ORO - CNEL ESMERALDAS - CNEL GUAYAS LOS RÍOS - CNEL LOS RÍOS - CNEL MANABÍ - CNEL MILAGRO - CNEL SANTA ELENA - CNEL SANTO DOMINGO - CNEL SUCUMBÍOS - GALÁPAGOS

CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS JUNIO - NOVIEMBRE **				CARGOS TARIFARIOS ÚNICOS DICIEMBRE - MAYO **			
RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)	RANGO DE CONSUMO	DEMANDA (USD/kW-mes)	ENERGÍA (USD/kWh)	COMERCIALIZACIÓN (USD/Consumidor)
RESIDENCIAL				RESIDENCIAL			
CATEGORÍA	RESIDENCIAL			CATEGORÍA	RESIDENCIAL		
NIVEL VOLTAJE	BAJO Y MEDIO VOLTAJE			NIVEL VOLTAJE	BAJO Y MEDIO VOLTAJE		
1-50		0,091	1,414	1-50		0,091	1,414
51-100		0,093		51-100		0,093	
101-150		0,095		101-150		0,095	
151-200		0,097		151-200		0,097	
201-250		0,099		201-250		0,099	
251-300		0,101		251-300		0,101	
301-350		0,103		301-350		0,103	
351-500		0,105		351-500		0,105	
501-700		0,1285		501-700		0,105	
701-1000		0,1450		701-1000		0,1450	
1001-1500		0,1709		1001-1500		0,1709	
1501-2500		0,2752		1501-2500		0,2752	
2501-3500		0,4360		2501-3500		0,4360	
Superior		0,6812		Superior		0,6812	
	RESIDENCIAL TEMPORAL						
		0,1285					

Figura 133. Pliego tarifario del servicio público de energía eléctrica (período enero-diciembre 2021)

Fuente: Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos No Renovables

Otro rubro que se presenta en la planilla eléctrica es la comercialización de la energía eléctrica la cual es realizada por varias empresas distribuidoras de electricidad de acuerdo a la ubicación geográfica y presenta un costo fijo en la planilla de 1.41 USD.

Otro valor de la planilla es la tarifa de la dignidad, un impuesto del 10% del valor (consumo multiplicado por USD kWh + comercialización). Representa una penalidad para los clientes cuyo consumo supera los 130 kWh (región costa) y 110 kWh (región sierra).

Los valores antes indicados conforman un subtotal base para el cobro de los siguientes servicios: alumbrado público (10% aprox.), recolección de basura (9% aprox.) y finalmente la tarifa fija de bomberos de 2 USD.

7.2 Proyección de ahorro en planillas eléctricas

Una vez realizado el mejoramiento de la envolvente y con la obtención de los porcentajes de mejoramiento de la carga térmica de las propuestas presentadas, (**Figura 132**), se procede a verificar que la carga de refrigeración disminuyó entre el 56% y el 58%. Con estos datos se realizó una proyección del ahorro en la planilla de luz mediante la elaboración de una tabla con los consumos reales kWh del año 2018 con los precios actualizados USD kWh del año 2021. (**Figura 133**).

En la **Tabla 72** se realizó un ejercicio en el cual se tomaron los consumos de las planillas eléctricas del año 2018 considerando los valores vigentes de la energía. Se registró un consumo anual de 5813 kWh con un costo de 974.53 USD.

	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	total anual USD	Total kWh
Consumo real kWh	418	156	773	804	459	365	365	430	514	509	430	590		5813
Consumo real x USD/kWh	53.71	15.13	112.09	112.09	48.20	38.33	38.33	45.15	66.05	65.41	45.15	75.82	715.43	
Comercialización	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	16.92	
Tarifa de la Dignidad 10%	5.51	1.65	11.35	11.35	4.96	3.97	3.97	4.66	6.75	6.68	4.66	7.72	73.24	
Subtotal Servicio Eléctrico	60.64	18.20	124.84	124.84	54.57	43.71	43.71	51.22	74.20	73.50	51.22	84.95	805.59	
Alumbrado Público 10%	6.06	1.82	12.48	12.48	5.46	4.37	4.37	5.12	7.42	7.35	5.12	8.49	80.56	
Recolección de Basura 9%	4.83	1.36	10.09	10.09	4.34	3.45	3.45	4.06	5.94	5.89	4.06	6.82	64.39	
Tarifa de Bomberos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	24.00	
Total Tarifa	73.53	23.38	149.42	149.42	66.36	53.53	53.53	62.40	89.57	88.73	62.40	102.27	974.53	

Tabla 72. Consumo eléctrico año 2018 con precios kWh año 2021

Elaboración propia

Se ha elaborado una planilla (**Tabla 73**) tomando como base la **Tabla 72**, en la cual se ha proyectado un ahorro del 50% del consumo original de acuerdo a los resultados de la **Figura 132**. El valor anual del consumo es de 421.63 USD, representa un ahorro de 552.91 USD.

50% ahorro	enero	febrero	marzo	abril	mayo	junio	julio	agosto	septiembre	octubre	noviembre	diciembre	total anual USD	Total kWh
Consumo kWh	209	78	386.5	402	229.5	182.5	182.5	215	215	257	215	295		2867
Consumo real x USD/ kWh	20.69	7.25	40.58	40.58	22.72	17.70	17.70	21.29	21.29	25.96	21.29	29.80		286.84
Comercialización	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41	1.41		16.92
Tarifa de la Dignidad 10%	2.21	0.87	4.20	4.20	2.41	1.91	1.91	2.27	2.27	2.74	2.27	3.12		30.38
Subtotal Servicio Eléctrico	24.31	9.53	46.19	46.19	26.54	21.02	21.02	24.96	24.96	30.10	24.96	34.33		334.14
Alumbrado Público 10%	2.43	0.95	4.62	4.62	2.65	2.10	2.10	2.50	2.50	3.01	2.50	3.43		33.41
Recolección de Basura 9%	2.19	0.86	4.16	4.16	2.39	1.89	1.89	2.25	2.25	2.71	2.25	3.09		30.07
Tarifa de Bomberos	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2		24.00
Total Tarifa	30.93	13.34	56.97	56.97	33.59	27.02	27.02	31.71	31.71	37.82	31.71	42.85		421.63

Ahorro 50%	Ahorro anual USD	552.91
-------------------	-------------------------	---------------

Tabla 73. Consumo eléctrico año 2018 con precios kWh año 2021 (Ahorro 50%)
Elaboración propia

7.3 Costo de las propuestas de mejoramiento

De acuerdo a los resultados del balance térmico del modelo original (**Tabla 55**), se propusieron alternativas de mejoramiento que se enfocaron en las superficies vidriadas y en las cubiertas. En la **Tabla 74** se detallan los precios por m2 para la colocación de la barrera radiante en la parte inferior de la cámara de aire con la implementación de un nuevo cielo raso, y también se presentan los valores de la cubierta con aislación térmica PIR.

BARRERA RADIANTE EN CUBIERTA Y CIELO RASO			
DESCRIPCIÓN	COSTO m2 USD	TOTAL m2	COSTO FINAL USD
Cielo de raso de gypsum (PB y PA)	20	74	1480
Cielo de raso de gypsum (PA)	20	45	900
Barrera radiante (PB y PA)	20	93	1860
Barrera radiante (PA)	20	45	900
Cubierta PIR (PB y PA)	161	93	14973
Cubierta PIR (PA)	161	55	8855

Tabla 74. Costo por m2-Cielo raso, barrera radiante y cubierta con aislación
Elaboración propia

En la **Figura 134** se presenta la planta baja y alta especificando las zonas a intervenir con la colocación de la barrera radiante y nuevo cielo raso.



Figura 134. Ubicación de cielo raso con barrera radiante y áreas de cubierta

En la **Figura 135** y **Figura 136** se presentan los códigos y la ubicación de las carpinterías en la vivienda que se propone reemplazar con vidrios con mejor comportamiento térmico y perfilaría de tipo europeo.



Figura 135. Plano, códigos de carpinterías de aluminio y vidrio
Elaboración propia

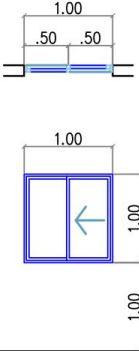
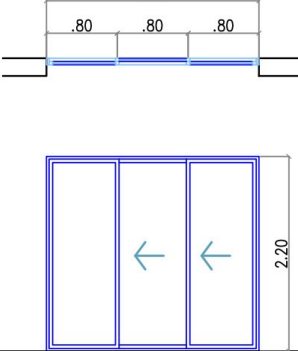
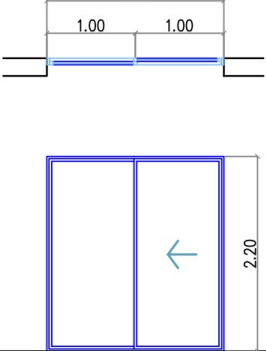
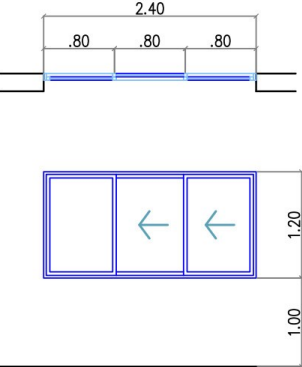
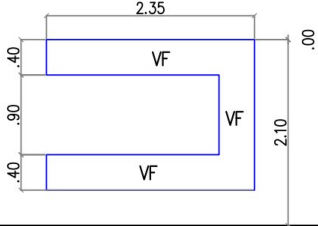
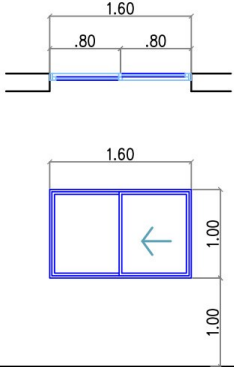
<p>CANTIDAD 3</p> <p>(V1) (V4) (V5)</p> 	<p>CANTIDAD 1</p> <p>(M1)</p> 	<p>CANTIDAD 1</p> <p>(M2)</p> 
<p>UBICACIÓN: COCINA-DORMITORIO 1 DORMITORIO 2</p>	<p>UBICACIÓN: COMEDOR</p>	<p>UBICACIÓN: COMEDOR</p>
<p>CANTIDAD 1</p> <p>(V3)</p> 	<p>CANTIDAD 1</p> <p>(V2)</p> 	<p>CANTIDAD 2</p> <p>(V6) (V7)</p> 
<p>UBICACIÓN: COMEDOR</p>	<p>UBICACIÓN: SALA TV</p>	<p>UBICACIÓN: SALA Y DORMITORIO PRINCIPAL</p>

Figura 136. Planilla de carpinterías, dimensiones en planta y alzados
Elaboración propia

En las **Figura 137**, **Figura 138** y **Figura 139** se presentan las especificaciones de las carpinterías con tres tipos de vidrio:

Cotización 1: Carpinterías vidrios laminados Fairis 6 mm color bronce o gris con perfilera tipo europeo.

