



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR
INGENIERÍA DE
EDIFICACIÓN

TRABAJO FINAL DE MASTER

Estudio del comportamiento térmico de la arquitectura habitacional y patrimonial de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

AUTOR: JOSE LUIS MOLINA MARQUEZ

TUTOR: ENRIQUE IGNACIO GUILLEN GUILLAMON

CURSO ACADÉMICO: 2018-19

RESUMEN

El objetivo del estudio es la determinación y posible reducción de la demanda energética que presenta la arquitectura colonial de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. La evolución de la arquitectura tradicional cruceña en su adaptación al entorno tropical, permite la focalización del estudio de esta tipología de vivienda en su forma más compleja.

Para lograr este fin, se pretende utilizar una metodología a partir del “Caso de Estudio”, desde el enfoque de la arquitectura pasiva con la aplicación de la simulación energética, a través de los programas OpenStudio y Energy Plus. También se ha realizado una descripción de las tipologías arquitectónicas a ser estudiadas, para así entender como la composición de espacios, y su ordenación en forma perimetral al terreno, influye en el consumo energético de cada caso de estudio.

Los resultados demuestran una reducción de la demanda de energía con el empleo de aislamiento, cambio de carpinterías y reducción de puentes térmicos, aunque varía en gran cantidad entre ambos casos de estudio.

Palabras Clave: Consumo energético, Reducción de la demanda energética, Arquitectura Tradicional, Simulación energética, Arquitectura pasiva

ABSTRACT

The main subject of this study is to determine and if possible to reduce the energy demand that appears in the colonial architecture from Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. The evolution of the traditional architecture from Santa Cruz and its adaptation to the tropical environment, lead us to focalize the study on its most complex building type from this development.

To achieve this goal, it is intended to use a methodology based on the “Case Study”, from the passive architecture approach with the application of energy simulation, through the OpenStudio and Energy Plus software. Also, a description has been made of the architectural typologies to be studied, in order to understand how the composition of spaces, and their arrangement on the building lot perimeter, influences the energy consumption of each case study.

The results demonstrate a reduction in the demand for energy with the use of insulation, carpentry changes and reduction of thermal bridges, although it varies greatly between the two case studies.

Key words: Energy consumption, Reduction in the demand for energy, Traditional Architecture, Energy simulation, Passive architecture.

INDICE

1. Prólogo	6
2. Antecedentes.....	6
2.1. Definición de conceptos y palabras clave	7
2.2. Contexto Histórico	8
2.3. ¿De dónde proviene la arquitectura de Santa Cruz de la Sierra?	10
2.3.1. Sobriedad en la Fachada	11
2.3.2. Altura de la edificación	11
2.3.3. Existencia de azotea o “Terrado”	12
2.3.4. Existencia de jardín y de patios	12
2.3.5. La vivienda colectiva	14
2.4. La evolución de la vivienda tradicional en Santa Cruz de la Sierra	15
2.4.1. El Pahuichi o casa mestiza	15
2.4.2. La unidad habitacional compacta.....	17
2.4.3.1. La galería o corredor exterior.....	19
2.4.3.2. El horcón	20
2.4.3.3. Los capiteles o canes.....	20
2.4.3.4. Las columnas o pies derechos.....	22
2.4.3.5. Los corredores superiores	22
2.4.3.6. La puerta de cuatro hojas	22
2.4.3.7. Las ventanas con balaustres	22
2.4.3.8. Los patios interiores	23
2.4.3. La unidad habitacional con galerías.....	18
2.5. La Arquitectura tropical	26
2.6. Confort higrotérmico. ¿Qué es? ¿Para qué sirve? ¿Cómo lo obtenemos?.....	27
2.6.1. El cuerpo humano como componente térmico de una edificación	27
2.6.1.1. El metabolismo.....	29
2.6.1.2. El sexo.....	29
2.6.1.3. La constitución corporal	29
2.6.1.4. La edad.....	29
2.6.1.5. La etnia.....	29
2.6.1.6. La vestimenta	29
2.6.1.7. La aclimatación al calor.....	30
2.6.2. El ambiente térmico.....	30
2.6.2.1. La humedad absoluta y humedad relativa	30
2.6.2.2. El punto de rocío	30
2.6.2.3. La temperatura del aire y la temperatura de bulbo húmedo.....	30
2.6.2.4. La temperatura de globo y el cálculo de la Temperatura Radiante Media	31
2.6.2.5. La velocidad absoluta y relativa del aire	31
2.6.2.6. El calor metabólico	32
2.6.3. Condiciones para establecer el confort térmico.....	33
2.6.3.1. La valoración del confort higrotérmico	34
2.6.3.2. Las Curvas de confort	34
3. Objetivos.....	35
4. Metodología.....	35
5. Caso de Estudio	37
5.1. Contexto situacional ambiental actual.....	38
5.1. El clima	38

5.1.2. Relieve de la región.....	40
5.2. Caso de Estudio N° 1 - La vivienda en esquina.....	40
5.3. Caso de Estudio N° 2 - La vivienda entre medianeras	42
5.4. Determinación de variables climáticas – Ficha Climática	44
5.5.Descripción Constructiva.....	46
5.6. Proceso de Modelado 3D e Introducción de datos para la Simulación Energética	49
5.6.1. Modelado de los Casos de Estudio.....	49
5.6.2. Caso de Estudio 01	50
5.6.2.1. Zonas térmicas del Caso de Estudio 01	51
5.6.3. Caso de Estudio 02	52
5.6.3.1. Zonas térmicas del Caso de Estudio 02	52
5.7. Simulación de datos en OpenStudio.....	54
6. Análisis de resultados y Posibles mejoras	56
6.1. Temperaturas medias del aire de las zonas térmicas	57
6.2. Demandas de Calefacción y Refrigeración.....	58
6.2.1. Caso de estudio 01 – Vivienda en esquina.....	58
6.2.2. Caso de estudio 02 – Vivienda entre medianeras	60
6.3. Mejoras aplicables.....	62
6.3.1. Soluciones constructivas para la mejora de la demanda.....	62
6.3.2. Nuevos perfiles constructivos para la mejora de la Demanda Energética	63
6.4. Nuevos resultados aplicando las mejoras propuestas.....	66
6.4.1. Vivienda en esquina	66
6.4.2. Vivienda entre medianeras.....	66
7. Conclusiones	67
8. Bibliografía.....	68
ANEJO I.....	71

Listado de Gráficos

Grafico 1.- Relación entre las tensiones y sobrecargas térmicas.	27
Grafico 2.- Curvas de confort. (P.O. Fanger).	34
Grafico 3.- Climograma de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.	37
Grafico 4.- Diagrama de temperatura Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.	38
Grafico 5.- Temperaturas Máximas, Medias y Mínimas de Santa Cruz, 1949 - 1959.	44
Grafico 6.- Diagrama del Proceso de Simulación en OpenStudio	53
Grafico 7.- Temperatura media del aire por Zonas térmicas – Vivienda en esquina.	56
Grafico 8.- Temperatura media del aire por Zonas térmicas - Vivienda entre medianeras.	57
Grafico 9.- Demanda de calefacción por Zonas térmicas - Vivienda en esquina.	57
Grafico 10.- Relación entre la demanda de calefacción y la temperatura ambiente.	58
Grafico 11.- Demanda de refrigeración por Zonas térmicas - Vivienda en esquina.	59
Grafico 12.- Demanda de calefacción por Zonas térmicas - Vivienda entre medianeras	60
Grafico 13.- Demanda de refrigeración por Zonas térmicas - Vivienda entre medianeras	60

Listado de Ilustraciones

Ilustración 1 Izq.: Pahuichi o vivienda simple. Der.: Vivienda compleja con galerías.	6
Ilustración 2.- Plano de Santa Cruz de la Sierra, 1825.	9
Ilustración 3.- Casa tradicional sevillana.	10
Ilustración 4.- Las Casas de la Judería, Sevilla.	12
Ilustración 5.- Patio interior tradicional sevillano.	12
Ilustración 6.- Vivienda colectiva tradicional sevillana.	13
Ilustración 7.- Vivienda tradicional cruceña. Pahuichi.	14
Ilustración 8.- Pahuichi con punilla	15
Ilustración 9.- Pahuichi con punilla intermedia.	16
Ilustración 10.- Vivienda tradicional cruceña de una planta.	16
Ilustración 11.- Vivienda tradicional cruceña de dos plantas.	17
Ilustración 12.- Unidad habitacional tradicional con galerías.	18
Ilustración 13.- Izq. y Der.: Galerías exteriores de viviendas tradicionales cruceñas.	18
Ilustración 14.- Horcón tradicional de madera en la arquitectura tradicional cruceña.	19
Ilustración 15.- Tipos de capiteles tradicionales cruceños de madera. Primera parte.	19
Ilustración 16.- Tipos de capiteles tradicionales cruceños de madera. Segunda parte.	20
Ilustración 17.- Columna tradicional de madera. Estilo barroco.	21
Ilustración 18.- Variantes de abertura de la puerta de cuatro hojas.	21
Ilustración 19.- Ventana con balaustre de madera. Estilo barroco.	22
Ilustración 20.- Patio interior de una vivienda tradicional cruceña.	22
Ilustración 21.- Plano de una vivienda entre medianeras, con dos patios interiores.	23
Ilustración 22.- Plano de una vivienda en esquina, con un solo patio interior.	24
Ilustración 23.- Plano con zonificación. Vivienda tradicional en esquina.	40
Ilustración 24.- Plano con zonificación. Vivienda tradicional entre medianeras.	41
Ilustración 25.- Sección del bloque a la vía pública y patio interior, de la vivienda tradicional cruceña.	42
Ilustración 26.- Sección de bloque interior de la vivienda tradicional cruceña.	43
Ilustración 27.- Sección de la Fachada tradicional cruceña.	46
Ilustración 28.- Sección de la Solera tradicional cruceña.	47
Ilustración 29.- Sección de la Cubierta tradicional cruceña.	47
Ilustración 30.- Sección de la Partición Interior tradicional cruceña.	47
Ilustración 31.- Sección del Techo Interior tradicional cruceño.	48
Ilustración 32.- Sección del Muro colindante tradicional cruceño.	48
Ilustración 33.- Maqueta 3D de la Vivienda tradicional en esquina.	49
Ilustración 34.- Maqueta 3D con zonas térmicas de la Vivienda tradicional en esquina.	50
Ilustración 35.- Maqueta 3D de la Vivienda tradicional entre medianeras.	51
Ilustración 36.- Maqueta 3D con zonas térmicas de la Vivienda tradicional entre medianeras.	51
Ilustración 37.- Detalle de cubierta con aislamiento. Sección longitudinal.	62
Ilustración 38.- Detalle de cubierta con aislamiento. Sección transversal.	62
Ilustración 39.- Detalle de fachada con aislamiento.	63
Ilustración 40.- Detalle de solera con mejoras.	63
Ilustración 41.- Detalle de partición interior de muro doble con aislamiento.	63
Ilustración 42.- Detalle de partición interior con muro simple sin aislamiento.	64
Ilustración 43.- Detalle de muro colindante a vecino con aislamiento y muro doble.	64
Ilustración 44.- Captura de pantalla de la pestaña de configuración de sitio en OpenStudio 2.5.0	70
Ilustración 45.- Captura de pantalla de la pestaña para la Creación de nuevos materiales en OpenStudio 2.5.0	71
Ilustración 46.- Sección de la cubierta tradicional cruceña.	72

Ilustración 47.- Captura de pantalla de la pestaña de configuración de nuevos perfiles constructivos en OpenStudio 2.5.0	72
Ilustración 48.- Captura de pantalla de la pestaña de configuración de un nuevo conjunto de perfiles constructivos en OpenStudio 2.5.0	73
Ilustración 49.- Captura de pantalla de la pestaña de configuración de tipos de espacio en OpenStudio 2.5.0	74
Ilustración 50.- Captura de pantalla de la pestaña de revisión de geometría 3D en OpenStudio 2.5.0	75
Ilustración 51.- Captura de pantalla de la pestaña de Revisión de espacios en OpenStudio 2.5.0	76
Ilustración 52.- Captura de pantalla de la pestaña de Configuración de las Zonas Térmicas en OpenStudio 2.5.0	76
Ilustración 53.- Capturas de pantalla de la pestaña de la Configuración de las Temperaturas de consigna para calefacción y refrigeración en OpenStudio 2.5.0	77
Ilustración 54.- Captura de pantalla de la pestaña de la definición de las variables de salida en OpenStudio 2.5.0	78
Ilustración 55.- Captura de pantalla de la pestaña del proceso de simulación en OpenStudio 2.5.0	79
Ilustración 56.- Captura de pantalla de la pestaña del resumen de resultados de la simulación en OpenStudio 2.5.0	79

Listado de Tablas

Tabla 1.- Clasificación estimada de la velocidad del aire.	31
Tabla 2.- Relación de actividades en W/m ² y en met.	31
Tabla 3.- Resumen de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.	33
Tabla 4.- Tabla climática de Datos históricos del tiempo Santa Cruz de la Sierra.	38
Tabla 5.- Tabla comparativa de coordenadas geográficas y elevación entre las ciudades de Santa Cruz de la Sierra, Cuiabá y Campo Grande.	44
Tabla 6.- Comparativas de temperaturas y humedad relativa entre la ciudades de Santa Cruz de la Sierra, Cuiabá y Campo Grande.	45
Tabla 7.- Características físicas de materiales constructivos de la época colonial	46
Tabla 8.- Referencia de las zonas térmicas de la vivienda tradicional en esquina.	50
Tabla 9.- Cuadro de superficies (m ²) - Vivienda en esquina.	50
Tabla 10.- Cuadro de superficies de sombra (m ²) - Vivienda en esquina.	50
Tabla 11.- Referencia de las zonas térmicas de la vivienda tradicional entre medianeras.	52
Tabla 12.- Cuadro de superficies (m ²) - Vivienda entre medianeras.	52
Tabla 13.- Cuadro de superficies de sombra (m ²) - Vivienda entre medianeras.	52
Tabla 14.- Características físicas de los materiales a utilizar en el proceso de simulación.	54
Tabla 15.- Descripción de los componentes de los nuevos perfiles constructivos a utilizar en la simulación.	55
Tabla 16.- Resultados obtenidos de la simulación en OpenStudio para los casos de estudio	55
Tabla 17.- Nuevos Materiales introducidos para mejora de la Demanda Energética.	62
Tabla 18.- Resultados con la variación del espesor del aislamiento. Vivienda en esquina.	65
Tabla 19.-Resultados con la variación del espesor del aislamiento. Vivienda entre medianeras.	65

1. Prólogo

En el presente estudio se pretende realizar un análisis sobre el comportamiento térmico que presentó la arquitectura habitacional y patrimonial de Santa Cruz de la Sierra, y como este afectó en el confort de los usuarios de las viviendas. Dentro de este análisis entraremos en la recopilación de datos históricos sobre la implantación arquitectónica del modelo colonial español, de cómo se transformó para darle mayor comodidad al usuario y también plantearemos posibles soluciones, sobretodo constructivas que se pueden utilizar a esta tipología, que todavía se sigue usando en las zonas rurales de la región y en los suburbios de la ciudad capital.

2. Antecedentes

En la búsqueda de adentrarnos en la arquitectura patrimonial cruceña, fuimos observando la falta de información y estudio sobre la misma, en todas las épocas. Se eligió la época colonial por tratarse del origen de la ciudad, de la arquitectura cruceña, y de cómo esta fue cambiando hasta producir una identidad propia; también porque las medidas que se fueron tomando hasta transformarse en una arquitectura que capture las peculiaridades del lugar muestran que hubo que hacer un estudio y entender el entorno para adaptarse a sus condiciones. Este último fenómeno, con los diferentes movimientos arquitectónicos y la tecnología disponible hoy en día, van “globalizando” los estilos de las arquitecturas de las diferentes regiones mundiales.

Conocer un poco de este proceso “evolutivo” de la arquitectura residencial cruceña, nos puede mostrar maneras de aportar mejoras al diseño de viviendas con una demanda de climatización menor.