Cotización 2: Carpinterías vidrios templado Pilkington Eclipse Advantage Evergreen 6 mm con perfilera tipo europeo.

Cotización 3: Carpinterías vidrio float Pilkington Eclipse Advantage Evergreen 6 mm con perfilera de tipo europeo.

Srta. Arq. LILIANA CARBONELL
Código: 31418 001
Tel.: 0992755168
Obra: RESIDENCIA Sánchez - Blum e-mail: carbonell.lili@gr
Sistema: Euro con vidrio LAMINADO 6MM gris o bronce

De nuestras consideraciones:
 Ponemos en su conocimiento la propuesta económica según especificaciones indicadas;

CANT.	DESCRIPCION	CÓDIGO	MEDIDAS		AREA M2
			ANCHO	ALTO	
3	Ventanas corredizas de 2 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio laminado 6mm compuesto de vidrio gris 3mm +pvb + vidrio bronce 3mm	V1 - V4 - V5	1,00	1,00	3,00
1	Puerta corrediza de 3 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio laminado 6mm compuesto de vidrio gris 3mm + pvb + vidrio bronce 3mm	M1	2,40	2,20	5,28
1	Puerta corrediza de 2 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio laminado 6mm compuesto de vidrio gris 3mm + pvb + vidrio bronce 3mm	M2	2,00	2,20	4,40
1	Ventana corrediza de 3 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio laminado 6mm compuesto de vidrio gris 3mm +pvb + vidrio bronce 3mm	V3	2,40	1,20	2,88
1	Vidrio fijo 3 cuerpos formando una C invertida: 235x40 + 170x40 + 235x40. Estructura perfil de ventana proyectable. Vidrios laminado 6mm compuesto de vidrio gris 3mm + pvb + vidrio bronce 3mm	V2	5,60	0,40	2,24
2	Ventanas corredizas de 2 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio laminado 6mm compuesto de vidrio gris 3mm +pvb + vidrio bronce 3mm	V5 - V6	1,60	1,00	3,20

Figura 137. Cotización 1-carpinterías vidrios laminados Fairis 6 mm color bronce o gris
 Fuente: Construalvid

Srta. Arq. LILIANA CARBONELL
Código: 31418 002
Tel.: 0992755168
Obra: RESIDENCIA Sánchez - Blum e-mail: carbonell.lili@gr
Sistema: Euro con vidrio Pilkington americano 6MM templado Evergreen

De nuestras consideraciones:
 Ponemos en su conocimiento la propuesta económica según especificaciones indicadas;

CANT.	DESCRIPCION	CÓDIGO	MEDIDAS		AREA M2
			ANCHO	ALTO	
3	Ventanas corredizas de 2 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio americano pilkington evergreen templado 6mm.	V1 - V4 - V5	1,00	1,00	3,00
1	Puerta corrediza de 3 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio americano pilkington evergreen templado 6mm.	M1	2,40	2,20	5,28
1	Puerta corrediza de 2 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio americano pilkington evergreen templado 6mm.	M2	2,00	2,20	4,40
1	Ventana corrediza de 3 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio americano pilkington evergreen templado 6mm.	V3	2,40	1,20	2,88
1	Vidrio fijo 3 cuerpos formando una C invertida: 235x40 + 170x40 + 235x40. Estructura perfil de ventana proyectable. Vidrio americano pilkington evergreen templado 6mm.	V2	5,60	0,40	2,24
2	Ventanas corredizas de 2 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio americano pilkington evergreen templado 6mm.	V5 - V6	1,60	1,00	3,20

Figura 138. Cotización 2- carpinterías vidrios templado Pilkington Evergreen 6 mm color
 Fuente: Construalvid

COTIZACIÓN No. 21 - 10 - 2487

Guayaquil, Octubre 18 del 2021

Srta. Arq. LILIANA CARBONELL**Código:** 31418 003**Tel.:** 0992755168**Obra:** RESIDENCIA Sánchez - Blume-mail: carbonell.lili@gr**Sistema:** Euro con vidrio Pilkington Float 6MM Evergreen

De nuestras consideraciones:

Ponemos en su conocimiento la propuesta económica según especificaciones indicadas;

CANT.	DESCRIPCION	CÓDIGO	MEDIDAS		AREA M2
			ANCHO	ALTO	
3	Ventanas corredizas de 2 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio americano pilkington evergreen float 6mm.	V1 - V4 - V5	1,00	1,00	3,00
1	Puerta corrediza de 3 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio americano pilkington evergreen float 6mm.	M1	2,40	2,20	5,28
1	Puerta corrediza de 2 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio americano pilkington evergreen float 6mm.	M2	2,00	2,20	4,40
1	Ventana corrediza de 3 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio americano pilkington evergreen float 6mm.	V3	2,40	1,20	2,88
1	Vidrio fijo 3 cuerpos formando una C invertida: 235x40 + 170x40 + 235x40. Estructura perfil de ventana proyectable. Vidrio americano pilkington evergreen float 6mm.	V2	5,60	0,40	2,24
2	Ventanas corredizas de 2 módulos. Incluye malla mosquitera. Vidrio americano pilkington evergreen float 6mm.	V5 - V6	1,60	1,00	3,20

Figura 139. Cotización 3 -carpinterías vidrio Pilkington Float Evergreen 6 mm

Fuente: Construalvid

En la **Tabla 75** se presenta un resumen con las especificaciones de las carpinterías que intervienen en los siguientes análisis de costos.

Línea Base:	Vidrio bronce de 4 mm con perfilera de aluminio anodizado natural.
Opción 1	Carpinterías con vidrios laminados Fairis 6 mm color bronce o gris con perfilera tipo europeo.
Opción 2	Carpinterías vidrios templado Pilkington Eclipse Advantage Evergreen 6 mm con perfilera tipo europeo.
Opción 3	Carpinterías vidrio float Pilkington Eclipse Advantage Evergreen 6 mm con perfilera de tipo europeo.

Tabla 75. Resumen de carpinterías

Elaboración propia

7.4 Período de amortización de las mejoras

En la **Tabla 76** se presentan los costos de cada una de las carpinterías con las diferentes opciones de vidrio que a continuación se detalla:

Se realizó un cálculo de los porcentajes comparativos de los costos de la línea base y las 3 opciones de carpinterías. La opción 1 representa el doble de inversión con respecto a la línea base. La opción 2 es un 128.71% más costosa con respecto con la línea base y la opción 3 es un 89.52% más cara.

CÓDIGOS CARPINTERÍAS	LÍNEA BASE USD	OPCIÓN 1 USD	OPCIÓN 2 USD	OPCIÓN 3 USD
V1	375	411.96	458.55	394.07
V2	320	406.98	511.34	366.90
V3	250	839.63	973.82	788.11
V4	375	411.96	458.55	394.07
V5	375	411.96	458.55	394.07
V6	165	507.77	582.32	479.15
V7	165	507.77	582.32	479.15
M1	750	2048.54	2294.54	1954.10
M2	680	1376.87	1581.88	1298.17
COSTO TOTAL USD	3455.00	6923.42	7901.87	6547.79
	% comparativo	100.39%	128.71%	89.52%

Tabla 76. Costo carpinterías, línea base y propuestas
Elaboración propia

En la **Tabla 77** se presentan el valor final USD de acuerdo a los presupuestos de los sistemas de carpinterías cotizadas por un proveedor local. Los primeros 3 ítems considera el cambio de todas las carpinterías de aluminio y vidrio (renovación total). Los últimos ítems se han obviado las carpinterías orientadas hacia el este (renovación parcial)

SISTEMAS DE CARPINTERÍAS	
DESCRIPCIÓN	COSTO FINAL USD
Carpinterías Opción 1 (renovación total)	6923.42
Carpinterías Opción 2 (renovación total)	7901.87
Carpinterías Opción 3 (renovación total)	6547.79
Carpinterías Opción1 (renovación parcial)*	5088.95
Carpinterías Opción 2 (renovación parcial)*	5767.33
Carpinterías Opción 3 (renovación parcial)*	4828.51

Tabla 77. Costos-Sistemas de Carpinterías
Elaboración propia en base de presupuestos Construalvid

En la **Tabla 78** se presentan 15 propuestas con varias combinaciones de metros cuadrados de aislación y número de carpinterías. En las propuestas 1, 2 y 3 se considera la colocación de la barrera radiante y un nuevo cielo raso en planta baja y planta alta (cámara de aire, cubierta de Eternit) y el cambio de todas las ventanas y mamparas de la vivienda con las diferentes alternativas de vidriado. En las propuestas 4, 5 y 6 se enfoca en el reemplazo de las cubiertas de Eternit de planta baja y planta alta por la cubierta tipo sándwich PIR y la totalidad de las carpinterías. Sin embargo, al analizar los prolongados períodos de tiempo para la recuperación de la inversión, se procedió a realizar otras propuestas (7, 8, 9, 10, 11 y 12), mejoramientos focalizados en las áreas más críticas de la vivienda, tales como los dormitorios de la planta alta. Se revisó nuevamente y se eliminaron varias carpinterías, se mantuvieron las que se encuentran en las orientaciones más críticas. (fachada oeste). Finalmente, las propuestas 13, 14 y 15 consideran el área total de la cubierta de Eternit en planta baja y alta para la colocación de la barrera radiante con un nuevo cielo raso tipo gypsum y la renovación parcial de las carpinterías es decir las más necesarias.

De acuerdo al nivel de ahorro que se alcance en el consumo de electricidad, el período de amortización será más corto. Si la planilla eléctrica registra un ahorro anual aproximado del 50%, la inversión para el mejoramiento de la envolvente se recuperaría en un período de 13 años con las propuestas de mejoramiento 7 y 9, (6960.95 USD y 6700.51 USD) respectivamente.

Las propuestas 13, 14 y 15 cuyos precios oscilan entre 8463.75 USD a 9142.13 USD registran un período de pago de 16 a 18 años. Las propuestas más costosas como la colocación de la cubierta PIR y el cambio de carpinterías, tienen un período de amortización entre 27 a 45 años, dependiendo del área de la cubierta que se requiera renovar y el número de carpinterías; esta opción pudiera materializarse por fases, en planta baja primero y posteriormente en planta alta o viceversa.

Existe la posibilidad de acceder a créditos bancarios destinados a la construcción o renovación de viviendas como los préstamos del Banco Procredit, de origen alemán.¹¹⁵

115 “Los propietarios de casas construidas que desean remodelarlas y convertirlas en viviendas verdes, también pueden aplicar a EcoCredit. En estos casos, el equipo técnico del Banco valida la información con el

Con el ahorro de la planilla eléctrica el préstamo bancario se pagaría sin mayores inconvenientes dependiendo de la propuesta elegida y las áreas.

De acuerdo al análisis económico, y los porcentajes de disminución de las cargas solares la opción de la barrera radiante es la más conveniente y con respecto al tipo de carpinterías a elegir, desde la parte económica el rango de precios de las 3 opciones presenta diferencias entre 970 USD a 1350 USD. Queda a disposición del usuario la elección de un vidrio laminado, templado o un float de 6 mm con los colores que estén de acuerdo a sus gustos o percepción visual. El factor primordial para la elección del vidrio es un bajo SHGC y baja transmitancia solar para regular el alto porcentaje de carga solar a la que está expuesta la vivienda.

Propuesta	barrera radiante (USD)	cielo raso (USD)	cubierta aislante (USD)	carpinterías (USD)	valor total (USD)	Descripción de la mejora	Período de amortización (años) 50% ahorro de energía
Propuesta 1	1450.8	1924		6923.42	10298.223	Cielo Raso-Barrera Radiante PB y PA - carpinterías completas	20.3
Propuesta 2	1450.8	1924		7901.87	11276.668		22.2
Propuesta 3	1450.8	1924		6547.79	9922.588		19.5
Propuesta 4			14973	6923.42	21896.423	Cubierta PIR completo PB y PA -carpinterías completas	43.1
Propuesta 5			14973	7901.87	22874.868		45.0
Propuesta 6			14973	6547.79	21520.788		42.4
Propuesta 7	702	1170		5088.95	6960.954	Cielo Raso-Barrera Radiante en Planta Alta y carpinterías (V1-V3-V4-V5,M1,M2)	13.7
Propuesta 8	702	1170		5767.33	7639.333		15.0
Propuesta 9	702	1170		4828.51	6700.512		13.2
Propuesta 10			8855.00	5088.95	13943.95	Cubierta PIR en Planta Alta y carpinterías (V1-V3-V4-V5,M1,M2)	27.4
Propuesta 11			8855.00	5767.33	14622.33		28.8
Propuesta 12			8855.00	4828.51	13683.51		26.9
Propuesta 13	1450.8	1924		5088.95	8463.754	Cielo Raso-Barrera Radiante completo (V1-V3-V4-V5,M1,M2)	16.7
Propuesta 14	1450.8	1924		5767.33	9142.133		18.0
Propuesta 15	1450.8	1924		4828.51	8203.312		16.1

Tabla 78. Precio prototipos de mejoramiento y período de amortización
Elaboración propia

De acuerdo a las recomendaciones del Mtr. Pedro Pablo Silva¹¹⁶ las mejoras de la envolvente se deberían de pagar en un período no mayor de 15 años ya que la vida útil

arquitecto que diseñó la edificación y determina si la vivienda aplica a un crédito verde para remodelación. Es posible realizar adecuaciones en la estructura de la casa, reemplazar materiales tradicionales por materiales verdes, instalar paneles solares, invertir en griferías ahorradoras de agua, entre otros cambios”

Disponible en internet:

<https://ccg.ec/banco-procredit-impulsa-el-financiamiento-de-viviendas-verdes-en-ecuador/>

116 Diplomado de Eficiencia Energética y Confort Adaptativo del Proyecto CEELA dictado por la UNAM.

promedio de una edificación es de 30 años. La vida de útil de un edificio dependerá del sistema constructivo, la calidad de los materiales y el mantenimiento.

El análisis económico de las mejoras deberá ser expuesto al cliente o promotor inmobiliario comparando las opciones con una línea base correspondiente a un sistema constructivo tradicional.

En la **Tabla 79** se presenta el análisis de los costos de la cubierta de Eternit que representa la línea base comparándola con las opciones de mejoramiento planteadas de la cubierta tipo sándwich y la barrera radiante. El costo de la cubierta PIR de planta baja y planta alta es 14973 USD, se descontó el valor de la línea base 2800 USD (cubierta de Eternit) cuyo resultado es 12173 USD, ese valor se lo dividió por 552.91 USD que es el ahorro anual de acuerdo a la **Tabla 73** , resultando que esta opción se pagaría en un período de 22 años. En la otra opción se plantea la cubierta tradicional de Eternit incorporando la barrera radiante con un costo de 6140 USD, descontando el valor de la línea base da como resultado 3340 USD de la barrera radiante y el nuevo cielo raso que se pagaría en un período de 6 años.

LINEA BASE (CUBIERTA ETERNIT) USD	CUBIERTA PIR (KUBIEC) USD	CUBIERTA DE ETERNIT CON BARRERA RADIANTE Y CIELO RASO USD
2800.00	14973.00	6140.00
COSTO TOTAL USD	12173.00	3340.00
PERÍODO DE PAGO (AÑOS)	22.02	6.04

Tabla 79. Cubierta y Barrera Radiante-Análisis económico comparativo
Elaboración propia

“El proyecto “Fortaleciendo capacidades para la eficiencia energética en edificios en América Latina (CEELA, por sus siglas en inglés) busca capacitar y asesorar a profesionales del sector para promover edificaciones con eficiencia energética, confort adaptativo y pocas o cero emisiones de CO₂. A través de construcciones modelo, ofertas educativas, así como la generación e intercambio de conocimientos, se aprende, construye y transforma, para lograr la mitigación y adaptación al cambio climático”

Disponible en internet: < <https://proyectoceela.com/> >

En la **Tabla 80** se presenta el análisis comparativo de las propuestas de las carpinterías con la línea base con los siguientes costos: La línea base consta de un vidrio bronce 4 mm con perfilera de aluminio anodizado natural con un costo de 3455 USD, la opción 1 de 6932.42 USD y la opción 3 de 6547.79 USD

Se utilizó el mismo cálculo de la **Tabla 79**, con los siguientes resultados: La opción 1 se pagaría en 6.27 años, la opción 2 en 8 años y la opción 3 en 5.59 años.

OPCIONES DE CARPINTERÍAS	LÍNEA BASE USD	OPCIÓN 1 USD	OPCIÓN 2 USD	OPCIÓN 3 USD
COSTO TOTAL USD	3455.00	6923.42	7901.87	6547.79
Diferencia costo línea base y opciones de mejoramiento		3468.42	4446.87	3092.79
PERÍODO DE PAGO (AÑOS)		6.27	8.04	5.59

Tabla 80. Carpinterías- Análisis económico comparativo
Elaboración propia

7.5 Conclusiones

En el análisis de las planillas eléctricas (**Tabla 72**) los consumos de la vivienda analizada están por encima de los 130 kWh, motivo por el cual el usuario paga un impuesto para sustentar la tarifa de la dignidad, denominado en la planilla “Subsidio Solidario¹¹⁷” equivalente al 10% de su consumo. Adicionalmente los valores registrados por alumbrado público¹¹⁸ no son fijos y representan un incremento entre 5 hasta 11 dólares en comparación con la tarifa de Guayaquil. Los impuestos y servicios urbanos del cantón Daule como la comercialización de la energía, alumbrado público, bomberos y recolección de basura representan aproximadamente entre 25% al 30% del valor total de la planilla eléctrica. A mayor consumo de energía kWh el costo final aumenta considerablemente por los impuestos antes mencionados. Esta situación debería ser de conocimiento y analizada por los usuarios del sector ya que tomarían consciencia en que rehabilitar su vivienda y representaría un porcentaje importante de ahorro familiar tomando en consideración que los precios de energía no son estáticos y se incrementan de acuerdo a las políticas energéticas de cada país.

Las opciones de mejoramiento presentadas disminuyeron la carga térmica entre el 56% y el 58%. Con esos porcentajes se realizó una proyección de ahorro en el consumo de electricidad del 50% y se estimó un ahorro anual aproximado de 552.91 USD. Esos valores representan la base para el pago a futuro de las mejoras de la envolvente.

Con respecto a las carpinterías a pesar que las simulaciones fueron realizadas con el vidrio Pilkington Ever Green, en este capítulo se tomó la decisión de incluir el vidrio bronce laminado de Fairis para tener más opciones para la comparación de costos. La opción 1

117 Revisar la introducción de este documento “Políticas públicas sobre eficiencia energética- Marco jurídico ecuatoriano” Tarifa de la Dignidad, pág. 27

118 “El cálculo del alumbrado público se realiza en base a las potencias de las luminarias instaladas y el tipo de las mismas, se considera 12h de uso y 365 días al año, más un factor de pérdidas en el balastro que depende del tipo de lámparas y se divide para 12 para calcular el consumo del mes.

El valor facturado a los clientes por este concepto es de acuerdo a la ordenanza municipal que se aplicaba anteriormente cuando este rubro pertenecía al Municipio de cada región por el año 2012.

“El cálculo de los valores facturados a los clientes es en base a la escala de kWh consumidos y se aplica el pliego tarifario en sus diferentes rangos de consumos.”