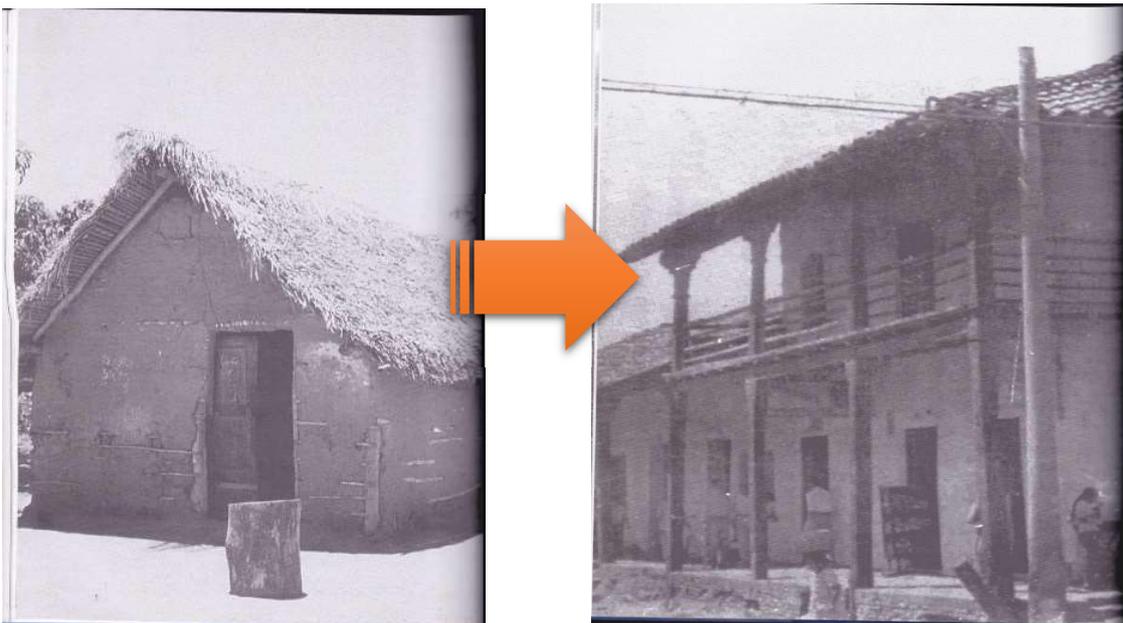


Ilustración 1 Izq.: Pahuichi o vivienda simple. Der.: Vivienda compleja con galerías.

2.1. Definición de conceptos y palabras clave

Como inicio haremos una conceptualización donde explicaremos diferentes términos dentro de lo que es el comportamiento termodinámico y las variables a tomar en cuenta para su análisis, así como otras definiciones pertinentes para entender de mejor manera el desarrollo de la investigación.

Clima.- Conjunto de condiciones atmosféricas que caracterizan una región. (“DLE: clima - Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario,” n.d.)

Aislamiento térmico.- Aislamiento térmico es el conjunto de materiales y técnicas de instalación que se aplican en los elementos constructivos que limitan un espacio caliente para minimizar la transmisión de calor hacia otros elementos o espacios no convenientes. También se aplica a la acción y efecto de aislar térmicamente.(www.wikipedia.org, n.d.-a)

Orientación.- En arquitectura, es la disposición de la planta de los edificios con criterios astronómicos. Es muy importante para la iluminación y ha sido objeto de consideración a lo largo de la historia en distintas culturas por cuestiones religiosas. (www.wikipedia.org, n.d.-c)

Altura relativa.- En lo que se refiere a la altura relativa, hacemos referencia a la situación, en depresión o en prominencia, de cada lugar concreto respecto a la tipología que lo rodea.

Humedad relativa.- Relación entre el vapor de agua que contiene el aire y la cantidad máxima que puede tener el aire saturado a la misma temperatura.

Capa freática.- Capa de terreno donde se encuentran las aguas subterráneas, en reposo o movimiento, formada por la infiltración de las precipitaciones.

Confort visual.- La comodidad visual depende, como es lógico en un sentido básicamente informativo, de la facilidad de nuestra visión para percibir aquello que le interesa.

Confort acústico.- El confort acústico acostumbra a asociarse únicamente a la existencia de un ruido molesto. A pesar de que debemos entender como ruido la definición mas amplia de este concepto (todo sonido no deseado), existen también otros factores acústicos que son importantes por su influencia en el confort. (Serra Florensa & Coch Roura, 1995)

Asoleamiento.- En Arquitectura se habla de asoleamiento o soleamiento cuando se trate de la necesidad de permitir el ingreso del sol en ambientes interiores o espacios exteriores donde se busque alcanzar el confort higrotérmico. (www.wikipedia.org, n.d.-b)

Forma urbana.- La forma urbana es el resultado de la organización física de los elementos de la ciudad, su distribución y disposición en el espacio es analizada a través del concepto de morfología, que abarca el estudio en cuanto se refiere a los aspectos físico-espaciales de la ciudad. Ello implica el estudio y análisis de los elementos de la forma del espacio urbano: la trama, la manzana, la calle, el cruce, los espacios abiertos y las edificaciones. (Camacho, n.d.)

Inercia térmica.- La inercia térmica en el diseño y construcción de los edificios, es un recurso fundamental en zonas climáticas donde la diferencia de temperatura entre el

día y la noche es elevada, para alcanzar el confort térmico de sus usuarios en el interior de los mismos. Dicha inercia se consigue mediante el empleo de materiales capaces de almacenar energía durante el día y liberarla durante la noche. Esta medida pasiva permite ahorrar en consumo de energía en calefacción e incluso en refrigeración, manteniendo una temperatura estable en los espacios interiores a lo largo del día. (Serrano Yuste, n.d.)

2.2. Contexto Histórico

Santa Cruz de la Sierra fue fundada el 26 de febrero de 1561 por el capitán español Ñuño de Chaves tras una expedición integrada por 158 españoles que partieron desde Asunción del Paraguay. La nueva población fue bautizada con el nombre de Santa Cruz de la Sierra en honor a la ciudad natal (Extremadura) del fundador. La fundación se realizó a orillas del arroyo Sutó, en la serranía de Chiquitos, como una avanzada al este de los territorios ocupados por España, próxima a donde hoy se asienta San José de Chiquitos. Actualmente el lugar es conocido como Santa Cruz la Vieja, área protegida donde se realizan varios proyectos de investigación arqueológica.

La ciudad tuvo tres traslados, cuando Chaves preparaba una expedición para llegar a territorios de los Moxos, fue encontrado muerto en el mes de septiembre de 1568 por un cacique de la parcialidad de los "avá" o guaraníes llamada itatín.

Por avatares históricos, después de muchas penurias, los pobladores de la primigenia ciudad, en 1590 se trasladaron a otra localidad en lo que es ahora el Santuario de Cotoca en manos del Capitán Lorenzo Suárez de Figueroa. En 1591, la mayor parte de la gente llegada de la Chiquitanía siguió su viaje hasta San Lorenzo Real de la Frontera, donde se asentaron definitivamente, manteniendo el nombre de la ciudad natal: Santa Cruz de la Sierra. Una pequeña parte de la gente se quedó en la población de Cotoca durante el traslado.

San Lorenzo Real de la Frontera fue fundada por el capitán español, Gonzalo Solíz de Holguín en territorios de los Llanos del Grigotá el 21 de mayo de 1595. Santa Cruz de la Sierra, en el lugar de su primera fundación (en la Chiquitanía), tuvo una existencia de 43 años. Cuando los pobladores fueron trasladados por disposición de la Real Audiencia de Charcas a San Lorenzo Real de la Frontera, antes de llegar se resistieron y se establecieron en lo que ahora es Cotoca. Después de 17 años de vivir en Cotoca, parte de su gente aceptó a los padres jesuitas, y a la propuesta del entonces Gobernador Don Nuño de la Cueva de trasladarse al lugar donde hoy es la ciudad de Santa Cruz de la Sierra. Santa Cruz fue principalmente la región donde se crearon mayores asentamientos jesuitas, misiones o reducciones indígenas. Puesto que en los alrededores aún existía una gran cantidad de pueblos indígenas (muchos de ellos defendidos del avance Español), la labor misionera de los jesuitas llegó a su cúspide con la catequización del total de estos pueblos y la edificación de conjuntos misionales que hasta hoy perduran, siendo nombrados por la Unesco como Patrimonio Cultural de la Humanidad, tanto que en Bolivia se constituyó el principal asentamiento de las Misiones Jesuíticas del Nuevo Mundo. (www.wikipedia.org, n.d.-d)

A continuación, podemos observar el mapa de la ciudad del año 1825, hecho por Carlos Cirbián, tomando referencias históricas de cronistas como Francisco de Viedma o historiadores como Gabriel Rene Moreno. Este mapa se encuentra en el banco de planos del Colegio de Arquitectos de Santa Cruz de la Sierra.



Ilustración 2.- Plano de Santa Cruz de la Sierra, 1825.

Primero que todo cabe resaltar que lo que observamos en la anterior imagen no es un asentamiento humano de grandes dimensiones, si es que lo comparamos con ciudades como La Paz o Potosí. También se denota que en la mayoría de los manzanos existe la presencia de los patios. La estructura urbana está definida por el damero o la cuadrícula compuesta por manzanos y calles.

2.3. ¿De dónde proviene la arquitectura de Santa Cruz de la Sierra?

Para poder hacer un estudio de la vivienda colonial en Santa Cruz de la Sierra, primero tendríamos que situarnos en aquella época y comprender de donde vienen todas esas influencias y el cómo llegaron hasta este territorio. Sin duda alguna quienes transportan toda la cultura y costumbres son las *personas*, que llegaron hasta la localidad que hoy en día es Santa Cruz, las cuales en su mayoría procedían de Andalucía, más concretamente de Sevilla que por aquel entonces fue el lugar donde se concentraba todo lo que se iba a enviar al nuevo mundo. A esto habría que sumarle que el clima de esta región de España se parecía en mucho a varias localidades geográficas de América, por lo mismo no es nada raro que la principal referencia a la hora de plantear un tipo de vivienda en los nuevos territorios, sea la *Casa Sevillana*.

Para llevar a cabo nuestra investigación hemos extraído diferentes párrafos de la conferencia “Algunas consideraciones sobre la Casa Sevillana” realizada por D. Joaquín Hazañas y la Rúa, en el marco del ciclo de “Conferencias sobre Asuntos Sevillanos” organizado por la Academia de Estudios Sevillanos.

“Una de las cosas que más ama el hombre es su propio hogar, el solar de sus mayores y dondequiera que va gusta de ver reproducido ese solar nativo hasta en sus más mínimos pormenores, salvo siempre las exigencias que el clima y otras circunstancias imponen. Imaginad que harían en este punto los colonizadores sino reproducir, en lo posible, la casa española: agregad a esta condición que todos los colonizadores habían residido, más o menos tiempo, en nuestra ciudad, desde donde, únicamente, podían emprender su ruta; que muchos de ellos eran andaluces; y que el clima de Andalucía era el más semejante al de las regiones americanas, y, seguramente, no os extrañará, antes bien, os parecerá lógico y natural que las primeras casas que allí se construyeran reprodujesen la casa andaluza, especialmente la casa sevillana.” (Hazañas y la Rúa, 1989). En este primer párrafo podemos reafirmar lo que anteriormente habíamos comentado sobre la procedencia de la cultura, costumbres y por tanto la arquitectura de las primeras colonias en territorio de lo que es ahora Santa Cruz de la Sierra.



Ilustración 3.- Casa tradicional sevillana.

2.3.1. Sobriedad en la Fachada

“Entre estas notas comunes acaso sea la más saliente la sobriedad de las fachadas, formada en su mayoría por altas y lisas paredes exentas de adornos como ocurre hoy con muchas casas de Marruecos. Es una nota de indudable herencia árabe, o acaso dijéramos mejor moruna, pero muy acepta a los ojos del pueblo cristiano que la adoptó. La vida de esta casa mira toda al interior; el aire y la luz las reciben las

habitaciones del patio principal, de los secundarios, del jardín o del corral, que en rigor son patios también, y casi nunca, en contados casos, del exterior, de la calle: por eso escasean tanto las ventanas en los altísimos paredones...”. (Hazañas y la Rúa, 1989).

En el párrafo anterior podemos denotar una de las características que luego se repetirían en lo que ahora es Santa Cruz de la Sierra, Bolivia. Y es que la fachada es bastante sobria, y algunos casos dependiendo del poder económico de los ocupantes podría no tener decoración alguna.

2.3.2. Altura de la edificación

“La casa sevillana tuvo generalmente dos pisos que servían alternativamente de vivienda a una sola familia, el bajo en verano y el alto en invierno, hasta el punto que, en muchas casas, aun principales las puertas cristaleras servían alternativamente, según la estación, en uno u otro piso.” Solían tener muchas un tercer piso, que era solo parcial, muy frecuentemente en la nave de fachada, que se llamaba el *mirador* con grandes huecos, formados por una serie de pequeños arcos, que carecían de toda clase de puertas en ellos, locales que se destinaban a diferentes usos domésticos.

Tal como observamos en la imagen XXX, podemos confirmar tanto la primera característica de la sobriedad en la fachada casi desligada de la decoración innecesaria; así como las dos plantas que en su generalidad componían este tipo de vivienda. Lamentablemente la segunda característica fue algo más difícil de implantar en Santa Cruz de la Sierra ya que estaba estrechamente vinculada al poder económico del propietario de la vivienda, puesto que suponía una fuerte inversión de dinero en aquella época por la falta de material y de personal capacitado para realizar este tipo de obra.

2.3.3. Existencia de azotea o “Terrado”

“Nota muy común a las casas de Sevilla es el terrado, que aún conserva el nombre arábigo de azotea, que rara vez cubría toda la casa, sino lo necesario para sustituir, aunque desventajosamente, el jardín y el corral, razón por la cual en las casas que tienen ambas dependencias no suele hallarse azoteas. Destinárnosle las azoteas, y aun se destinan, a diversos usos domésticos, a criar aves de corral y a cultivar en macetas, que los castellanos llaman tiestos, las flores...”. (Hazañas y la Rúa, 1989).

Por el mismo motivo mencionado anteriormente, aunque “el terrado” pudiera ser una característica común en las viviendas sevillanas, esto no pudo ser de la misma manera con su aplicación en Santa Cruz de la Sierra, ya que esto solo se encontraba al alcance de la clase más alta o con el suficiente por adquisitivo para pagar por tener una vivienda que cuente con este tipo de espacios.

2.3.4. Existencia de jardín y de patios



Ilustración 4.- Las Casas de la Judería, Sevilla.

“Pero la nota esencial de toda casa netamente sevillana es el patio, sin el que no se concibe la casa de Sevilla, de la que puede decirse es el alma. En las modernas casas de piso de habita, pero no se vive, en el verdadero sentido de la palabra, y para poder vivir hay que lanzarse a la calle permaneciendo en la habitación solo el tiempo absolutamente preciso. Estas modernas casas parecen como que rechazan a sus moradores, las otras, por el contrario, parece que las atraen dulcemente.” (Hazañas y la Rúa, 1989).



Ilustración 5.- Patio interior tradicional sevillano.

Tal como describe D. Joaquín Hazañas, la vida de toda la vivienda estaba orientada hacia el interior, que viene a ser el núcleo que configura la morfología de la vivienda en sí e invita a sus ocupantes a desarrollar sus actividades en este espacio; a esto contribuye que en la época no existían espacios públicos que compitan con los patios para realizar cualquier tipo de actividad, sobretodo de tipo social.

2.3.5. La vivienda colectiva



Ilustración 6.- Vivienda colectiva tradicional sevillana.

“Por esta misma razón llamamos en Sevilla a la casa de vecindad *corral* de vecinos, porque todos ellos fueron, y lo son los que aún subsisten, un gran patio, y nada más que eso, rodeado de habitaciones.” (Hazañas y la Rúa, 1989).

A pesar de no ser una característica sobresaliente, como es el caso de las anteriores, el tipo de vivienda colectiva utilizado en Sevilla conocido como “Corral”; sería el mismo utilizado por las clases humildes en Santa Cruz de la Sierra, donde se lo denominaría “Caserío”. Aquí también se encontrarían las posadas de la época que brindaban cobijo a los viajeros que pasaban por el lugar.

“A mi juicio estas cinco notas referentes a sobriedad de fachada, altura de edificación, existencia de azotea, de jardín y de patios, son suficientes para caracterizar la casa sevillana como tipo constructivo, dentro del que cabe la más amplia variedad de formas.” (Hazañas y la Rúa, 1989).

Con este pequeño resumen podemos nombrar las características necesarias y más sobresalientes que se llevaron de la Casa Sevillana hacia las viviendas construidas no solo en Santa Cruz de la Sierra sino en toda América Latina. Para demostrar la importancia del núcleo de este tipo de vivienda, que viene a ser el patio central, podemos acotar la siguiente cita: “Se cuenta que cuando un sevillano mandaba a

labrar una casa, decía a su arquitecto. Hágame V. en este solar un gran patio y buenos corredores; y si terreno queda hágame V. habitaciones.” (Hazañas y la Rúa, 1989). Donde se denota lo principal de tener un espacio central como eje de toda la vivienda.