Información proporcionada por Ing. Rafael Hidalgo Superintendente de Servicios al Cliente y Facturación/ Dirección Comercial Empresa Eléctrica Pública Estratégica CNEL EP del año 2018.

(Vidrio laminado bronce Fairis 4 mm) duplica el valor de la línea base, la opción 2 (Vidrio templado Pilkington Eclipse Advantage Ever Green) es 128.71% más costosa y la opción 3 (Vidrio float Pilkington Eclipse Advantage Ever Green) es un 90% más cara que la línea base. En resumen, el mejoramiento de las carpinterías requiere una inversión entre 6547 USD la opción más económica, el valor intermedio es de 6923 USD y la opción más costosa es de 7901 USD.

Con respecto a los costos de la cubierta, la opción PIR tipo sándwich tiene un alto costo lo que la convierte en una opción difícil de implementar en este tipo viviendas ya que requiere una inversión de 14973 USD en planta baja y planta alta. Adicionalmente en este año 2022 los precios internacionales del hierro se han incrementado aproximadamente en un 30% encareciendo los productos que tienen componentes de este material.

La barrera radiante es una opción más asequible y fácil de implementar, sin embargo, conlleva al desmontaje del cielo raso y la colocación de una estructura adicional suspendida en la cámara de aire para su colocación. La implementación de la barrera radiante en planta baja y planta alta requiere de una inversión de 3340 USD. También se elaboró un cálculo adicional considerando la colocación de la cubierta de Eternit y la barrera radiante con un costo aproximado de 6140 USD.

En la **Tabla 78** se elaboraron una serie de combinaciones considerando los metros cuadrados de cubierta y barrera radiante (obviando la planta baja) y cantidad de carpinterías de acuerdo a las necesidades y prioridades del cliente. Queda a decisión del propietario que área desea rehabilitar de acuerdo al horario de ocupación; esta condicionante es determinante en la cantidad de horas de confort ya que si es ocupado en las tardes estará por fuera de la zona de confort a diferencia si se lo ocupa al final de la tarde o noche cuando la temperatura exterior disminuye aumentando las horas de confort.

El ahorro previsto está proyectado en un escenario con un 100% de las mejoras realizadas correspondientes a las propuestas 1, 2, 3, 4, 5 y 6 (**Tabla 78**) las dos opciones para el mejoramiento térmico de la cubierta y los 3 tipos de carpinterías. La renovación total con cubierta PIR presenta un período de pago entre 42 a 45 años por encima del valor de la vida útil promedio de una edificación. La renovación total con la barrera radiante y los 3

tipos de carpinterías se pagaría en un período de 19 a 22 años, 8 años menos que la vida útil de la vivienda.

De acuerdo a los largos períodos de pago se implementaron otras opciones de renovación parcial considerando la cubierta de planta alta y las carpinterías en las zonas más expuestas al sol. Considerando las combinaciones realizadas y priorizando la cantidad de carpinterías se realizaron las propuestas 13, 14 y 15 con la utilización de barrera radiante en la planta baja y planta alta en conjunto con las carpinterías más afectadas por el sol. Se descartaron las ventanas de la fachada Este para bajar los costos, sin embargo, las palmeras y los aleros sirven de protección solar para estas aberturas. La propuesta 13 requiere de una inversión de 8463.75 USD que se pagaría 16.7 años¹¹⁹, la propuesta 14 con un costo de 9142.13 se puede amortizar a 18 años y la propuesta 15 con un costo de 8203.31 USD se pagaría en un período de 16 años.

Este análisis económico presenta un escenario con un alto costo para realizar la rehabilitación de una vivienda construida en el año 2004 con 18 años de antigüedad y con una ampliación en la planta baja en el año 2018. Al considerar la propuesta 15 esta se pagaría cuando la vivienda tenga 34 años de construida, es decir terminando el promedio de vida útil de la edificación.

Conforme a los análisis realizados la opción de financiamiento más factible es que las promotoras inmobiliarias desde el inicio incorporen en sus proyectos envolventes eficientes que disminuyan la carga térmica y facilidades de financiamiento a largo plazo (20 a 30 años) de acuerdo a las conveniencias de cada usuario.

De acuerdo a los costos analizados y tomando como referencia la línea base compuesta por los materiales tradicionales que utilizan las promotoras inmobiliarias tales como la cubierta de Eternit y las carpinterías con vidrio bronce 4 mm, los valores de las mejoras de la envolvente se restan de la línea base. De acuerdo a este ejercicio los valores calculados son los siguientes:

119 Se ha considerado el porcentaje de ahorro del 50% en la planilla eléctrica para establecer el rango del período de pago.

Alternativa 1	Cubierta PIR	12173 USD	Carpinterías opción 3	3092.79 USD	Total	15265 USD
Alternativa 2	Barrera radiante	1450.8 USD	Carpinterías opción 3	3092.79 USD	Total	4543.59 USD

Tabla 81. Costo total de mejoras en costo final de la vivienda

En la **Tabla 81** se presenta un resumen de los costos con la implementación de dos alternativas considerando la cubierta PIR y la barrera radiante para techos y cielo raso en combinación con las carpinterías opción 3 por su menor costo en comparación con las otras opciones. La alternativa 1 representa un incremento en el precio final de la vivienda de 15625 USD y la alternativa 2 el costo final de la vivienda se incrementaría en 4543.59 USD, siendo la alternativa 2 la más económica por el bajo costo de la barrera radiante y cielo raso a diferencia de la cubierta PIR.

Se propone la necesidad de realizar nuevas investigaciones de cómo hacer viable una línea de financiamiento con el valor del incremento de la mejora de la envolvente en viviendas existentes y la revisión de casos de éxito en Latinoamérica.

8 CONCLUSIONES Y REFLEXIONES FINALES

Objetivo 1: Evaluar las condiciones de confort térmico y el comportamiento energético de la vivienda.

El objetivo no.1 se cumplió en el Capítulo 4 mediante la elaboración de dos estudios de campo, el primero en enero del 2016 (16 de enero hasta el 24 de enero) de acuerdo al diseño arquitectónico original de la vivienda y en marzo del 2018 (14 de marzo al 31 de marzo) y con la ampliación de la planta baja

Las temperaturas registradas en el primer período de medición superaron la temperatura exterior en la planta baja y planta alta (**Tabla 42**). La temperatura media de los ambientes de planta baja fue entre 27.6°C a 29.7°C, y las temperaturas máximas entre 30°C a 31.8°C. En la planta alta las temperaturas medias registradas fueron entre 25.5°C hasta 29.5 y las temperaturas máximas entre 30.4°C y 34.3°C. Se registraron temperaturas bajas entre 19.8°C hasta los 24°C por el uso del aire acondicionado en el dormitorio 2 y dormitorio principal.

En el estudio de campo del año 2018 (**Tabla 46**) la temperatura media de los ambientes de planta baja fue entre 26.7°C a 29.7°C, las temperaturas máximas entre 30°C a 33°C. En la planta alta las temperaturas medias registradas fueron entre 27°C hasta 32°C y las temperaturas máximas entre 30.4°C y 36 °C. Se registraron temperaturas bajas entre 15.80°C hasta los 23.30°C por el uso del aire acondicionado en el dormitorio 2 y dormitorio principal. En este período de medición se registraron mayor cantidad de horas con temperaturas que sobrepasaron los 30°C en los dormitorios de planta alta. Con respecto al uso del aire acondicionado se registraron temperaturas muy bajas con respecto a las mediciones del 2016.

Los resultados de los estudios de campo indicaron que la vivienda es susceptible a los altos índices de radiación solar en horas de la tarde y en la noche la temperatura interior disminuye paulatinamente.

Posteriormente los datos de las mediciones fueron incorporados en la hoja de cálculo PsicMouseion versión 1.3 en donde se visualiza el diagrama de Givoni con sus estrategias bioclimáticas y se incorporó manualmente el rango de confort adaptativo previamente calculado mediante el análisis climático. (

Figura 60 y Figura 66)

Con esta herramienta se verificó que un gran porcentaje de mediciones se quedan fuera del rango de confort adaptativo. Sin embargo, el rango de ventilación cruzada de Givoni es más amplio que el límite máximo del confort adaptativo cuando la HR está entre el 60 y 70% y algunas mediciones se encuentran dentro de este rango aplicando la estrategia de ventilación cruzada.

Con respecto al comportamiento energético de la vivienda se cumplió en el Capítulo 6, mediante la elaboración de dos balances térmicos. El primer balance fue anual en estado pasivo en el cual se verificaron los porcentajes de ganancias y pérdidas de calor. Se comprobó que las ganancias solares por el acristalamiento le corresponden una carga térmica del 22% y la ganancia por la cubierta un 13%. El segundo balance corresponde al período de estudio de campo (19 de marzo al 25 de marzo) y corrobora que la mayor ganancia de calor son las ganancias solares y por cubiertas.

El resultado de los balances térmico nos permitió identificar los componentes de la vivienda a mejorar por sus altos valores de transmitancia térmica como la cubierta de Eternit y el vidrio bronce simple de 4 mm.

Objetivo 2: Realizar propuestas de mejoramiento de la envolvente térmica.

De acuerdo a los resultados de los balances térmicos, el mejoramiento se orientó en la cubierta y en las carpinterías. El Objetivo 2 se cumplió en el Capítulo 6 con la elaboración de 3 propuestas de mejoramiento de la envolvente. El prototipo M1 (Cubierta Ktérmico PIR tipo sándwich y vidrio Pilkington Ever Green), M2 (barrera radiante en cámara de aire y vidrio Pilkington Ever Green) y el prototipo M3 (cubierta Ktérmico PIR tipo sándwich con muro exterior aislado con un panel de EPS 3 cm con tablero eterboard y vidrio Pilkington Ever Green). El prototipo M3 se lo realizó como ejercicio de acuerdo a los lineamientos de la Norma NEC para espacios climatizados (**Tabla 8**) para verificar su comportamiento de manera pasiva.

Se realizaron los análisis de las ganancias y pérdidas de calor de los 3 prototipos (**Figura 132**) siendo el M3 un 2% más eficiente con respecto al M1 y M2; sin embargo, debido al

bajo porcentaje de mejoramiento y por el costo adicional de la aislación de las paredes, esta opción fue descartada del análisis económico del Capítulo 7.

Objetivo 3: Estudiar el costo de intervención en la envolvente de la vivienda y su período de amortización.

En el Capítulo 7, en la **Tabla 78** se elaboraron una serie de combinaciones y las que tienen los precios más convenientes y un menor período de pago fueron las propuestas 13, 14 y 15. La propuesta 13 requiere de una inversión de 8463.75 USD que se pagaría en 17 años, la propuesta 14 tiene un costo de 9142.13 que se puede amortizar a 18 años y la propuesta 15 que tiene un costo de 8203.31 USD se pagaría en un período de 16 años.

De igual manera se hace una reflexión de los altos costos que representa intervenir en la envolvente de la vivienda, llegando a la conclusión que las promotoras inmobiliarias deben de cumplir la Norma de Eficiencia Energética vigente considerando los costos de cubiertas y vidrios con baja transmitancia térmica, y que las entidades bancarias otorguen largos periodos de financiamiento con facilidades de pago. De esta manera el cliente realiza un solo gasto al principio de la vida útil del inmueble.

Con respecto a los costos que manejan los proyectos inmobiliarios se llegó a la conclusión de que sería buen tema para una nueva investigación de cómo hacer viable una línea de financiamiento con el valor del incremento de la mejora de la envolvente y revisar casos de éxito en Latinoamérica. Estos proyectos al no ser vivienda social y al no tener ordenanza vigente no existe ninguna autoridad estatal que fiscalice los materiales utilizados en techos y ventanas. La única alternativa es que la Norma NEC de Eficiencia Energética sea obligatoria para establecer un control de calidad en la construcción de este tipo viviendas que tienen un precio aproximado de 900 USD por m².

Hipótesis 1: Las viviendas comercializadas de los planes habitacionales del conurbano de Guayaquil no cumplen con los niveles de confort higrotérmico.

La Hipótesis 1 fue verificada mediante los dos estudios de campo realizados en enero del 2016 y en marzo del 2018 y mediante las simulaciones térmicas con el modelo en condiciones reales de uso del Capítulo 4. En el Capítulo 6 se realizó un análisis de confort adaptativo anual desactivando la opción de aire acondicionado de acuerdo a los lineamientos de ASHRAE 55. Se realizaron dos tipos de análisis, el primero considerando los horarios que registran ocupación de personas y el segundo considerando todos los períodos.

El primer análisis presentado en la **Tabla 53** indica que los ambientes más expuestos al sol y que son utilizados por las tardes tienen un 40% a 52% de horas de confort (comedor y sala de tv), mientras que los espacios más resguardados de la radiación tienen mayores horas de confort como el caso de la cocina con el 67% de horas de confort. Las habitaciones de la planta alta son ocupadas por las noches motivo por el cual registran valores entre 63% hasta el 74%. Si se realiza una nueva simulación con un horario con una ocupación en las mañanas y horas de la tarde probablemente los porcentajes de confort disminuirían.

Las altas transmitancias térmicas de la cubierta, de los vidrios, la orientación y la ganancia solar a la que está expuesta la vivienda es determinante en las altas temperaturas interiores. Es indiscutible que en los días soleados la vivienda presenta temperaturas mayores que la temperatura exterior, sin embargo, en los días nublados las temperaturas operativas están dentro del rango de confort adaptativo. En horas de la tarde en días con altos índices de radiación solar aún con las mejoras realizadas en los prototipos no es posible alcanzar el rango de confort adaptativo.

En resumen, las viviendas con mejoras en la envolvente no van a llegar al 100% de horas de confort en los días con altos índices de radiación, sin embargo, en la planta baja los ambientes más afectados orientados al oeste como el comedor y la sala de TV la temperatura operativa disminuye entre 2.50°C a 3.66°C. En los ambientes de planta alta la temperatura operativa disminuye entre 2.00°C hasta 2.60°C.

En la **Figura 140** se presenta el diagrama de Givoni con el rango de confort adaptativo con las temperaturas interiores del prototipo M2. Se observa aún varias temperaturas están fuera de los rangos de confort a pesar de las mejoras realizadas.

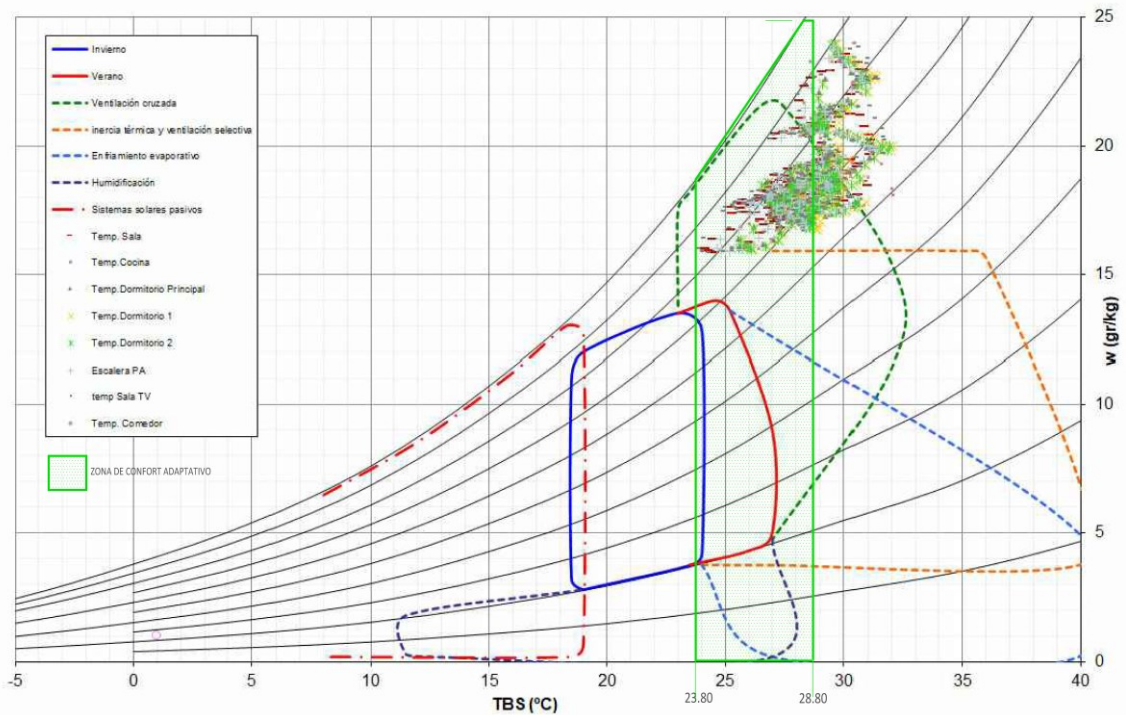


Figura 140. Diagrama de Givoni y Rango de Confort Adaptativo de prototipo M2
Período 19 de marzo al 25 de marzo.

Hipótesis 2: *El sector residencial destina un porcentaje importante de la energía consumida al acondicionamiento térmico interior.*

De acuerdo a la bibliografía consultada en primera instancia se hizo referencia al trabajo de trabajo de investigación “Promoción de Eficiencia Energética y Uso de Energía Solar en Vivienda del Ecuador”, de autoría de John Martin Evans y Silvia de Schiller (2013), en el cual se realizó una evaluación de la demanda de energía en la vivienda de mayor poder adquisitivo y de limitados recursos económicos. La investigación concluye que las viviendas del clima cálido-húmedo en sectores con limitados recursos económicos tendrán una limitada adquisición de equipos de aire acondicionado con el aumento en el uso de duchas eléctricas, neveras y otros artefactos eléctricos y las viviendas con mayor poder adquisitivo

aumentarán el uso de equipos tipo Split, calentadores de agua eléctricos y demás electrodomésticos.

Sin embargo, en el año 2021 el Instituto de investigación Geológico y Energético (Godoy, Vallejo y Martínez, 2021) realizaron una investigación en el Complejo Habitacional de Socio Vivienda en Guayaquil sobre el confort térmico utilizando el método del Voto Medio Previsto (PMV) y se realizaron simulaciones energéticas con Phase Change Materials (PCMs) para climas cálidos y húmedos. Se analizaron los consumos de electricidad y el aumento de la demanda eléctrica período (2013-2018). Se observó una tendencia creciente en cada año en el consumo de energía eléctrica y un aumento en la correlación entre el consumo de energía y la temperatura con el aumento de las instalaciones de equipos de A/C por las condiciones desfavorables de confort. Esta nueva investigación verifica que el aumento de energía por el uso de equipos de aire acondicionado está presente también en la vivienda social.

Con respecto al caso de estudio se realizó un análisis de consumo detallado de electricidad con la revisión diaria del medidor de luz. Se registró un consumo semanal de 196 kWh y de forma manual se realizó un cálculo de la energía eléctrica por cada rubro con un valor aproximado de 189.29 kWh, la energía utilizada en el aire acondicionado representa el 64% del total.

La incongruencia en los valores medidos y calculados manualmente del consumo semanal kWh se verificaron con el consumo total del mes de marzo equivalente de 773 kWh que indica la planilla eléctrica.

- $196 \text{ kWh} \times 4 \text{ semanas} = 784 \text{ kWh}$
- $189.29 \text{ kWh} \times 4 \text{ semanas} = 757.16 \text{ kWh}$

Los dos resultados son aproximados al consumo de la planilla eléctrica (**Figura 69**) y se verifica que la vivienda tiene altos consumo de energía especialmente en diciembre, enero, marzo y abril con valores que sobrepasan los 400 kWh hasta 804 kWh. De acuerdo a este rango de valores la vivienda pertenece a un segmento social medio (consumo entre 201 a 500 kWh) y medio alto (consumo 501 a 1000 kWh). (**Figura 23**).

En el **Anexo V** se presentan los consumos de electricidad de 112 viviendas de la urbanización en la que emplaza el caso de estudio, con un promedio anual de 412.38 kWh.

Hipótesis 3: La rehabilitación energética con la tecnología disponible en la región permitiría mejorar las condiciones ambientales interiores y reducir el consumo de energía.