2.4. La evolución de la vivienda tradicional en Santa Cruz de la Sierra

Como toda tipología arquitectónica, la vivienda tradicional cruceña ha sufrido una evolución a lo largo del tiempo durante la época colonial, esto principalmente se debe a que, en un comienzo, como en cualquier otro asentamiento humano, se parte de una aldea con recursos y conocimientos del entorno muy escasos. A continuación, desarrollamos este proceso:

2.4.1. El Pahuichi o casa mestiza

Como mencionamos anteriormente, la necesidad inmediata de cobijo adaptándose al clima sumado a la poca disponibilidad de materiales constructivos crean el primer tipo de vivienda tradicional de Santa Cruz de la Sierra, que surge tras la llegada de su fundador a las orillas del río Sutó; esta tipología se denominaría “Pahuichi”.

Las características constructivas de este tipo de vivienda son:

- Precariedad tecnológica y sencillez funcional.
- Diseño mestizo resultado de la combinación cultural.
- Construcción rápida y fácil, con materiales naturales y cubierta de hojas de palmeras de los alrededores.
- En su evolución se incorporó un patio en la parte frontal de la vivienda, que se conoció como “punilla”.

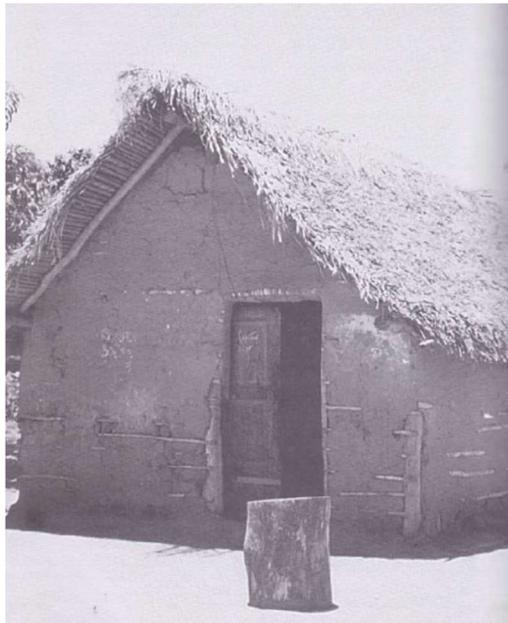


Ilustración 7.- Vivienda tradicional cruceña. Pahuichi.

Podemos mencionar también las características tecnológicas dentro de la precariedad anteriormente mencionada:

- Estructura de madera
- Cubierta a dos aguas
- Dimensiones de 3,5 a 5 metros de ancho y de 5 a 12 metros de largo
- Muros de arcilla mezclada con paja o colocada sobre la estructura de madera.

Dentro de esta tipología primigenia, se pueden distinguir también subdivisiones de la misma; sobre todo por la presencia del patio y su ubicación dentro de la vivienda. Estas variaciones se detallan a continuación:

- El Pahuichi compacto o simple
 - a. Es de una sola habitación
 - b. Posee muros parcial o completamente abiertos
 - c. Desarrollan diferentes funcionalidades como: estar familiar, comedor, sala de reuniones comunal, cocina, etc.
- El Pahuichi con punilla
 - Es la sub tipología más común en toda la zona de Santa Cruz de la Sierra que comprende una habitación cerrada y otra abierta, ambas de similares dimensiones, pero siempre el espacio cerrado es mayor al que se encuentra abierto.
 - La punilla, o patio cubierto, cumple diferentes funciones dentro de la vivienda como ser de estar familiar, local de siesta, comedor o cocina.
 - Otra característica de la punilla es que puede encontrarse abierto en tres lados o poseer muretes de media altura dejando el ingreso controlado bajo del mojinete.
- El Pahuichi con punilla intermedia
 - Se encuentran tres espacios habitacionales, dos cerrados a los costados y uno abierto al centro.
 - La función de la punilla viene a ser de espacio de conexión entre los espacios cerrados, por lo cual su principal rol fue el de estar familiar.
 - Los espacios cerrados se comunican directamente con la punilla, y también cuentan con dos ventanas al exterior cada uno.

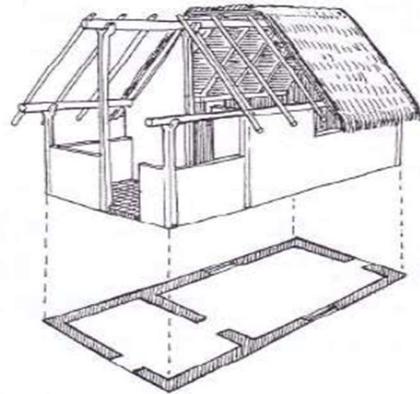
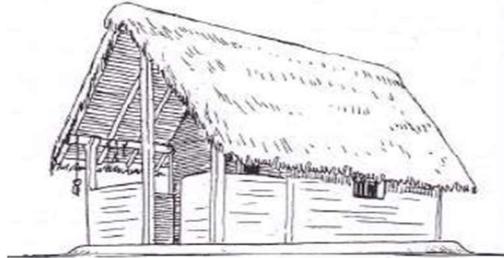


Ilustración 8.- Pahuichi con punilla

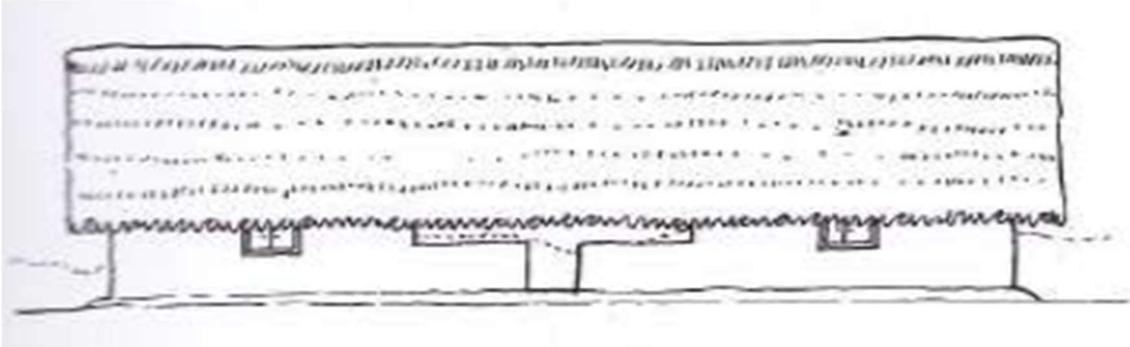


Ilustración 9.- Pahuichi con punilla intermedia.

2.4.2. La unidad habitacional compacta

Tal como lo menciona su nombre, este tipo de vivienda se caracteriza principalmente por lo macizo de la edificación, en cuanto a su volumetría se refiere. Por esta misma razón, viene a ser la base tecnológica y morfológica de las nuevas tipologías, con modelos mucho más elaborados.

Tecnológicamente hablando, aunque relativamente diferentes entre sí, presenta dos subdivisiones:

- La edificación de una planta
 - Se encuentra conformada por una serie de habitaciones continuas que en algunas ocasiones poseen patios circunstanciales.
 - La gran diferencia con el Pahuichi es que todas las habitaciones tienen una conexión con el interior y exterior de la vivienda, aunque también se conectan entre sí, a través de puertas interiores.
 - “Tecnológicamente, las unidades compactas se construyen con una estructura maderera portante, armada con piezas de sección cuadrada, y cubierta de troncos de palma en traslape a modo de capa y canal como la teja de barro, que solo se usa a partir del siglo XIX.”
 - “Las ventanas reducidas, presentan dos hojas practicables, que se abren hacia el interior y con balaustres en el exterior.”
- La edificación de dos plantas
 - Esta tipología no es común en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, son más bien en la parte altiplánica, en ciudades como La Paz o Potosí.



Ilustración 10.- Vivienda tradicional cruceña de una planta.

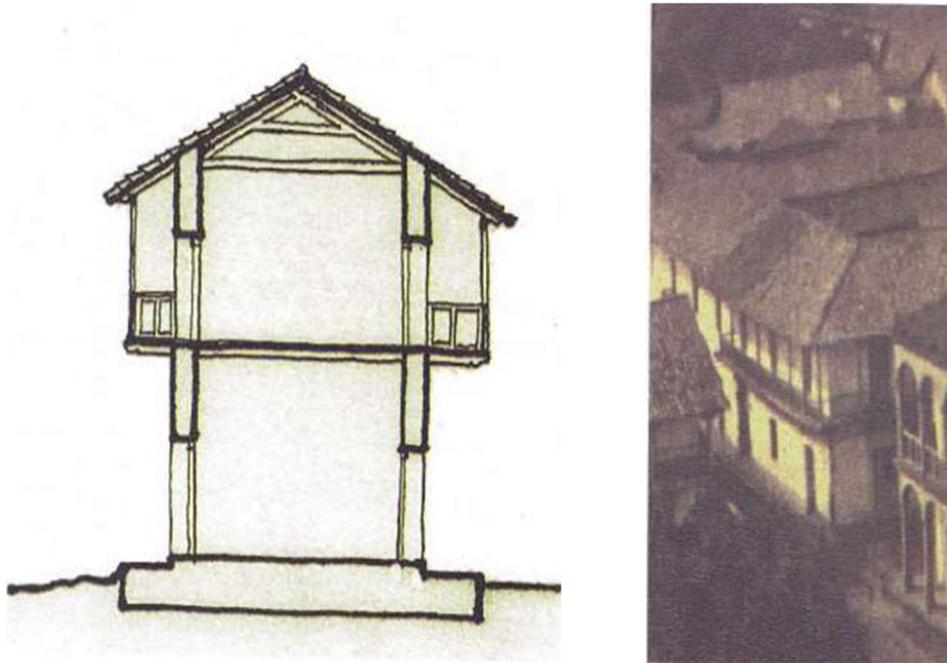


Ilustración 11.- Vivienda tradicional cruceña de dos plantas.

- En este tipo tanto el nivel superior como el inferior, coinciden mucho en su distribución, y la principal diferencia radica en el balcón exterior en forma de voladizo, el cual tiene la función principal de comunicar las habitaciones entre sí.
- El mencionado balcón, desempeña la función de galería colgante también.

2.4.3. La unidad habitacional con galerías

Es la tipología de mayor grado de complejidad, fruto de un establecimiento sólido del asentamiento humano, generando mejores condiciones socioeconómicas.

Este tipo de vivienda viene a ser el siguiente paso evolutivo del anterior modelo, ya que al volumen macizo se le añadió galerías exteriores e interiores, además de un patio interior que brinda mayor iluminación y se encuentra mucho más entrelazado con el origen de los ocupantes.



Ilustración 12.- Unidad habitacional tradicional con galerías.

A continuación, desarrollamos las diferentes partes dentro de este modelo de vivienda:

2.4.3.1. La galería o corredor exterior

Se convierte en un elemento de mejora del modelo anterior, en todo a lo que se refiere a la tecnología, morfología y manejo de espacios en la vivienda colonial. Se presenta en la época de mayor madurez sociocultural de la colonia española en Santa Cruz de la Sierra. Este modelo se sigue utilizando incluso en la época Republicana.



Ilustración 13.- Izq. y Der.: Galerías exteriores de viviendas tradicionales cruceñas.

Se maneja la idea que este elemento constructivo hace su aparición en la vivienda rural y no en la urbana, puesto que la principal actividad económica se realiza en el

área rural y por esta razón lo más lógico sería pensar que los principales avances se invertirían en esta zona. Acotando la explicación anterior, cabe recalcar que el terrateniente y su familia vivían en esta zona, y por lo mismo eran los más interesados en sentirse cómodos y confortables en estas viviendas. Por último, el clima tropical de la zona rural presenta muchos más efectos desagradables por lo mismo este espacio se vuelve de vital importancia para contrarrestarlos.

2.4.3.2. El horcón

Las primeras galerías debieron construirse con pies derechos de madera rollizos soportando la prolongación del alero con apoyos de encastre simple, tal como aún hoy se reconoce en ejemplos rústicos de la arquitectura rural. Con el tiempo, la unión de la columna con la viga se formalizó en un encaje tipo horca, que dio origen al vocablo "horcón".



Ilustración 14.- Horcón tradicional de madera en la arquitectura tradicional cruceña.

2.4.3.3. Los capiteles o canes

Las columnas coinciden con la delicadeza barroca, expresándose a través de cortes floridos después de la base y en la base del capitel.

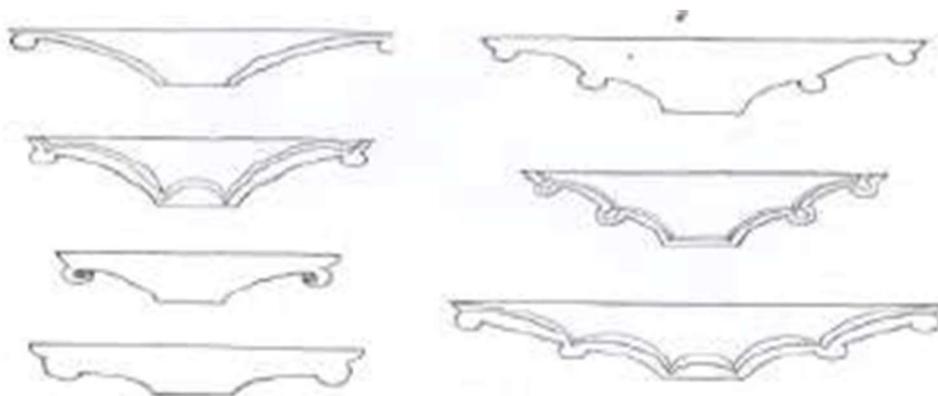


Ilustración 15.- Tipos de capiteles tradicionales cruceños de madera. Primera parte.

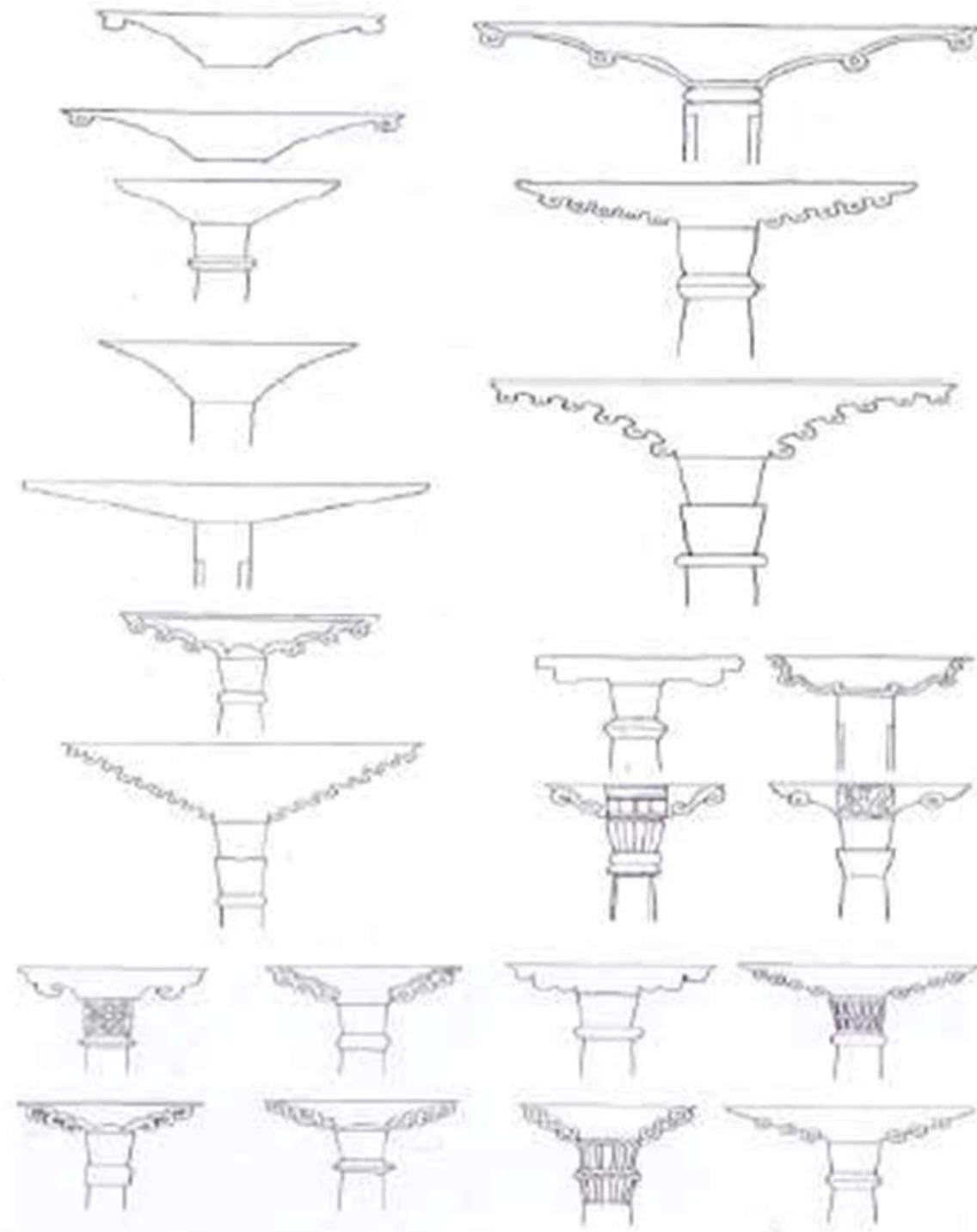


Ilustración 16.- Tipos de capiteles tradicionales cruceños de madera. Segunda parte.