La hipótesis se comprobó mediante los balances térmicos realizados, en primera instancia de la vivienda original y con los prototipos de mejoramiento. Las cargas de refrigeración disminuyeron y los porcentajes de mejoramiento fueron entre el 56% al 58%.

Con respecto a las horas de confort se verificó su incremento en los ambientes de planta baja y planta alta. En la planta baja el Escenario 1 los ambientes más calurosos como la sala de tv y comedor registran un 57% de horas de confort, estos valores se incrementan hasta un 72% considerando el prototipo M2. Con respecto a la planta alta en el Escenario 1 los dormitorios registraron entre un 50% a 54% de horas confort incrementándose entre 73% en los dormitorios 1 y 2, y un 76% en el dormitorio principal.

El aumento de las horas de confort con la rehabilitación de la envolvente genera un escenario favorable para la disminución del consumo de energía que finalmente dependerá de cada usuario de acuerdo a sus necesidades y expectativas de confort.

BIBLIOGRAFÍA

- Auliciems, A., & Szokolay, S. (2007). Thermal Comfort, Note 3. In *PLEA Notes* (2nd ed.).
- Alcívar Macías, S., Morales Cobos, S., & Forero Fuentes, B. (2018). Análisis funcional de la vivienda de interés social: El Recreo, cantón Durán 2017. *Revista Conrado*, 14(61), 99-104. Recuperado de <http://conrado.ucf.edu.cu/index.php/conrado>
- Balaras, C., Drousta, K., Dascalaki, E., & Kontoyannidis, S. (2005). Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings. *Energy and Building*, 37, 329–442.
- Barajas, L. F. C. (2004). Urbanizaciones cerradas en Latinoamérica. *Ería: Revista cuatrimestral de geografía*, (63), 53-57.
- B. Givoni, Performance and applicability of passive and low-energy cooling systems, *Energy and Buildings*, Volume 17, Issue 3, 1991, Pages 177-199, ISSN 0378-7788, [https://doi.org/10.1016/0378-7788\(91\)90106-D](https://doi.org/10.1016/0378-7788(91)90106-D).
- Barriga Medina, H. (2016). Análisis del Balance Energético del Ecuador a través de Dinámica de Sistemas. *Compendium: Cuadernos De Economía y Administración*, 2(4), 61-78. <http://www.revistas.espol.edu.ec/index.php/compendium/article/view/76>
- Binda, A., & Lesino, G. (1987). Simulación computacional del comportamiento térmico de edificios para verano. *Actas de la XII Reunión de Trabajo de ASADES, II*, 289-296.
- Cadena Félix. Chalen Ramos Mónica, Pazmiño Marcela, Mendoza Oscar “Los Determinantes de la Demanda de Vivienda en las ciudades de Guayaquil, Quito y Cuenca: Un Análisis Multinomial” Facultad de Economía y Negocios Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)
- Carlsson-Kanyama, C., Engström, R., & Kok, R. (2005). Indirect and direct energy requirements of city households in Sweden. *Journal of Industrial Ecology*, 9, 221–235.
- Casermeiro, M., & Saravia, L. (1984). Cálculo térmico horario de edificio solares pasivos. *Actas de la IX Reunión de Trabajo de ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar)*, 39-45.

Castillo Quimis, E. L., Mite Pezo, J. A., & Pérez Arévalo, J. J. (2019). Influencia de los materiales de la envolvente en el confort térmico de las viviendas. Programa Mucho Lote II, Guayaquil. *Universidad y Sociedad*, 11(4), 303-309. Recuperado de <http://rus.ucf.edu.cu/index.php/rus>

Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) “Plan Maestro de Electrificación, 2007-2016”

Czaikowski Jorge, Gómez Analía. Cuadernos de Arquitectura Sustentable. 1ª edición. Argentina: Dunken.2011. 255p. ISBN 978-950-34-0800-1

De Dear, R., Brager, G., & Cooper, D. (1997). *Developing an adaptive model of thermal comfort and preference*. Macquarie University.

De Dear, R. y Brager, GS (1998). Desarrollo de un modelo adaptativo de confort térmico y preferencia.

Design Builder, manual en español <https://www.designbuilder-lat.com/>

Evans Martin, Schiller Silvia. Diseño Bioambiental y Arquitectura Solar.3ª edición, Serie Ediciones Previas. Ediciones FADU, Universidad de Buenos Aires.1994. 193p. ISBN 950-29-0037-5

Evans John Martin, Schiller Silvia. “Promoción de Eficiencia Energética y Uso de Energía Solar en vivienda del Ecuador. INER-Primer Congreso Internacional de Expo Científica-Investigación Sostenible Energías Renovables y Eficiencia Energética”

Evans John Martin “Confort Térmico: Zonificación Bioclimáticas y Tecnología”

Fabi, V., Andersen, R. V., Corgnati, S., & Olesen, B. W. (2012). Occupants' window opening behaviour: A literature review of factors influencing occupant behaviour and models. *Building and Environment*, 58, 188–198.

Filippín Celina, (2005). *Uso Eficiente de la Energía en Edificios.- 1° ed. La Pampa: Amerindia, 2005*

Forero, B. (2015). Mejoramiento de las condiciones térmicas de las viviendas del complejo habitacional Socio Vivienda II Etapa I, en la ciudad de Guayaquil, Ecuador [Tesis de Maestría, Universidad de Colima]. DOI: 10.13140/RG.2.2.25729.58729.

Flores Larsen, S., & Lesino, G. (2001). A new code for the hour-by-hour thermal behavior simulation of buildings. Lesino. *Seventh International IBPSA Conference On Building Simulation*, (pp. 75-82). Río de Janeiro, Brasil.

Flores Larsen, S., Hernández, A., Lesino, G., & Salvo, N. (2001). Measurement and simulation of the thermal behavior of a massive building with passive solar conditioning. *Actas del VII International Building Simulation Congress*.

Godoy-Vaca, L.; Vallejo- Coral, E.C.; Martínez-Gómez, J.;Orozco, M.; Villacreses, G. Predicted Medium Vote Thermal Comfort Analysis Applying Energy Simulations with Phase Change Materials for Very Hot-Humid Climates in Social Housing in Ecuador. *Sustainability* **2021**, 13, 1257. <https://doi.org/10.3390/su13031257>

Gómez-Azpeitia, G., Bojórquez Morales, G., & Ruiz Torres, R. P. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. *Palapa*, 2(1), 45-57.

Gonzalo Guillermo Enrique. Viviana María Nota. Manual de Arquitectura Bioclimática. 2ª edición. Tucumán. 2003. 489p

Goldemberg, J. (2001). Evaluación energética mundial. La energía y el reto de la sostenibilidad.

Hernández, A., Flores Larsen, S., Salvo, N., & Lesino, G. (1999). Simulación no estacionaria mediante SIMEDIF del ala oeste del edificio de Agronomía de la Universidad Nacional de La Pampa. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 3(2), 08.113-08.116.

Humphreys, M. A. (1981). The dependence of comfortable temperatures upon indoor and outdoor climates. In *Studies in environmental science* (Vol. 10, pp. 229-250). Elsevier.

Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables <http://www.iner.gob.ec/>

Macias, J., Soriano, G., Sánchez, H., & Canchingre, Y. (2015). Assessment of solar reflectance of roofing assemblies of dwellings in Guayaquil, Ecuador. *WIT Transaction on Ecology and The Environment*, 195, 307-315.

Mercon Guimaraes Mariana “Confort Térmico y Tipología Arquitectónica en Clima Cálido Húmedo” Análisis térmico de la cubierta ventilada” Tesina, Universidad Politécnica de Catalunya, Master Oficial Arquitectura y Medio Ambiente.

Mesa, N. A., Arboit, M. E., & de Rosa, C. (2009). Modelos de cálculo de los rangos del confort térmico: verificación de su aplicabilidad y la incidencia de las variables determinantes.

Ministerio de Electricidad y Energías Renovables <http://www.energia.gob.ec/>

Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos “Balance Energético Nacional 2013, año base 2012”

Moreno, R. (2007). “Análisis del efecto de la actividad de los usuarios en el desempeño térmico de dos casas de interés social en Tecomán, Colima”. Tesis de Doctorado en Arquitectura. Universidad de Colima, México.

Nawawi, A. H., & Khalil, N. (2008). Post-occupancy evaluation correlated with building occupants' satisfaction: An approach to performance evaluation of government and public buildings. *Journal of Building Appraisal*, 4, 59–69.

Norma Ecuatoriana de la Construcción capítulo Eficiencia Energética en la Construcción en Ecuador.

Normas IRAM_11601 “Aislamiento térmico de edificios”

Normas IRAM 11605 “Acondicionamiento Térmico en Edificios” Condiciones de Habitabilidad en Edificios, Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos.

Normas IRAM 11659-2 “Verificación de las condiciones higrotérmicas, ahorro de energía en refrigeración”

Omer, A. (2009). Energy efficiency, climate change, buildings and the need for development in renewable energy use. In *Buildings and the environment* (pp. 91-132). New York: Nova science publishers.

Olgyay, V, *Clima y Arquitectura en Colombia*, Cali, Universidad del Valle, 1968,

Plan Cantonal de Desarrollo & Plan de Ordenamiento Territorial 2012-2022 Cantón Samborondón-Provincia del Guayas.

Plan Cantonal de Desarrollo & Plan de Ordenamiento Territorial del Cantón Daule 2015-2025

Pérez-Lombard, L., Ortiz, J., & Pout, C. (2008). A review on buildings energy consumption information. *Energy and building*, 40, 394-398.

Rodríguez, C.M.; Medina, J.M.; Pinzón, A.; García, A. (2019). A post-occupancy strategy to improve thermal comfort in social housing in a tropical highland climate: A case study in Bogotá, Colombia. *Informes de la Construcción*, 71(555): e305. <https://doi.org/10.3989/ic.61006>.

Saidur, R., Masjuki, H., & Jamaluddin, M. (2007). An application of energy and exergy analysis in residential sector of Malaysia. *Energy Policy*, 35(2), 1050–1063.

Salvetti, M. B., Czajkowski, J. D., & Gomez, A. F. (2013). Indicators of energy efficiency in buildings. Comparison with standards in force in Argentina. *Open Journal of Energy Efficiency*, 2, 163 - 170.

Toala Zambrano, L. A., Cobeña Loor, W. D., Vinuesa Mendoza, G., & Quimis Chávez, J. E. (2022). Confort higrotérmico en proyectos de viviendas unifamiliares en la ciudad de Portoviejo. *Revista InGenio*, 5(1), 43–55. <https://doi.org/10.18779/ingenio.v5i1.475>

Yildiz A, G. G. (2008). Economical-environmental analyses of thermal insulation thickness in buildings. *Thermal Sci Technology*, 28(2), 25-34.

Verdezoto, T. C. A. (2013). *Desarrollo urbano y negocio inmobiliario privado* (Doctoral dissertation, Pontificia Universidad Católica de Chile).

ANEXO I

El Ministerio de Electricidad y Energía Renovable ha gestionado, trabajado y participado con diversas instituciones como el INEN y COMEX para promover el uso de equipos eficientes.

Se ha obtenido las siguientes normativas obligatorias:

- Reglamento RTE INEN 036 “Eficiencia energética. Lámparas fluorescentes compactas. Rangos de desempeño energético y etiquetado que además regula las importaciones de tal forma que solo se permite la comercialización de lámparas fluorescentes compactas (focos ahorradores) etiquetados con los rangos de desempeño energético A y B.
- RTE INEN 035” Eficiencia energética en artefactos de refrigeración de uso doméstico. Reporte de consumo de energía, métodos de prueba y etiquetado” y sus modificatorias en la que se estableció que a partir de marzo de 2011 se permite únicamente la comercialización de aparatos de refrigeración de rango energético A.
- RTE INEN 072 “Eficiencia Energética para acondicionadores de aire sin ducto”, mismo que entró en vigencia desde el 29 de mayo de 2013.
- RTE INEN 094 “Eficiencia energética de bombas y conjunto motor-bomba, para bombeo de agua limpia, en potencias de 0,187 kW a 0,746 kW y etiquetado”
- RTE INEN 101 “Aparatos electrodomésticos para cocción para inducción”
- RTE INEN 109 “Eficiencia térmica de calentadores de agua a gas”
- RTE INEN 110 “Calentadores de agua eléctricos de acumulación”
- RTE INEN 111 “Eficiencia Energética. Máquinas secadoras de ropa. Etiquetado”
- RTE INEN 112 “Eficiencia energética para ventiladores, con motor eléctrico incorporado de potencia inferior o igual a 125 W”.
- RTE INEN 117 “Eficiencia Energética en Televisiones. Reporte de Consumo de Energía, Método de Ensayo y Etiquetado”
- RTE INEN 122 “Eficiencia energética en hornos eléctricos. Reporte de consumo de energía y etiquetado”
- RTE INEN 123 “Eficiencia energética para hornos microondas”
- RTE INEN 124 “Eficiencia energética y etiquetado de máquinas lavadora-secadora de ropa”
- RTE INEN 133 “Lavavajillas. Eficiencia energética y Etiquetado”
- PRTE INEN 138 “Eficiencia energética para ventiladores de motor de potencia eléctrica de entrada”
- PRTE INEN 141 “Requisitos de seguridad y eficiencia energética para transformadores de distribución.”

También existen normas técnicas ecuatorianas voluntarias de eficiencia energética tales como:

- NTE INEN 2498 “Eficiencia Energética en motores eléctrico estacionarios”
- NTE INEN 2506 “Eficiencia Energética en Edificaciones”
- NTE INEN 2507 “Rendimiento térmico de colectores solares en sistemas de calentamiento de agua para uso sanitario. Requisitos”
- NTE INEN 2511 “Eficiencia energética en cámaras de refrigeración instaladas en vehículos automotores. Requisitos”
- NTE INEN 2567 “Eficiencia Energética en cocinas de inducción de uso doméstico. Requisitos”
- NTE INEN 2 495:2009 “Eficiencia Energética para acondicionadores de aire de uso doméstico. Requisitos”
- NTE INEN 2555 “Seguridad en cocinas de inducción”
- NTE INEN 13790 “Eficiencia energética de los edificios. cálculo del consumo de energía para calefacción y refrigeración de espacios” (ISO 13790:2008, IDT)”
- NTE INEN 13791 “Comportamiento térmico de los edificios. cálculo de las temperaturas interiores de un local sin refrigeración mecánica en verano. criterios generales y procedimientos de validación” (ISO13791:2012, IDT)
- NTE INEN 13792 “Comportamiento térmico de los edificios. cálculo de las temperaturas interiores de un local sin refrigeración mecánica en verano. métodos simplificados” (ISO 13792:2012, IDT)
- NTE INEN-ISO 25745-1 “Eficiencia energética de los ascensores, escaleras mecánicas y andenes móviles. parte 1: medición de la energía y verificación” (ISO 25745-1:2012, IDT)
- NTE INEN-ISO 23045 “Diseño del entorno de edificaciones - directrices para evaluar la eficiencia energética de nuevas edificaciones” (ISO 23045:2008, IDT)

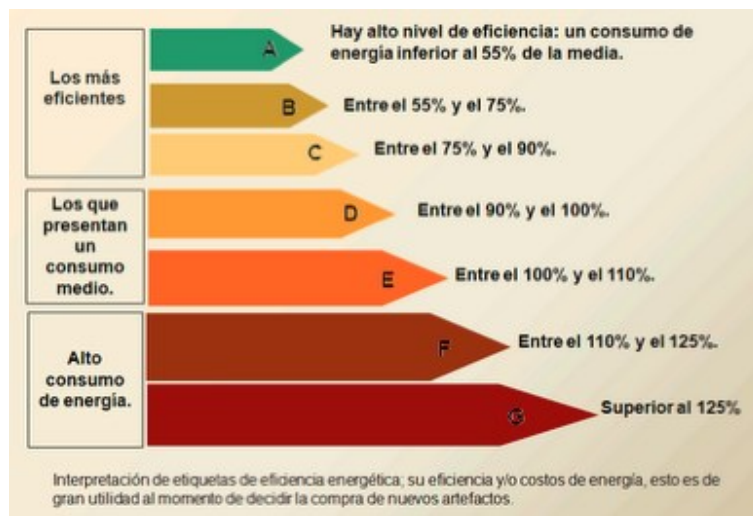
Junto con el COMEX se ha gestionado las siguientes resoluciones:

- Resolución COMEXI 505: Se emitió dictamen favorable para el diferimiento arancelario (0% advalorem) de lámparas compactas fluorescentes compactas (focos ahorradores) de rango A (alta eficiencia) así como para tubos fluorescentes T5 y T8 de mayor eficiencia.
- Resolución COMEXI 529: Se prohíbe las importaciones de focos incandescentes entre 25 y 100W de uso residencial a partir de enero de 2010.
- Resolución COMEXI 595: Incluye a los artefactos de refrigeración en la Resolución 450 del COMEXI que contiene a la nómina de productos sujetos a controles previo la importación.

- Resolución COMEX 076: Restringe la importación de equipos acondicionadores de aire de rango B, C, D E, F y G.

En el marco del proyecto Eficiencia Energética en la Industria ejecutado por el MEER con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) a través de la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONU DI), se adoptó la norma ISO 50001, como NTE INEN ISO 50001 “Sistemas de Gestión de Energía. Requisitos con orientación para su uso”.

Como leer una etiqueta de eficiencia energética



ANEXO II

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR PÚBLICO ¹²⁰

Las entidades y organismos de la Administración Pública Central deben implementar tecnologías de eficiencia energética, así como programas de capacitación sobre uso racional de la energía dirigidos a todos sus funcionarios.

Esta es una disposición dada por el Gobierno Nacional, mediante el Decreto Ejecutivo No.1681 que fue firmado por el presidente de la República, Rafael Correa.

El Decreto señala que todas las instituciones gubernamentales deben conformar un Comité de Eficiencia Energética que asumirá la labor de implementar medidas de ahorro energético, en coordinación con la Dirección de Eficiencia Energética del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER).

Igualmente, en el año 2007, se realizaron estudios de diagnósticos energéticos en edificios públicos de la ciudad de Quito a fin de determinar los usos de la energía principalmente eléctrica, Identificar los centros de costos, crear una cultura de ahorro y uso eficiente de la energía. Como consecuencia del estudio, se elaboró una propuesta de contenidos y prácticas replicables a nivel nacional.

Hoy en día, el uso eficiente de la energía se plantea como una necesidad global para solucionar los problemas del clima y la contaminación medioambiental, en este escenario al alumbrado público se lo considera un nicho importante para aplicar acciones de gestión energética debido a la homogeneidad del sector.

En el Ecuador el alumbrado supone un 6% del consumo eléctrico nacional y se lo ha categorizado conforme la siguiente tipología: Alumbrado Público General (Iluminación de vías), Alumbrado Público Ornamental (Iluminación de parques, plazas, iglesias, monumentos) y Alumbrado Público Intervenido; las cuales se detallan en la Regulación No. CONELEC 008/11, la misma que especifica las condiciones técnicas, económicas y financieras que permite a las distribuidoras de energía eléctrica prestar el servicio de alumbrado público general con calidad, eficiencia y precio justo.

El MEER, a través de su rectoría, busca que los sistemas de alumbrado cuenten con criterios de eficiencia energética desde la fase de diseño, ya que es desde allí donde se debe seleccionar los equipos idóneos para cada aplicación a más de cuantificar los costos de

120 Disponible en internet < <https://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-en-el-sector-publico/>>

operación y mantenimiento durante la vida útil del sistema. Se considera que la instalación más eficiente es aquella en la que se conjuga la eficiencia de las lámparas y equipos auxiliares a más de una gestión de la operación y mantenimiento para garantizar la seguridad vial, de los peatones y las propiedades.

El MEER ejecuto el proyecto “Alumbrado Público Eficiente”, el mismo que consiste en la sustitución de 61 610 luminarias de vapor de mercurio de 175 W de potencia por luminarias de vapor de sodio de 100 W de potencia en el área de concesión de la CNEL, con la finalidad de disminuir el consumo de energía eléctrica en el alumbrado público en aproximadamente 20 GWh/año.