La curiosa morfología de los capiteles cruceños con sus columnas labradas ha motivado interesantes ensayos interpretativos. Considerando las alternativas coloniales barrocas y las republicanas neoclásicas, los capiteles cruceños presentan alrededor de 30 alternativas.

2.4.3.4. Las columnas o pies derechos

Las primeras columnas fueron simples troncos rollizos. La influencia de la barroca jesuítica determinó que esto se trabajará con detalles floridos y se pintaran con colores.

2.4.3.5. Los corredores superiores

En las viviendas de dos plantas, los pies derechos se alzaban generalmente hasta el nivel superior, en una sola pieza coronada por un capitel en el piso superior.

Generalmente eran abiertos con pasamanos hechos de sencillos tabloncillos horizontales. También hay evidencias documentadas del uso de celosías madereras cubriendo todo el nivel superior, respondiendo a la tradición mudéjar y coincidiendo con los balcones barrocos de la zona andina.



Ilustración 17.- Columna tradicional de madera. Estilo barroco.

2.4.3.6. La puerta de cuatro hojas

Permitían el uso de la puerta como ventana alternativa a la vez que facilitaba el control del ingreso. Las alternativas eran notablemente versátiles, protegían la intimidad y evitaban el ingreso de polvo de la calle. Son una especie de puerta ventana.

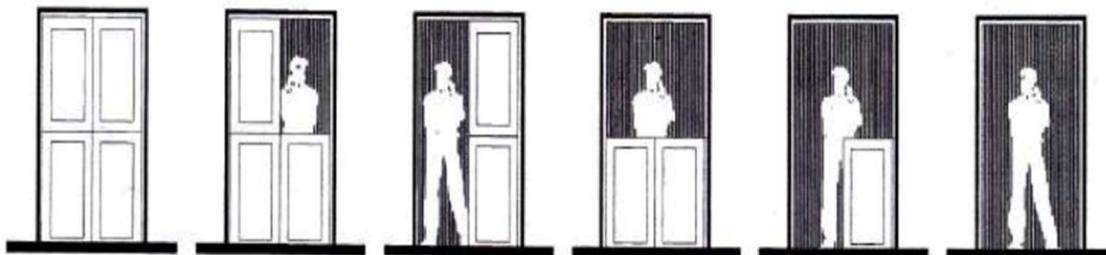


Ilustración 18.- Variantes de apertura de la puerta de cuatro hojas.

2.4.3.7. Las ventanas con balaustres

Son un diseño barroco, pueden tener de una a tres hileras superpuestas, coronados por un arco adintelado. El aventanamiento con balaustrada aseguraban un tamiz apropiado a la fuerte luz del trópico, al mismo tiempo que protegía la seguridad del interior.

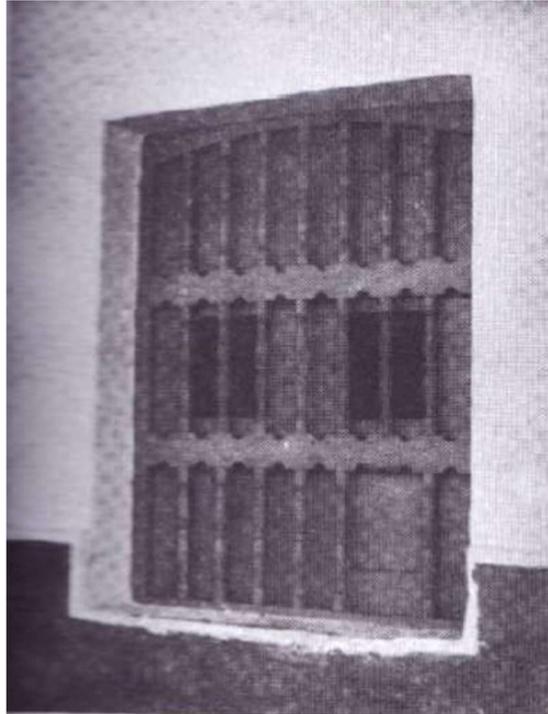


Ilustración 19.- Ventana con balaustre de madera. Estilo barroco.

2.4.3.8. Los patios interiores

Posibilitaban tanto la iluminación como la ventilación de las estancias interiores, las que se construían al perímetro del lote. Si el terreno lo permitía, las viviendas contaban con más de un patio. El primero estaba destinado a la familia propietaria y en el centro se encontraba el pozo de agua. En el segundo patio o tercero, se encontraba la cocina, el horno de barro, el depósito, el cobertizo, las habitaciones de los criados y la letrina.



Ilustración 20.- Patio interior de una vivienda tradicional cruceña.

Algunos ejemplos, en cuanto a planos se refiere de la distribución de estas viviendas podemos apreciarlos a continuación:

- Vivienda entre medianeras y con dos patios interiores

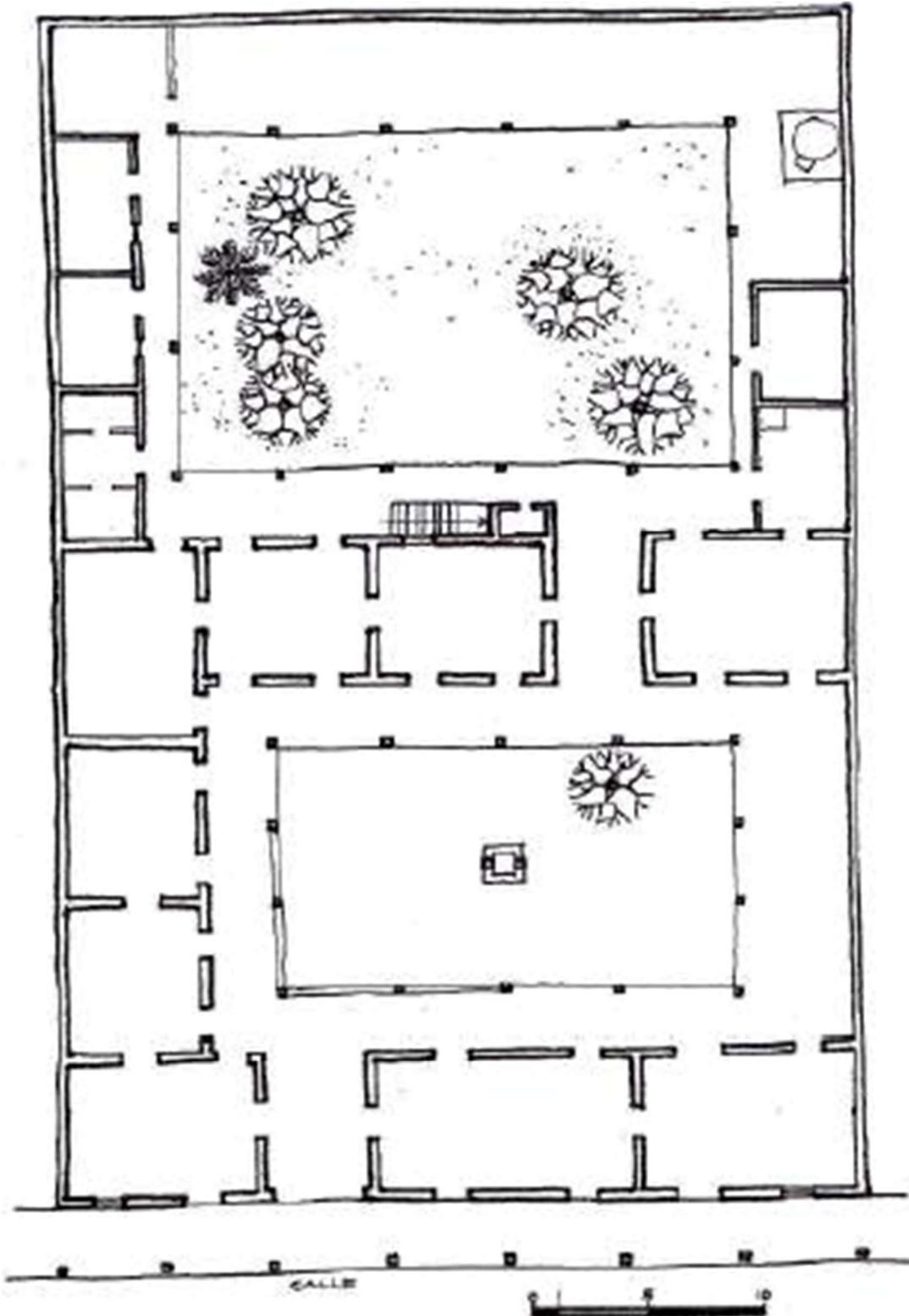


Ilustración 21.- Plano de una vivienda entre medianeras, con dos patios interiores.

- Vivienda en esquina con un solo patio interior

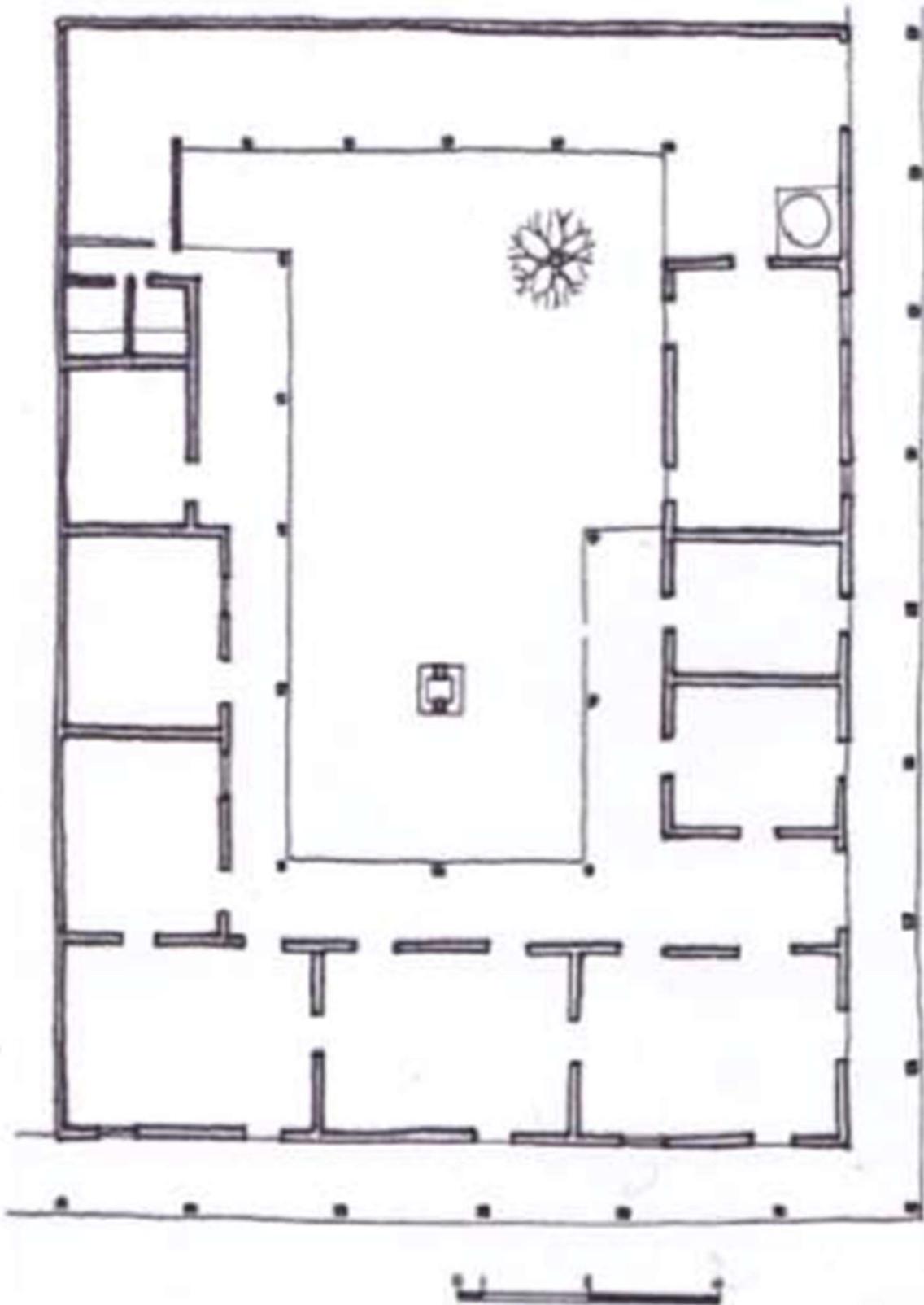


Ilustración 22.- Plano de una vivienda en esquina, con un solo patio interior.

2.5. La Arquitectura tropical

Un concepto muy aceptado para entender lo que es la Arquitectura Tropical es, que viene a ser la respuesta a la adaptación de las edificaciones que se encuentran en regiones tropicales, a todas las condiciones ambientales o por lo menos a su mayoría.

Parece hablar de este tema hay que hablar del clima de esta región, así las principales características del clima tropical, y por lo tanto lo que la arquitectura tiene que atenuar para brindar comodidad a sus ocupantes, son las siguientes:

- Las temperaturas elevadas casi todo el año.
- No tienen una verdadera estación fría durante el año.
- Existencia de una época seca, con temperaturas aún más elevadas, y una época de lluvia.
- La humedad relativa es alta en la mayor parte del año.
- Los vientos en la época seca permiten el ingreso del calor a las edificaciones, mientras que en la época lluviosa acarrean consigo la humedad.

Como podemos observar a continuación, en cuanto a caracterización, la arquitectura tropical es muy similar a la arquitectura bioclimática, por lo mismo es que sus características son muy parecidas:

- Utilización de materiales nativos del lugar donde se va a edificar
- Adaptación al entorno o medio natural (vegetación, elevación, presencia de agua, etc.)
- Aprovechamiento máximo de las condiciones meteorológicas del sitio, es decir: asoleamiento, vientos, temperaturas, etc.
- Un aspecto muy importante es son las costumbres de los ocupantes de las edificaciones, que como sabemos varían precisamente de acuerdo a la situación ambiental de cada zona. Esto conlleva también a que las costumbres de los habitantes del trópico sean un aspecto determinante para el proyecto de una edificación.

Algunas de las características morfológicas, espaciales y constructivas de la arquitectura tropical serían las siguientes:

- Utilización de cubiertas inclinadas por la presencia de abundantes lluvias durante una gran parte del año, y para la evacuación de las mismas.
- En el caso en concreto de la arquitectura tropical, claramente podemos observar una búsqueda de la sombra para buscar el confort térmico. Esto se realiza a través del alargamiento de las cubiertas, o la creación de espacios exteriores cubiertos anexos a los espacios principales de las edificaciones.
- Uso de los patios interiores y la vegetación para la mejora del microclima interior de la edificación.
- Los espacios, sobre todo los principales, de uso diario y/o masivo son amplios.
- La orientación es un aspecto vital para las edificaciones de la arquitectura tropical, puesto que la incidencia del Sol es muy alta al tener temperaturas

elevadas casi todo el año en estas zonas. En el caso de Santa Cruz de la Sierra la mejor orientación es la Sur.

- El manejo de los vanos (puertas, ventanas y huecos), también es otro aspecto fundamental porque esto nos permitirá ventilar la edificación de forma natural en la mayor manera posible.

2.6. Confort higrotérmico. ¿Qué es? ¿Para qué sirve? ¿Cómo lo obtenemos?

El confort higrotérmico consiste en la ausencia de malestar térmico, en unas condiciones ambientales que se encuentran dentro de ciertos parámetros para brindar comodidad a quien ocupe un espacio. Para la arquitectura es ahora un nuevo parámetro importante que debe de ser controlado para obtener el confort de los usuarios, puesto que serán estos quienes al usar los espacios proyectados se verán afectados si estos no son cómodos para realizar las actividades que allí estén asignadas.