REGIONAL DE CNEL	CANTIDAD
MILAGRO	2 216
LOS RÍOS (BABAHOYO)	5 182
SANTA ELENA	7 000
SUCUMBÍOS	3 955
MANABÍ	14 000
GUAYAS LOS RÍOS (DURAN)	7 500
EL ORO	1 889
BOLÍVAR	2 868
SANTO DOMINGO	8 000
ESMERALDAS	9 000
TOTAL	61 610

ANEXO III

EFICIENCIA ENERGÉTICA EN EL SECTOR INDUSTRIAL ¹²¹

El Gobierno del Ecuador, a través del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER), tiene como uno de sus principales objetivos el mejorar el desempeño energético del sector industrial, para lo cual implementa el Proyecto: “Eficiencia Energética para la Industria (EEI)”, con el apoyo del Fondo para el Medio Ambiente Mundial (FMAM) a través de la Organización de Naciones Unidas para el desarrollo Industrial (ONUUDI). El apoyo técnico de capacitación y asesoría está a cargo de profesionales de alta experiencia a nivel mundial seleccionados por ONUUDI

El proyecto demanda una inversión total de 4'750.000 USD, de los cuales 2'140.000 USD serán financiados con recursos del presupuesto institucional del MEER; 975.000 USD con la cooperación técnica no reembolsable del FMAM y la ONUUDI y 1'635.000 USD restantes serán un aporte del sector privado ecuatoriano.

El Objetivo del Proyecto es promover mejoras en la eficiencia energética de la industria ecuatoriana a través del desarrollo de estándares nacionales de gestión de energía y de la aplicación de la metodología de Optimización de Sistemas en procesos industriales, mejorando la competitividad de dichas instalaciones.

Principales alcances del proyecto:

- Talleres para gerentes en uso eficiente de la energía – 200 industrias.
- Formación de 200 miembros del personal de fábrica en conceptos básicos de sistemas de gestión de energía y optimización de sistemas, de los cuales al menos la mitad sean Pymes.
- 50 profesionales de la EE reciben una formación como expertos en Sistemas de Gestión de Energía.
- 50 profesionales de la EE reciben una formación como expertos en Optimización de Sistemas Eléctricos Motrices y de Vapor.
- Los expertos formados como implementadores de Sistemas de Gestión de Energía trabajan con 50 instalaciones industriales en las que se implemente por completo dichos sistemas.
- Los expertos formados como Optimizadores de Sistemas realizan 25 evaluaciones detalladas en sistemas energéticos en las instalaciones industriales.
- De las 25 evaluaciones detalladas se seleccionan 10 proyectos para su implementación de optimización eléctrica o de vapor.


¹²¹ Disponible en internet < <https://www.energia.gob.ec/eficiencia-energetica-sector-industrial/>>

ANEXO IV

Planilla eléctrica


1

Empresa Eléctrica Pública Estratégica Corporación Nacional de Electricidad CNELEP
SUCURSAL: Matecón Simón Bolívar N° 100 y Loja (bloque 1- edificio ESPOL) - Telef: 2081037 - Guayaquil - Ecuador • RUC: 0968599020001 / CONTRIBUYENTE ESPECIAL / RESOLUCIÓN N° 66 del 17-Marzo-2009



Matriz: Km. 6 1/2 Vía a la Costa,
Edificio GRACE Cobos, piso 3
Guayaquil - Ecuador
Tel: (04) 3727 310

Factura No. 002-999-004605969
No Autorización 1203202101096859902000120029990046059690706227312
Ambiente PRODUCCION
Emisión NORMAL
Fecha de autorización 2021/MAR/17



No. de Control: 26800806-34
Valor a pagar: 239,35

INFORMACIÓN DEL CONSUMIDOR Fecha de Emisión: 2021/MAR/12 Fecha de Vencimiento: 2021/MAR/30

SUMINISTRO: 268008-4

Código Único Eléctrico Nacional: 0900268008 Cédula / R.U.C.: 001101657

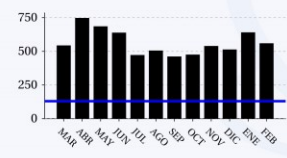
Dirección servicio: URB. AURA I ETAPA MZ-E SL-2 DE VILLA CLUB
Plan/Geocódigo: 16 15-60-005-0305 Tarifa: RESIDENCIAL
Provincia - Cantón - Parroquia: Guayas - Daule - La Aurora (Satélite) (U)
Dirección notificación: DOMICILIO

1. FACTURACIÓN SERVICIO ELÉCTRICO Y ALUMBRADO PÚBLICO

Medidor: 20540908-ELS-AB Desde: 2021/FEB/09 Hasta: 2021/MAR/11 Días Facturados: 31 Tipo Consumo: TOMADA
Factor de multiplicación: 1 Factor Corrección: 1,000 Factor Potencia: 1,000 Constante: 1

Descripción	LECTURAS				Valores
	Actual	Anterior	Consumo	Unid.	
Eng. Activa	20653.00	20109.00	544	kWh	55.73

Consumos



1.1 SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG

CONSUMO	54.32
COMERCIALIZACION	1.41
SUBSIDIO SOLIDARIO.	5.57
SUBTOTAL SERVICIO ELÉCTRICO (SE):	61.30
SERV. ALUMBRADO PUB.	7.54
SUBTOTAL ALUMBRADO PÚBLICO (AP):	7.54

1.2 OTROS PAGOS SERVICIO ELÉCTRICO Y SAPG

INTERES MORA	0.04
INTERESES ACUMULADOS	0.67
CRED.FACT.RUBROS ED	35.28
CRED.FACT.T.BASURA	3.05
CRED.FACT.BOMBEROS	1.00
SUBTOTAL OTROS:	40.04

TOTAL SERVICIO ELÉCTRICO, SERVICIO ALUMBRADO PÚBLICO Y OTROS (1): 108.88

2. VALORES PENDIENTES


CONCEPTO	VALOR
SALDO ANTERIOR	122.45
TOTAL VALORES PENDIENTES (2):	122.45

3. RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (SE)-PLANES FINANCIAMIENTO


ESTOS VALORES NO FORMAN PARTE DE LOS INGRESOS DE LA EMPRESA ELÉCTRICA

CONCEPTO	VALOR
RECAUDACIÓN TERCEROS SECTOR ELÉCTRICO (3):	0.00

Clave acceso



SUBSIDIOS DEL GOBIERNO	
Cocción y calentamiento	0.00
Tarifa de dignidad	0.00
Total	0.00

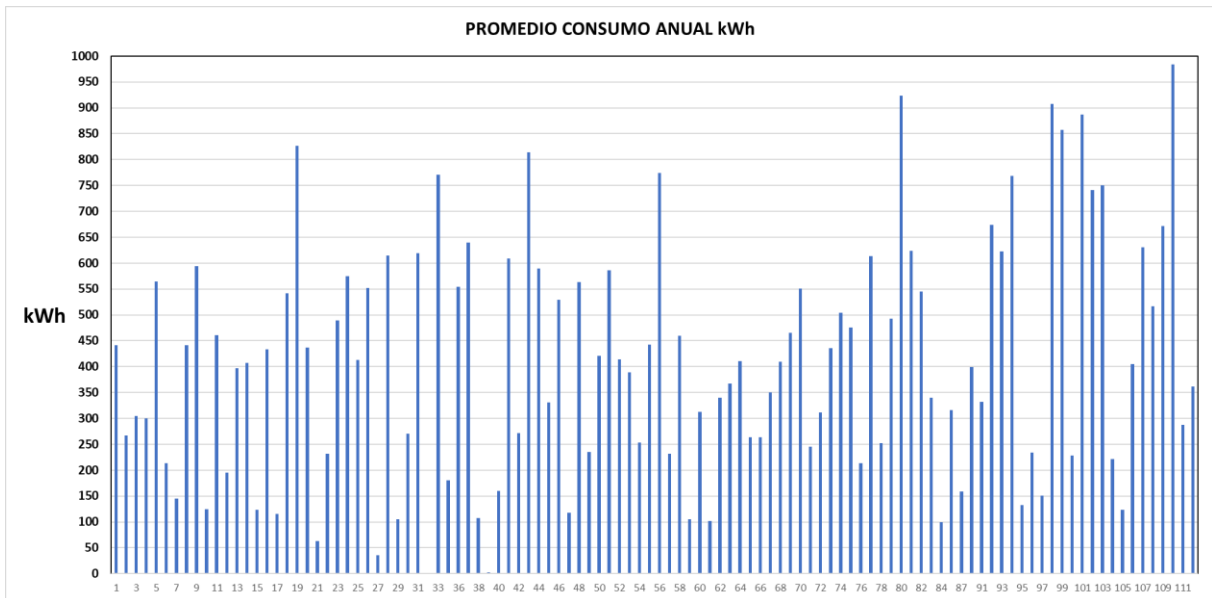


TOTAL	
Servicio Eléctrico-Alumbrado Público (1)	108.88
Valores Pendientes (2)	122.45
Recaudación Terceros SE (3)	0.00
TOTAL SECTOR ELECTRICO (A) (1+2+3)	231.33

La presente factura no constituye título ejecutivo de dominio, sino

ANEXO V

Mediante el geo portal de CNEI¹²² se obtuvieron los consumos promedios anuales de 112 viviendas de la etapa Aura de las manzanas D, E, F, G. Con esos valores se realizó un promedio global y el resultado fue de 412.38 kW/h



122 <https://geoportal.cnelep.gob.ec/cnel/>

ANEXO VI



Figura 141. Villa Club
Fuente: Villa Club-página de Facebook



Figura 142. Villa Club
Fuente: Villa Club-página de Facebook



PISCINAS PARA ADULTOS
Y PISCINAS PARA NIÑOS.

Figura 143. Club Social de una de las urbanizaciones
Fuente: Villa Club-página de Facebook



Figura 144. Vivienda en construcción
Fotografía tomada por la autora



Figura 145. Viviendas de etapas recientemente construidas
Fotografía tomada por la autora



Figura 146. Viviendas de etapas recientemente construidas
Fotografía tomada por la autora