Para poder estudiar, o en todo caso para lograr obtener el confort higrotérmico se deben de desarrollar dos grandes ámbitos: el cuerpo humano, que al fin al cabo es para quien se proyecta el espacio, y por otra parte el ambiente, con todas las variables que este conlleve para una localización en concreto.

2.6.1. El cuerpo humano como componente térmico de una edificación

Como sabemos, todos los seres humanos por el simple hecho de existir generamos calor. Es precisamente para brindarle confort a los seres humanos que utilizaran un espacio determinado, que se necesitan de ciertos márgenes térmicos para que puedan desarrollar sus actividades.

Hablando energéticamente una persona puede producir desde 115 hasta 2000 W, dependiendo de la actividad que realice. Y de toda la energía que produce y consume, entre el 75 y 100 % está destinado a la producción de calor dentro del organismo. Es así que la temperatura interna considerada normal, en la que no se produce ningún tipo de lesiones dentro del organismo, oscila entre los 37,6 °C, y este puede extenderse a un rango entre 36 y 38 °C.

Los factores que inciden en la interrelación entre el ser humano y un ambiente térmico son:

- La temperatura del aire
- La temperatura radiante
- La humedad del aire
- La velocidad del aire
- La actividad desarrollada
- La vestimenta

De estos seis factores, las cuatro primeras son generadas por el ambiente térmico y las últimas dos son aportadas por el ser humano.

Hay que tener en cuenta que los ambientes térmicos al no estar regulados pueden provocar sobrecargas térmicas, tanto por calor como por frío. La sobrecarga térmica está definida como: "Todo ambiente térmico que provoque tensiones en la persona que activen sus mecanismos de defensa naturales para mantener la temperatura interna dentro de su intervalo normal, constituye una sobrecarga. Las sobrecargas térmicas (por calor o por frío) provocan en el hombre las tensiones térmicas (por calor o por frío)". (Upc & Mondelo, 1999)

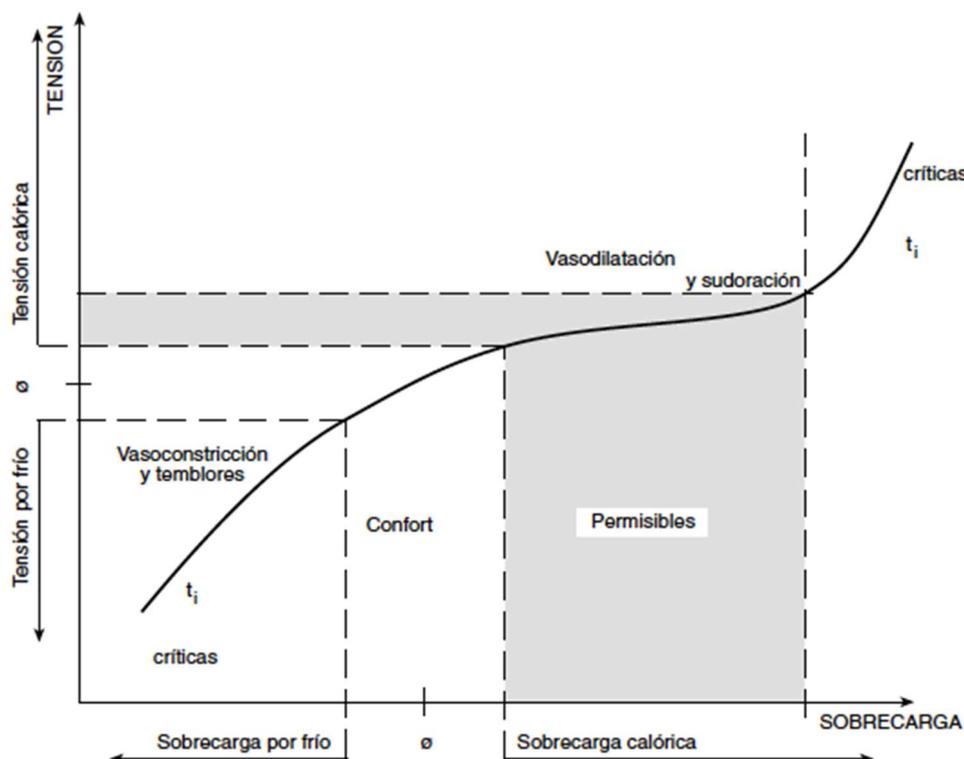


Gráfico 1.- Relación entre las tensiones y sobrecargas térmicas.

Por lo expuesto anteriormente, un ambiente térmico puede estar clasificado en 4 tipos:

- De bienestar o confort
- Permisible
- Critico por calor
- Critico por frio

“El mantenimiento de la temperatura corporal dentro de los citados límites es el resultado del equilibrio entre ganancias y pérdidas de calor del cuerpo situado dentro de un microclima determinado: si las ganancias superan a las pérdidas, el calor se acumulará en el organismo y la temperatura de éste tenderá a elevarse constantemente hasta alcanzar valores críticos que, de no variar la situación, pueden poner en peligro la vida.” (Upc & Mondelo, 1999)

Para determinar la termorregulación del cuerpo humano, se deben de tomar en cuenta las siguientes variables:

2.6.1.1. El metabolismo

“Podemos definir el metabolismo como la suma de las reacciones químicas que se producen en todas las células del organismo. El límite mínimo del metabolismo está determinado por la actividad fisiológica básica para mantenerse vivo, por lo que recibe el nombre de metabolismo basal (MB). El metabolismo basal varía con la edad, el sexo, el peso y por otras causas de origen psicofisiológico.” (Upc & Mondelo, 1999)

2.6.1.2. El sexo

Hablando de esta variable, se ha mostrado que las mujeres poseen una menor tolerancia a la sobrecarga calórica, y esto se nota aún más cuando estas se encuentran en estado de gestación. El cuerpo de la mujer posee una menor capacidad cardiovascular, por este motivo también le es más difícil aclimatarse a un lugar en comparación al hombre.

2.6.1.3. La constitución corporal

Con respecto a este tema, una persona que posee una gran masa corporal estará en desventaja en ambientes cálidos, puesto que supone un mayor esfuerzo, y por consiguiente mayor gasto de energía, para el cuerpo el tener que disipar todo el calor contenido y recibido por esta persona; mientras que en un ambiente frío tendrá mayor ventaja, puesto que la misma gran masa corporal le brinda mayor capacidad de producir calor. Ocurre exactamente lo mismo, pero en el sentido inverso, cuando hablamos de una persona de una constitución física delgada.

2.6.1.4. La edad

Los mecanismos que afectan la regulación de la temperatura del cuerpo humano se ven afectados con la edad. Diferentes aspectos como: la capacidad cardiaca máxima, la capacidad de trabajo físico, la producción de calor metabólico, la capacidad de disipar la carga calórica, entre otros sufre una disminución a medida que el cuerpo se deteriora en el tiempo.

2.6.1.5. La etnia

En este caso el color de la piel también contribuye a la termorregulación del cuerpo humano, pero hay que resaltar que no tiene una gran repercusión en la misma. Se ha demostrado que la resistencia al calor de las pieles oscuras se debe solamente al resultado de la evolución, y que, aunque teóricamente deberían absorber mayor cantidad de radiación, esto no sucede así en la práctica. Por el otro lado, las pieles de color claro tienden a oscurecerse para recibir de mejor manera la radiación.

2.6.1.6. La vestimenta

Este aspecto viene a formar una especie de “barrera” que, dependiendo del caso, incrementa o amortigua los efectos del ambiente sobre la persona. Hay que recalcar que se debe de saber utilizar la vestimenta para poder obtener diferentes efectos térmicos, así como aclarar que la misma no genera calor, sino que simplemente aísla el mismo tanto del que produce la persona como el que viene del ambiente térmico.

2.6.1.7. La aclimatación al calor

“La aclimatación al calor es la adaptación a condiciones microclimáticas calurosas y se adquiere en un tiempo entre 7 y 14 días, y quizás más, de exposición a las mismas. No obstante, ni una aclimatación “perfecta” puede garantizar que una persona esté totalmente protegida en situaciones extremas.” (Upc & Mondelo, 1999)

2.6.2. El ambiente térmico

Anteriormente habíamos mencionado los cuatro componentes sobre los que se basa el estudio de la interrelación entre el ambiente térmico y los organismos que lo habitan. Recordando, estos cuatro factores serían: la temperatura del aire, la humedad, la velocidad del aire y la temperatura radiante. De estos se descomponen en diferentes variables que van a ser explicadas a continuación.

2.6.2.1. La humedad absoluta y humedad relativa

“La humedad absoluta (HA) es la cantidad de vapor de agua contenida en un volumen determinado de aire. Se acostumbra a medir en kg/m^3 , mientras que la humedad relativa (HR) es la relación porcentual entre la presión de vapor de agua existente con respecto a la máxima posible para la temperatura del aire existente.” (Upc & Mondelo, 1999)

La medición de estas variables se puede realizar mediante tablas o diagramas psicrométricos. Otra forma es a partir de temperaturas del aire y de bulbo húmedo, en donde se determina mediante la ecuación de Antoine. Por último, se pueden medir ambas variables a través de Higrómetros, que puede ser: de condensación, de variación de la conductividad eléctrica o de absorción. Los de condensación son de alta precisión y elevado precio; además, su manejo es complejo. Se basan en la condensación del vapor de agua sobre un elemento refrigerado a la temperatura de rocío del aire. Los de variación de conductividad eléctrica pueden ser de dos tipos: para determinar la humedad absoluta o la humedad relativa.

2.6.2.2. El punto de rocío

Este es otro aspecto del ambiente térmico que indica la temperatura a la cual el rocío comenzaría a aparecer cuando el aire se enfriase lentamente.

2.6.2.3. La temperatura del aire y la temperatura de bulbo húmedo

La temperatura del aire, o atmosférica, se refiere a uno de los componentes del clima que hace referencia al grado de calor específico del aire de un lugar y momento en concreto, también toma en cuenta su evolución temporal y espacial para las distintas zonas climáticas.

La temperatura de bulbo húmedo es aquella que se mide con un termómetro envuelto en material especial absorbente saturado (generalmente algodón), del cual se evapora de forma espontánea agua hacia la atmósfera. Esta temperatura resultante es menor que la obtenida de un termómetro sin el material absorbente alrededor, por el consumo de energía calórica que debe realizarse para evaporar el agua de la cubierta absorbente.

2.6.2.4. La temperatura de globo y el cálculo de la Temperatura Radiante Media

Se denomina temperatura de globo a la temperatura indicada por un sensor (termómetro de globo) colocado en el centro de una esfera de las siguientes características:

- 150 mm de diámetro.
- Coeficiente de emisión medio: 90 (negro y mate).
- Grosor: tan delgado como sea posible.
- Escala de medición: 20 °C-120 °C.
- Precisión: $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ en temperaturas entre 20 °C y 50 °C, y $\pm 1^{\circ}\text{C}$ en temperaturas entre 50 °C y 120 °C.

El termómetro de globo debe ser colocado lo más cerca posible del lugar en que el trabajador desarrolla su actividad, y a la altura de su abdomen, cuando la radiación sea homogénea. En el caso de variaciones importantes cuando la radiación es heterogénea, deberían hacerse dos mediciones más (a las alturas de la cabeza y de los tobillos) y hacer una media ponderada entre estos valores, teniendo en cuenta que el valor medido junto al abdomen tendría el doble de importancia (suma de los tres valores, el del abdomen multiplicado por dos, y el resultado dividido entre cuatro).

La temperatura radiante media, que puede ser deducida de la temperatura de globo, da una idea más precisa que otras mediciones de las condiciones de comodidad de las personas. La forma de averiguar la temperatura radiante media es a partir de la siguiente fórmula:

$$T_{rm} = T_{globo} + 1,9 * \sqrt{v_a} * (T_{globo} - T_s)$$

en la que T_{rm} es la temperatura radiante media, T_{globo} es la temperatura de globo, v_a es la velocidad del aire, y T_s es la temperatura ambiente.

2.6.2.5. La velocidad absoluta y relativa del aire

La velocidad del aire influye en la interacción térmica del cuerpo humano y el ambiente térmico, acelerando o ralentizando la evaporación del sudor, por ejemplo, que regula la temperatura del cuerpo. Esto también ocurre con el intercambio por convección por el flujo del aire alrededor de cuerpo humano.

Por convenio, la velocidad del aire se considera como la intensidad media de velocidad integrada sobre todas las direcciones. Este parámetro se define por su intensidad y dirección; por lo tanto, la forma de medirlo es mediante sondas, que pueden ser omnidireccionales o direccionales.

La velocidad relativa depende de la velocidad del aire y de la velocidad del cuerpo, o de una parte del cuerpo, respecto al aire teóricamente inmóvil.

Si bien el hombre solo puede percibir el movimiento del aire a partir de 0,25 m/s, en la tabla a continuación se puede observar una clasificación estimada según la velocidad del aire.

Tipo de movimiento	Velocidad del aire (m/s)
Movimiento imperceptible	$v_a < 0,25$
Ligera brisa	$0,25 < v_a < 0,50$
Brisa (sacude cabello o vestido)	$0,50 < v_a < 1,50$

Tabla 1.- Clasificación estimada de la velocidad del aire.

2.6.2.6. El calor metabólico

Hay que recordar que el metabolismo es la suma de todas las reacciones químicas que se producen en el interior del cuerpo humano, por la combustión de todos los alimentos que ingerimos con el oxígeno, y que casi en su totalidad toda esa energía obtenida se convierte en calor para el organismo.

El calor metabólico correlaciona habitualmente con la superficie corporal (S.C.) en metros cuadrados, y con el peso (Pc) en kilogramos.

La superficie corporal se puede determinar a partir del peso y la estatura, mediante tablas, nomogramas o ecuaciones como la de DuBois & DuBois (1915) o también con el nomograma anterior:

$$SC = 0,202 Pc^{0,425} H^{0,725}$$

donde:

SC: superficie corporal (m²)

Pc: peso corporal (kg)

H: altura (m)

Sin embargo, sin afectar la precisión necesaria y suficiente, en la mayoría de los trabajos habitualmente se utiliza el valor de superficie corporal de 1,8 m², que es el de un "hombre estándar" de 70 kg de peso y 1,73 m de estatura.

Otra unidad utilizada es el met, que equivale a 58,15 W/m² (50 kcal/m² h), valor que corresponde a la producción metabólica de una persona sentada en reposo. En la figura 2.13 se muestra una relación de actividades en W/m² y en met.

W/m ²	Norma ISO 7243		
	met.	Kcal/(m ² h)	Kcal/h
58,15	1	50	90
69,6	1,2	60	110
81,2	1,4	70	125
92,8	1,6	80	145

Tabla 2.- Relación de actividades en W/m² y en met.

Por diferentes razones (técnicas, económicas, etc.), a veces no es posible lograr el confort higrotérmico en un determinado local o microclima. Como se explicó anteriormente, si bien se tiene un rango para las variables que afectan a sentirse cómodos a los seres humanos en un ambiente determinado, estos pueden variar drásticamente de uno a otro por las costumbres que cada uno conlleva.

Por lo mismo se tiene en cuenta que aproximadamente un 5% de un grupo de personas, dentro de un mismo local, estarán disconformes con las condiciones térmicas, aun estando todas las variables dentro del rango de confort.

Utilizamos las tres condiciones que Fanger toma en cuenta para que un individuo establezca el confort térmico con su entorno:

- que se cumpla el equilibrio térmico
- que la tasa de sudoración esté dentro de los límites de confort
- que la temperatura media de la piel esté dentro de los límites de confort.

Para lo mismo se utiliza la ecuación general del balance térmico, que viene dada por la siguiente expresión:

$$M \pm W \pm R \pm C - E \pm C_{res} \pm E_{res} - E_d \pm C_{cond} = C_{cond.clo} = A$$

siendo:

- M: energía metabólica producida por el organismo
- W: trabajo mecánico externo
- R: intercambio de calor por radiación
- C: intercambio de calor por convección
- E: pérdida de calor por evaporación del sudor
- C_{res} : intercambio de calor por convección respiratoria
- E_{res} : intercambio de calor por evaporación respiratoria
- E_d : pérdida de calor por difusión de agua por la piel
- C_{cond} : intercambio de calor por conducción
- $C_{cond.clo}$: intercambio de calor por conducción por la ropa
- A: pérdida o ganancia de calor en el cuerpo

2.6.3. Condiciones para establecer el confort térmico

Hemos definido el confort térmico como aquel estado de satisfacción con las características térmicas del ambiente, cuya condición básica, generalmente, es que exista el equilibrio térmico sin necesidad de sudar. Para una persona determinada que realice un nivel de actividad M, con un vestido y un entorno dado, el equilibrio térmico se alcanzará con una combinación específica de temperatura media de la piel y pérdida de sudor.

Por convenio, los diferentes autores que han tratado el tema aceptan que para cada persona y actividad existe un rango de valores de temperatura de la piel (t_p) y de pérdidas de sudor por evaporación (E), que darán lugar a la sensación de confort.

La temperatura media de la piel decrece en las actividades intensas mientras se incrementan las pérdidas por sudor.

A esto hay que volver a resaltar, que estas condiciones no garantizan lograr el confort para todas las personas presentes en un local o microclima. Sino que obtendremos un rango de variables que brinde confort térmico para la mayoría de los ocupantes.

2.6.3.1. La valoración del confort higrotérmico

Dentro de todos los métodos que se han elaborado para evaluar y valorar el confort térmico, el más acertado es el de Fanger, puesto que engloba todas las variables que influyen en el intercambio de calor entre el ocupante y el ambiente térmico:

- nivel de actividad
- características del vestido
- temperatura seca o del aire
- humedad relativa
- temperatura radiante media
- velocidad del aire.

A continuación, podemos observar un resumen de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo, en donde se tiene un compendio de valores para algunas variables según la intensidad del trabajo.

Suministro de aire o Renovación total del aire	> 50 m ³ /hora/trabajador > 6 veces/hora (trabajos sedentarios) > 10 veces/hora (trabajos con esfuerzo físico)
Velocidad del aire	> 15 m/min (0,25 m/s) (temperatura normal) > 45 m/min (0,75 m/s) (ambiente caluroso)
Temperatura	17 a 22 °C (trabajos sedentarios) 15 a 18 °C (trabajos ordinarios) 12 a 15 °C (trabajos con acusado esfuerzo físico)
Humedad relativa	40 - 60 % > 50 % (si se puede generar electricidad estática)

Tabla 3.- Resumen de la Ordenanza General de Seguridad e Higiene en el Trabajo.

2.6.3.2. Las Curvas de confort

Las curvas de confort muestran las condiciones de temperatura y humedad más adecuadas para desarrollar una actividad dentro de un local o microclima. Un ejemplo sería el siguiente, que fue elaborado por Fanger.

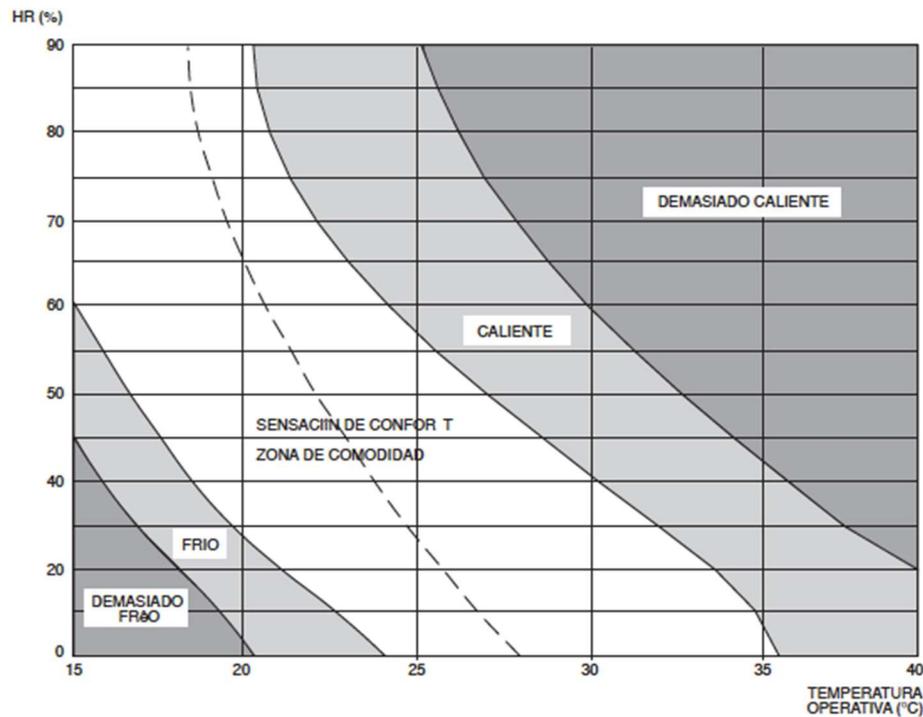


Grafico 2.- Curvas de confort. (P.O. Fanger).

3. Objetivos

Explicado anteriormente el tema de investigación, pasaremos a desglosar los objetivos que tiene la misma:

- Analizar el comportamiento termodinámico de las tipologías de vivienda de la época colonial en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia, a través de la simulación digital con la ayuda del programa OpenStudio y EnergyPlus.
- Analizar la procedencia de la arquitectura colonial en Santa Cruz de la Sierra.
- Analizar y comparar si la distribución de los espacios arquitectónicos, dentro del estilo de la época colonial, colaboraban con el confort higrotérmico.
- Analizar y comparar si los materiales actuales tanto de la región como de otras regiones tendrían un mayor impacto en el aislamiento térmico

4. Metodología

El camino que seguiremos para hacer esta investigación estará marcado por los pasos descritos a continuación, que nos mostraran como vamos internándonos desde la ciudad como un todo, pasando por la configuración de los manzanos y llegando a las viviendas propiamente dichas. El método a utilizar se basará en la elección de casos de estudio en concreto, que representaran el proceso evolutivo y adaptativo de la arquitectura colonial en el entorno tropical que presenta la zona.

1. Descripción del contexto histórico de la ciudad de Santa cruz de la Sierra.

Aquí haremos énfasis en el por qué se funda esta ciudad, las curiosidades de la misma al tenerse que trasladar de ubicación geográfica en más de una oportunidad, y

finalizando, con una descripción de la configuración de la ciudad colonial, marcada por la cuadrícula que forman los manzanos.

2. Descripción del contexto situacional ambiental y geográfico de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra

En este apartado lo que haremos será describir las diferentes características ambientales de la región geográfica sobre la cual se encuentra asentada la ciudad de Santa Cruz de la Sierra. El clima, las temperaturas, las precipitaciones, y el relieve serán los puntos a tratar en esta parte.

3. Investigación histórica sobre el origen de la arquitectura colonial en Santa Cruz de la Sierra.

En este punto se realizará una compilación de información sobre la arquitectura que da origen a la que se desarrolla en Santa Cruz, centrándonos principalmente en la arquitectura residencial (viviendas), ya que es la edificación de principal prioridad para dar refugio a los colonos españoles en los nuevos territorios.

4. Investigación de la evolución histórica de la arquitectura tradicional residencial de Santa Cruz de la Sierra.

Aquí haremos una recopilación de las transformaciones que sufrió la arquitectura tradicional residencial cruceña a través del tiempo, que significó el crecimiento y evolución de la ciudad en sí. Aquí es donde podremos denotar ejemplos, que pueden ser nuestros casos de estudio.

5. Conceptualización de la arquitectura tropical y su relación con el estudio.

En este apartado describiremos las diferentes definiciones y conceptos que componen la arquitectura tropical; que nos aportará un punto de vista, que tal vez no era estudiado como tal en la época colonial, pero que lo principal siempre ha sido la búsqueda del confort de los usuarios.

6. Conceptualización del confort higrotérmico, sus variables y componentes.

Llegados a este punto nos adentraremos en explicar lo que es el confort higrotérmico, que viene a ser lo principal razón de esta investigación. Así también, explicaremos sus componentes principales: el cuerpo humano como componente térmico (usuarios), y el ambiente térmico (la edificación y el entorno); dentro de esto tenemos diferentes subcomponentes que se explicaran en detalle más adelante.

7. Elección, Descripción y Desarrollo de los Casos de Estudio

En esta parte, primero explicaremos que los datos que utilizaremos para la simulación son los más antiguos y completos que se haya podido encontrar con la colaboración del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia (SENAMHI). Luego también haremos hincapié, en que, al no contar con los archivos digitales de clima necesarios para la simulación, utilizaremos el de una ciudad que se encuentre en similares condiciones geográficas y ambientales a Santa Cruz.

Explicaremos también, los materiales y describiremos los perfiles constructivos que se usaron en la arquitectura tradicional residencial cruceña, y que, por lo tanto, se utilizaron en nuestros objetos de estudio.

Como parte final de este punto se hará una explicación arquitectónica compositiva de nuestros objetos de estudio; que serán los dos tipos de viviendas que fueron las predominantes en la época colonial (Entre medianeras y en esquina).

8. Descripción del Proceso de Modelado 3D y Simulación

En este punto se explicará al detalle el proceso por el cual se hizo el modelado en 3D de las maquetas digitales de nuestros objetos de estudio, a través del programa SketchUp. Principalmente, mostraremos las diferentes zonas térmicas que hemos designado como componentes de nuestros objetos de estudio.

Como segunda parte, describiremos todo el proceso de configuración antes de la simulación. Comenzaremos con la configuración del lugar, donde utilizaremos los archivos digitales de clima de la ciudad que hayamos elegido como la más similar a Santa Cruz de la Sierra. Después, pasaremos a la creación de los materiales, con sus características físicas de transmisión de calor, también crearemos los perfiles constructivos y los conjuntos de perfiles constructivos de la Arquitectura tradicional cruceña. Luego, configuraremos los espacios, también revisaremos la geometría para constatar que no haya ningún error en el guardado de la misma desde SketchUp. Posteriormente, revisaremos las zonas térmicas y configuraremos las temperaturas límites para el funcionamiento de los equipos de refrigeración y calefacción.

En esta última parte, antes de la simulación, configuraremos las variables de salida, que nos brindaran datos para tener una mejor idea de la demanda energética de las viviendas que hemos tomado como objetos de estudio. Correremos la simulación en OpenStudio, y luego revisaremos los datos en la pestaña "Resumen de Resultados" (Result Summary), y también utilizaremos el DView, como un visor de resultados para obtener mejores detalles de los mismos.

9. Análisis de resultados y posibles mejoras arquitectónicas y constructivas

Con los datos obtenidos en el punto anterior, haremos un análisis de nuestras principales necesidades, si de calefacción o refrigeración. También se harán propuestas principalmente de carácter constructivo para obtener mejores resultados, y bajar la demanda energética de nuestros objetos de estudio. En estas propuestas, cabe recalcar que por la época no se tenían los conocimientos para incluir, por ejemplo, cámaras de aire en los muros o aislante en las cubiertas que permitan obtener el confort higrotérmico que buscamos.

Luego configuraremos nuevos perfiles constructivos y volveremos a correr la simulación para verificar si hay cambios, y si son significativos, para una muestra comparativa de los resultados obtenidos en cuanto a los beneficios e inconvenientes que se presentaban en el sujeto de estudio.

5. Caso de Estudio

La edificación que será nuestro caso de estudio es la vivienda tradicional cruceña en su forma más compleja, como fue descrita en el inciso sobre la arquitectura tradicional de Santa Cruz de la Sierra. Para ser más concretos estudiaremos los dos tipos de viviendas que son las que se repetían en toda la ciudad en la época colonial: la vivienda entre medianeras y la vivienda en esquina.

5.1. Contexto situacional ambiental actual

La importancia de saber el lugar donde se desarrollará cualquier edificación es primordial antes del comienzo del estudio, por lo mismo explicaremos las condiciones climáticas y geográficas a continuación:

5.1.1. El clima

El clima de la región es tropical. Santa Cruz de la Sierra se caracteriza por tener precipitaciones abundantes en la mayoría de los meses, pero también cuenta con una corta estación seca. Por esto mismo, es que según la clasificación del clima de Köppen-Geiger, Santa Cruz de la Sierra posee el rango Am (Tropical – Monzónico). (es.climate-data.org, n.d.)

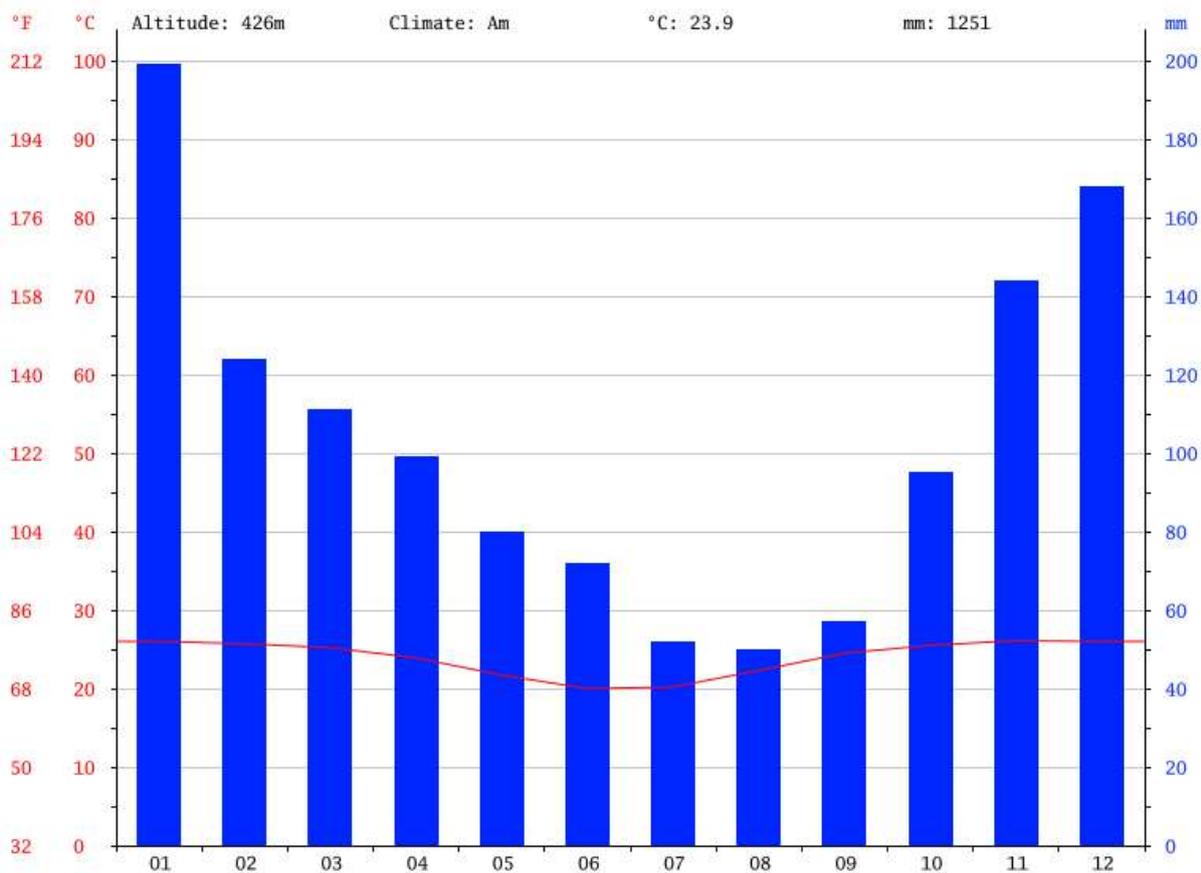


Grafico 3.- Climograma de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

En el cuadro anterior, podemos observar el cuadro de precipitaciones medias de cada mes del año, donde podemos visualizar una marcada época seca entre los meses de julio y septiembre. Convirtiéndose agosto en el mes más seco, con unos 50 mm de lluvia. Y así mismo, pero de manera inversa, una época lluviosa entre noviembre y enero, donde se llegan a alcanzar casi los 200 mm de lluvia. La precipitación promedio al año sería 1251 mm.

Estudio del comportamiento térmico de la arquitectura habitacional y patrimonial de Santa Cruz de la Sierra, Bolivia

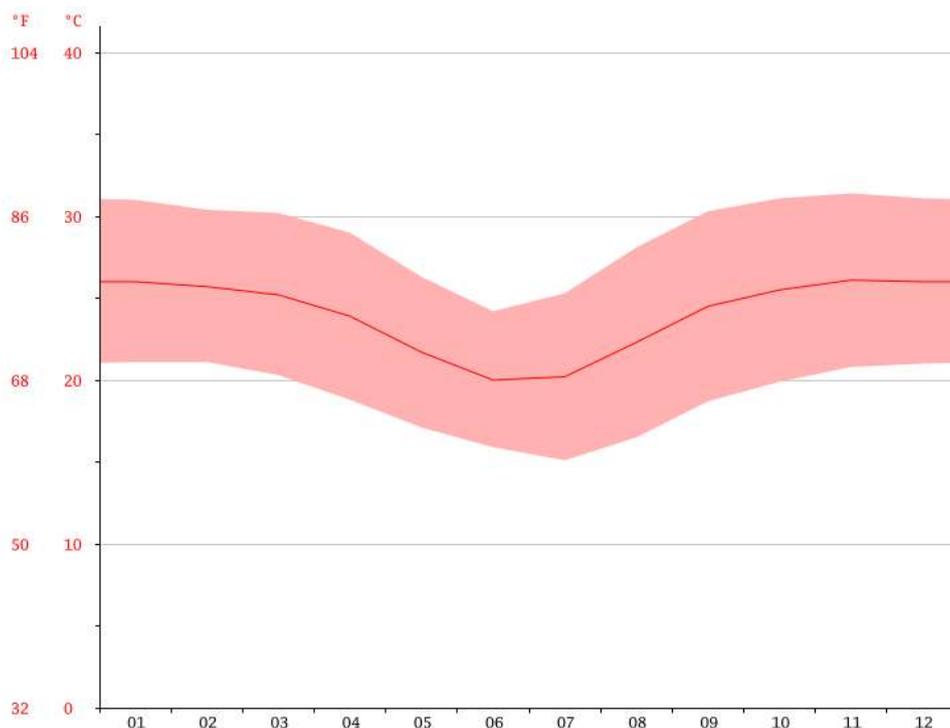


Gráfico 4.- Diagrama de temperatura Santa Cruz de la Sierra, Bolivia.

Del cuadro anterior, podemos visualizar que tenemos una depresión de las temperaturas a mediados de año, pero que en su gran mayoría se cuenta con un clima cálido durante casi todo el año. La temperatura promedio de esta zona es de 23.9 °C, noviembre es el mes más cálido del año y su temperatura promedio es 26.1 °C. En la otra parte, a 20.0 °C en promedio, junio es el mes más frío del año.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	26	25.7	25.2	23.9	21.7	20	20.2	22.3	24.5	25.5	26.1	26
Temperatura mín. (°C)	21.1	21.1	20.3	18.8	17.1	15.9	15.1	16.5	18.7	19.9	20.8	21
Temperatura máx. (°C)	31	30.4	30.2	29	26.3	24.2	25.3	28.1	30.3	31.1	31.4	31.1
Temperatura media (°F)	78.8	78.3	77.4	75.0	71.1	68.0	68.4	72.1	76.1	77.9	79.0	78.8
Temperatura mín. (°F)	70.0	70.0	68.5	65.8	62.8	60.6	59.2	61.7	65.7	67.8	69.4	69.8
Temperatura máx. (°F)	87.8	86.7	86.4	84.2	79.3	75.6	77.5	82.6	86.5	88.0	88.5	88.0
Precipitación (mm)	199	124	111	99	80	72	52	50	57	95	144	168

Tabla 4.- Tabla climática de Datos históricos del tiempo Santa Cruz de la Sierra.

Pese a ubicarse en latitudes netamente tropicales y estar la mayor parte del territorio cruceño en altitudes moderadas el clima es más fresco de lo que cabría suponer, esto se debe precisamente al predominio de un relieve llano que ofrece escaso obstáculo a

los avances de los frentes eólicos, especialmente a los vientos; de este modo existen dos estaciones muy diferenciadas: un verano cálido con temperaturas que rondan los 30° C con lluvias tropicales (diciembre – febrero), y un invierno fresco con temperaturas que rondan los 20° C, e incluso hasta en ocasiones bastante frío (en los meses de junio y julio las temperaturas en la ciudad Santa Cruz de la Sierra suelen bajar de los 10° C). Descenso de temperatura ostensible en los horarios nocturnos. Los vientos procedentes de la Antártida (surazos) producen bruscas bajas de la temperatura. Las áreas orientales, occidentales y norte son las más húmedas mientras que el centro y sur del territorio cruceño es seco. (Dmytro Zrahevskyi, n.d.)

La cubierta vegetal del territorio está influida por las distintas condiciones climáticas. En la parte noroeste (provincias Ichilo y parte de Sarah y O. Santisteban se desarrolla un bosque pluvial denso, siempre verde compuesto de especies latifoliadas perennes (algunas como mara, ochoó, palo maría, etc., de gran valor comercial). Más hacia el este el bosque es estacional, es decir, fuertemente afectado por los cambios entre estaciones secas y lluviosas del año, transformándose en una sabana con vegetación mixta de pasto, árboles y arbustos. En las serranías del sub andino, se desarrolla un bosque montano. El territorio central y sureño del departamento, conocido con el nombre de chaco, tiene un bosque con latifoliadas deciduas y matorral, o matorral espinoso y seco. (Dmytro Zrahevskyi, n.d.)

5.1.2. Relieve de la región

En territorio de la región de Santa Cruz se puede delimitar tres zonas:

- La Faja Subandina (una parte) con una superficie de 29,301 km², que representa las últimas estribaciones de la Cordillera de los Andes y constituye un complejo de montañas, serranías, colinas, valles y terrazas, tiene como punto culminante el Cerro Naranjos con 3,092 metros de altura, esta región presenta una temperatura promedio anual que varía entre los 16 y los 22° C.
- La Llanura con un extensión de 152,910 km², la misma que tiene una topografía casi plana o ligeramente ondulada y una temperatura promedio anual de 24° C en gran parte corresponde al Gran Chaco, el relieve es llano con hondonadas señaladas por riachos temporarios y lagunas que en muchos casos se transforman en salinas. Las principales elevaciones se ubican en el extremo norte de la región chaqueña, en la llamada Serranía de San José (cerro Chochis de 1,250 msnm), al sur prácticamente en las fronteras con el Paraguay, se elevan aislados pequeños cerros como el San Miguel de 839 msnm y el Ustarez con 616 msnm.
- El Escudo precámbrico con 188,410 km², caracterizado por un relieve topográfico con partes planas y onduladas. (Dmytro Zrahevskyi, n.d.)

5.2. Caso de Estudio N° 1 - La vivienda en esquina

En este caso podemos denotar la importancia que adquiere el espacio central, como centro predominante de la vivienda. A sus alrededores se desarrollarán las diferentes zonas funcionales de la misma.

Al igual que el anterior modelo, la zona social siempre estará contigua a la vía pública (calle o acera). Así, en este tipo de vivienda podemos observar dos ingresos; uno principal para los propietarios de la vivienda y sus invitados, y uno secundario, para el personal de servicio, sirvientas o peones.

Continuando con la zonificación, el área íntima, perteneciente a los propietarios de la vivienda, se encuentra intermedia entre el área social y el de servicio. En la parte trasera de la vivienda se encontraría esta última zona. Aquí se desarrollarían la cocina, baños, habitaciones para el personal de servicio si es que conviven con sus patrones, incluso algunos corrales para animales si es del agrado del propietario.

Algo muy llamativo también son los patios cubiertos, también llamados galerías, donde se acostumbra pasar el tiempo para amortiguar el calor casi siempre presente a lo largo del año en la región.

Cabe recalcar que, en ambos tipos de viviendas, los terrenos sobre los que construyeron son de grandes dimensiones, por lo que la ventilación e iluminación de los mismos era un poco más fácil de lograr. Pero que no se contaban con los conocimientos necesarios para definir una norma, sino que era en dependencia de las necesidades de los usuarios, y del proceso de "prueba y error".

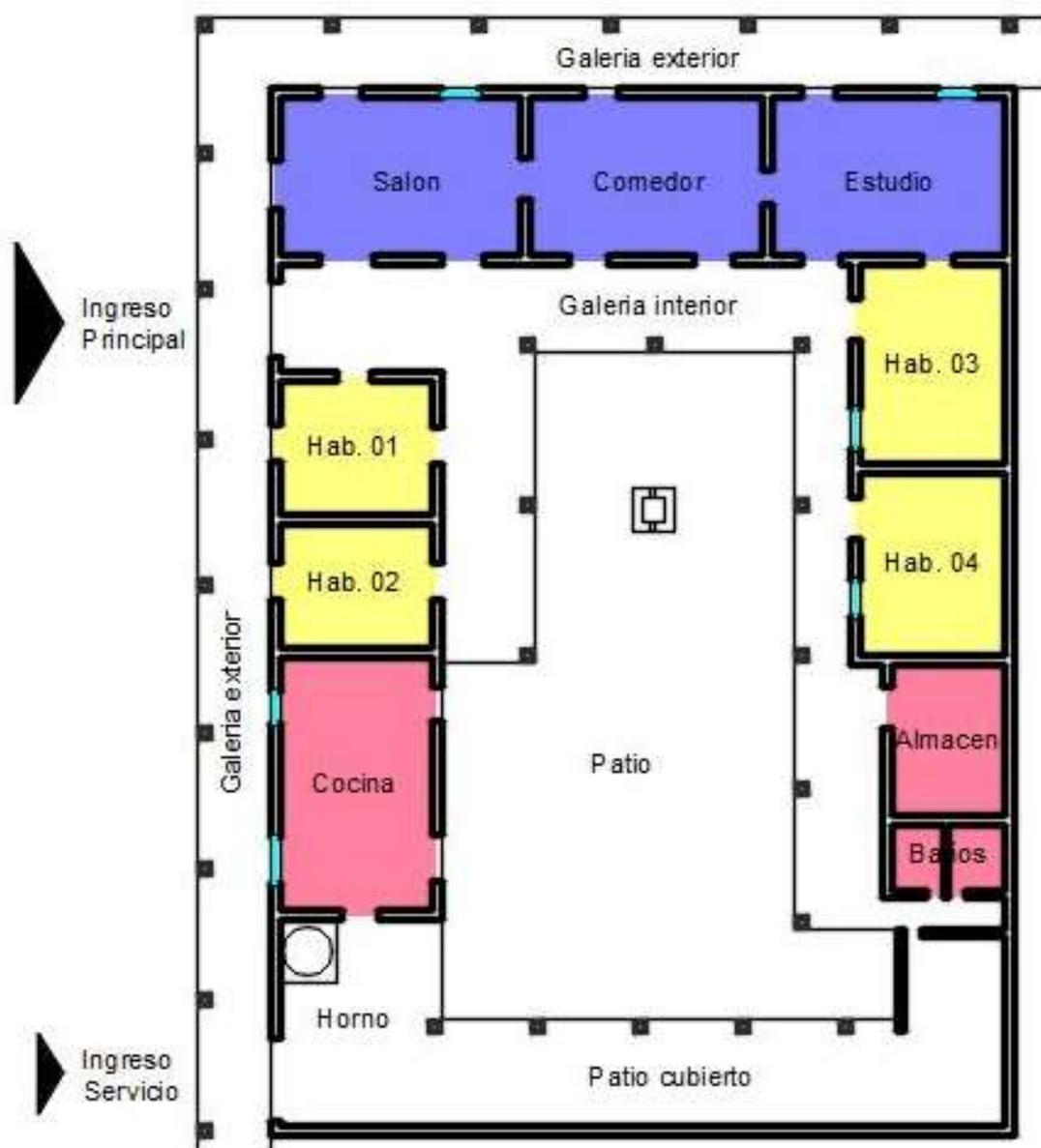


Ilustración 23.- Plano con zonificación. Vivienda tradicional en esquina.

5.3. Caso de Estudio N° 2 - La vivienda entre medianeras

En este ejemplo podemos observar que posee dos patios interiores bien marcados, y que cumplen diferentes funciones ya que existe uno que se encuentra más cerca de la calle, es para uso social y se cuenta con el aljibe para proveer de agua a la vivienda.

El segundo patio es de servicio, cuenta con bastante vegetación y algunas veces servía para criadero de animales.

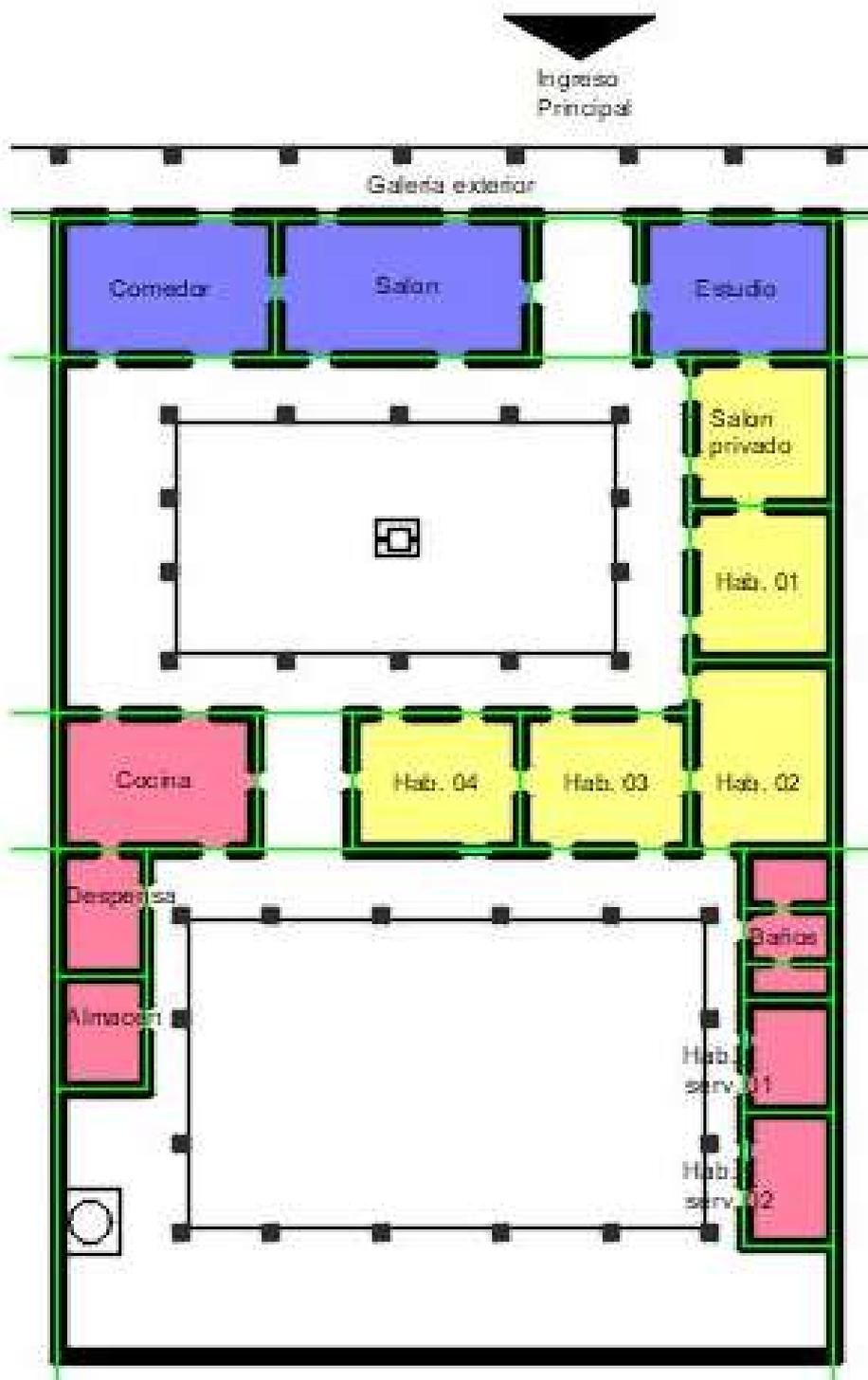


Ilustración 24.- Plano con zonificación. Vivienda tradicional entre medianeras.

En cuanto a la división funcional dentro de la vivienda el área social se encuentra más cercana a la calle, cuenta con un pasillo amplio a modo de recibidor y que lleva directamente al patio principal.

Tanto dentro como fuera de la vivienda observamos la presencia de pasillos cubiertos que por un lado tienen columnas y por el otro las paredes o muros, en dependencia de si son interiores o exteriores, en ambos casos esto se denominó “Galerías”. Este tipo de espacios además de servir de comunicación entre los espacios principales, permitían mantener los microclimas interiores de la vivienda, ya que sirven como cámara de aire para separar las condiciones exteriores de las interiores.

El área íntima se encuentra como división entre los patios en el caso de que la vivienda sea de una sola planta, y si fuera de dos plantas viene a encontrarse en la planta alta.

El área de servicio se encuentra generalmente en la parte posterior de la vivienda, sea de una o dos plantas, denotada por el patio secundario.

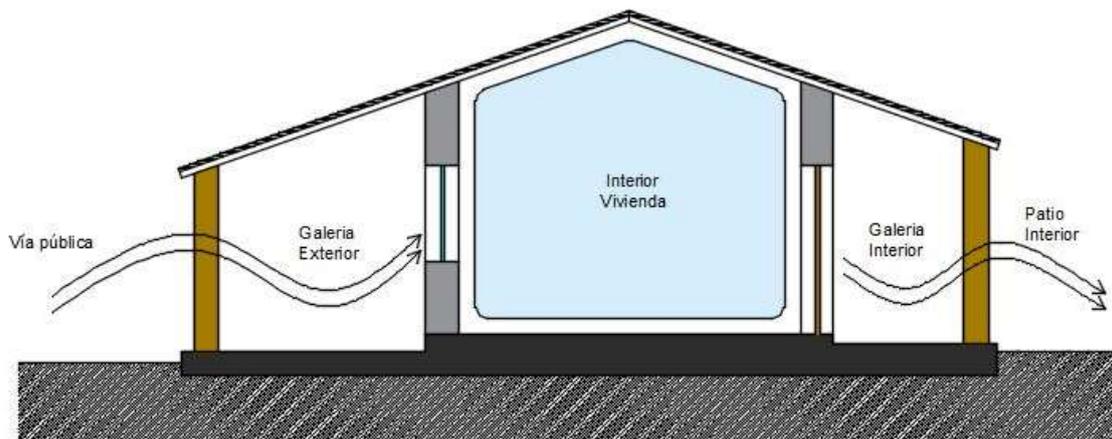


Ilustración 25.- Sección del bloque a la vía pública y patio interior, de la vivienda tradicional cruceña.

En la imagen anterior, podemos observar un caso que ocurre en ambos tipos de vivienda dentro de la arquitectura tradicional cruceña; lo principal es que contamos con ventilación natural por los laterales de un bloque de la vivienda, lo que nos da la ventaja de tener ventilación cruzada. Cabe recalcar que las puertas de esta época servían como ventanas ya que, como se mostró anteriormente, se dividían en cuatro hojas (dos superiores y dos inferiores), que permitían abrir solo una parte de las mismas para permitir el ingreso de aire del exterior.

Otra característica que podemos resaltar es la presencia de las galerías tanto en el exterior como en el interior de la vivienda; esto se realizaba como una medida para evitar que el calor ingresara fácilmente a la vivienda, creando “colchones de aire” en los laterales que cumplan esta función.

El otro caso que podemos observar en la imagen siguiente, es el de los bloques que se encuentran colindantes a las edificaciones o viviendas vecinas; que nos imposibilitan obtener una ventilación cruzada, y que en ciertos casos nos crean problemas de estanqueidad del calor principalmente, y de poca renovación de aire. En

este caso, contamos con un “colchón de aire” y estaríamos en dependencia del vecino para tener una edificación colindante que permita a ese lateral no estar expuesto gran parte del día a recibir la radiación directa del sol.

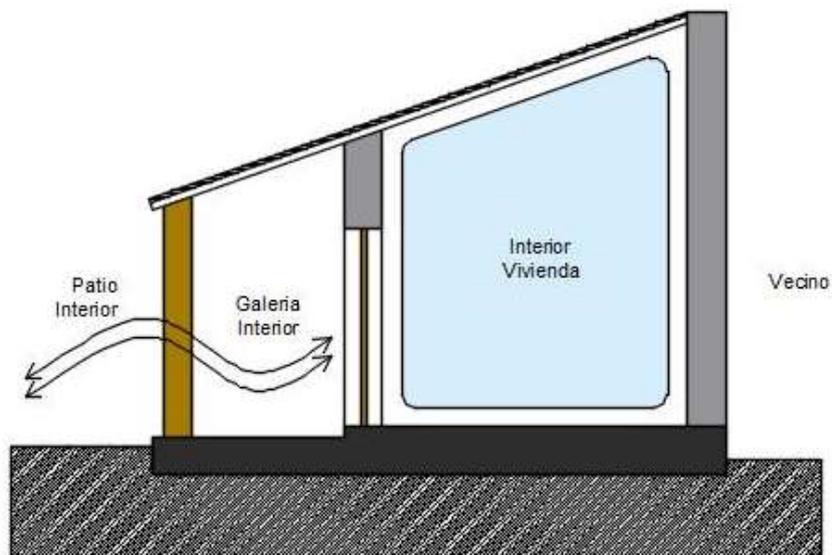


Ilustración 26.- Sección de bloque interior de la vivienda tradicional cruceña.

5.4. Determinación de variables climáticas – Ficha Climática

Aunque anteriormente hicimos una descripción del clima de la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, cabe resaltar que el objeto de estudio se encuentra en la época colonial, y aunque no podemos saber con exactitud los datos climáticos de aquella época, hemos acudido al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Bolivia (SENAMHI) para obtener información. Por este motivo los datos que usaremos serán los más antiguos que cuenta y nos ha facilitado esta institución, pero que a la vez son los más completos.

Esto se referirán a los años 1949 – 1959, donde Santa Cruz de la Sierra todavía no se ha desarrollado como la urbe que es actualmente, sino un punto en que la ciudad era relativamente pequeña; para que las edificaciones en altura que ahora existen y la elevada densidad demográfica actual no afecten a lo que se quiere estudiar.

A continuación, tenemos los datos de la estación meteorológica de la cual hemos obtenidos los datos provistos por el SENAMHI:

Estación N°:	316
Departamento:	Santa Cruz
Provincia:	Andrés Ibáñez
Latitud:	17° 45' 00" Sur
Longitud:	63° 10' 00" Oeste
Elevación:	413 m.s.n.m.

Las temperaturas, tanto máxima, media y mínima, promedio para los diferentes meses y años dentro del periodo 1949-1959, son las mostradas en el siguiente diagrama:

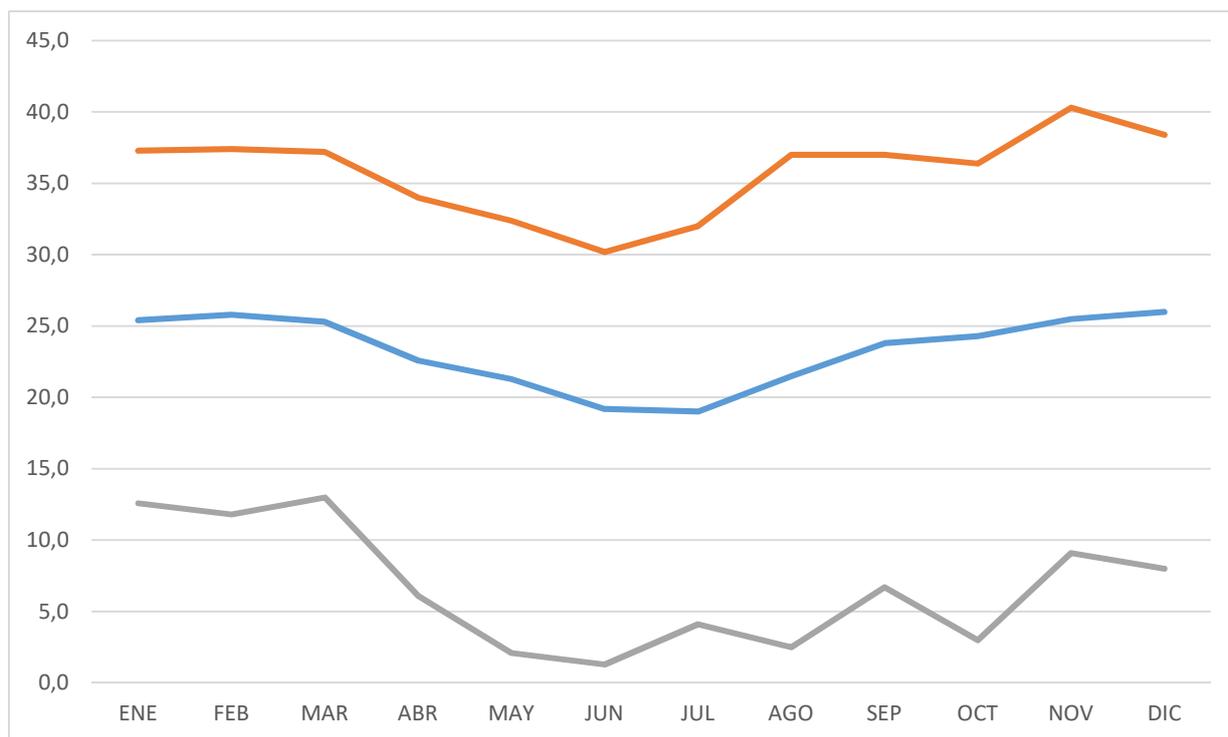


Grafico 5.- Temperaturas Máximas, Medias y Mínimas de Santa Cruz, 1949 - 1959.

Para la realización de la simulación, lamentablemente no contamos con el archivo .epw (Energy Plus Weather File), y .ddy (Location and Design Day Data), que se necesitan para realizar la simulación en los programas OpenStudio y Energy Plus, hemos optado por elegir una ciudad que cuente con características meteorológicas lo más parecidas posible a la situación climática y geográfica del lugar donde se encontraría el objeto de estudio.

En este proceso hemos establecido dos ciudades pertenecientes a Brasil: Cuiabá y Campo Grande, que cuentan con características climáticas parecidas a la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, y para el proceso de selección final nos hemos ayudado de los siguientes cuadros:

	Latitud	Longitud	Elevación
Santa Cruz	17,75° S	63,17° O	413 m
Campo G.	20,47° S	54,67° O	556 m
Cuiabá	15,65° S	56,1° O	182 m

Tabla 5.- Tabla comparativa de coordenadas geográficas y elevación entre las ciudades de Santa Cruz de la Sierra, Cuiabá y Campo Grande.

Temperatura media (°C)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa Cruz	25,4	25,8	25,3	22,6	21,3	19,2	19	21,5	23,8	24,3	25,5	26
Campo G.	25	24	25	25	21	21	20	23	23	25	25	25
Cuiabá	27	27	27	26	25	25	23	26	27	28	27	27

Temperatura máxima (°C)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa Cruz	37,3	37,4	37,2	34,0	32,4	30,2	32,0	37,0	37,0	36,4	40,3	38,4
Campo G.	35	33	34	33,5	32,5	32	32,5	35	37	35,3	35,8	34,5
Cuiabá	35,4	35,3	35,6	35	37	35,5	35	40	39	41	36	35

Temperatura mínima (°C)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa Cruz	12,6	11,8	13,0	6,1	2,1	1,3	4,1	2,5	6,7	3,0	9,1	8,0
Campo G.	18	18,5	18	12	3	10	7	10	11	17	14	17
Cuiabá	22	19,9	20	16	12	17	9	13,5	13,5	17,5	19	21

Humedad relativa (%)

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa Cruz	79,8	80,2	80,5	79,8	81,2	79,3	74,9	67,4	65,1	68,6	73,9	77,3
Campo G.	77	77	75	69	69	65	65	54	62	61	65	74
Cuiabá	75	76	78	74	71	65	63	52	61	64	72	72

Tabla 6.- Comparativas de temperaturas y humedad relativa entre la ciudades de Santa Cruz de la Sierra, Cuiabá y Campo Grande.

Como podemos observar en los cuadros comparativos anteriores, la ciudad elegida para la simulación por sus similitudes con Santa Cruz de la Sierra, es Campo Grande, aunque se encuentra un poco más al norte, los demás parámetros son muy semejantes a los datos obtenidos a través del SENAMHI.

5.5. Descripción Constructiva

Para describir un poco de los materiales de la época, podemos decir que no eran demasiado elaborados puesto que la ciudad no era de las más importantes de la colonia y además tenía un difícil acceso, que conllevaba un viaje de varios días. Por lo

mismo, se utilizaron materiales del lugar, principalmente la madera, y que eran utilizados por los nativos; pero que fueron mejorados considerablemente con los conocimientos de los colonos.

Cabe recalcar que los principales materiales de la época fueron: la madera, el adobe, la paja, la cal, la teja arcilla cocida tipo colonial o española y el vidrio. Por lo mismo es que hemos configurado el siguiente cuadro con las características de conductividad, densidad y calor específico de cada uno de ellos.

Descripción	λ Conductividad (W/m.K)	ρ Densidad (kg/ m ³)	Cp Calor específico (J/Kg.K)
Madera (Tajibo) Frondosa, pesada	0,23	750< ρ ≤870	1600
Adobe, o Tierra apisonada	1,10	1770 ≤ ρ ≤2000	
Teja arcilla cocida	1,00	2000	800
Enlucido de yeso	0,40	ρ ≤ 1000	1000
Mortero de cemento o cal para albañilería	0,70	1250< ρ ≤1450	1000

Tabla 7.- Características físicas de materiales constructivos de la época colonial

Luego de recolectar estos datos del Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico Español, también tenemos los detalles de las secciones de los diferentes componentes constructivos a analizar en nuestro estudio:

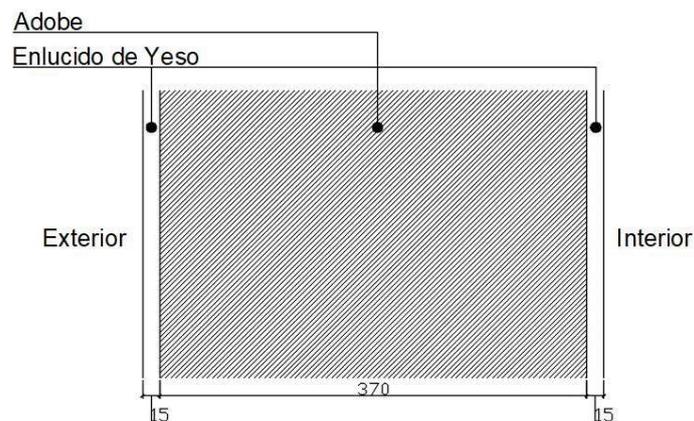


Ilustración 27.- Sección de la Fachada tradicional cruceña.

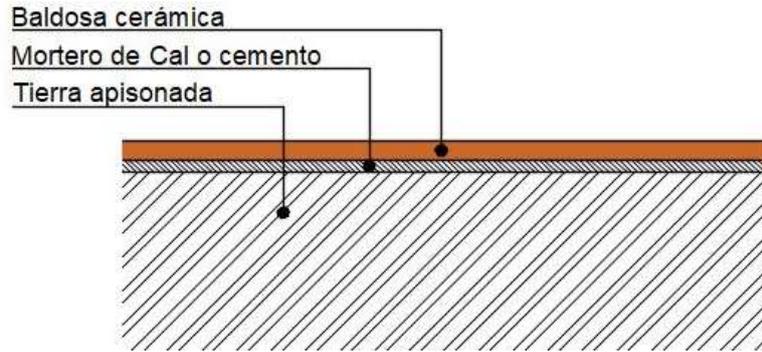


Ilustración 28.- Sección de la Solera tradicional cruceña.

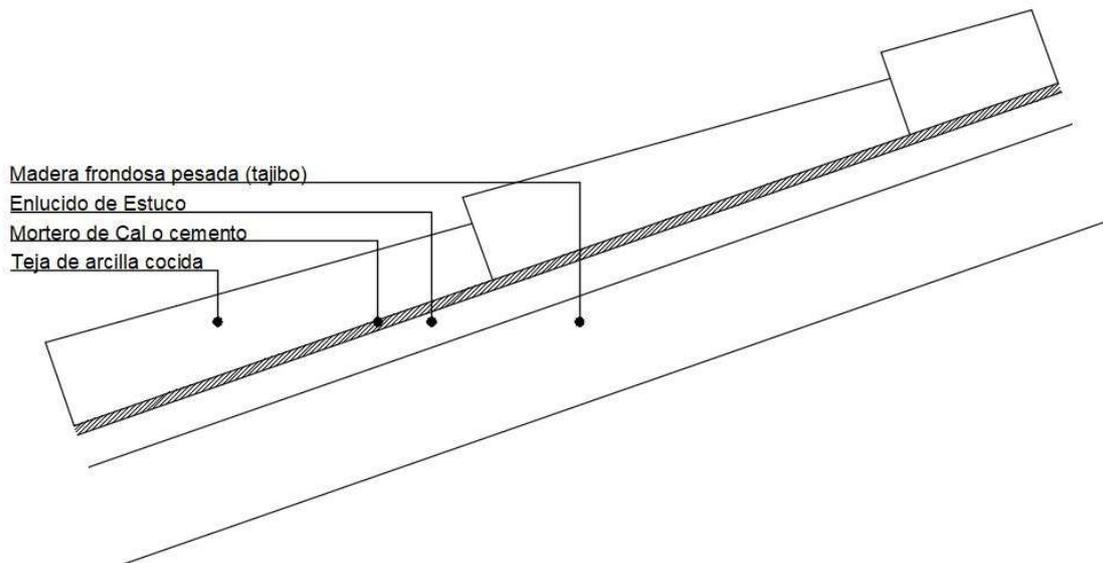


Ilustración 29.- Sección de la Cubierta tradicional cruceña.

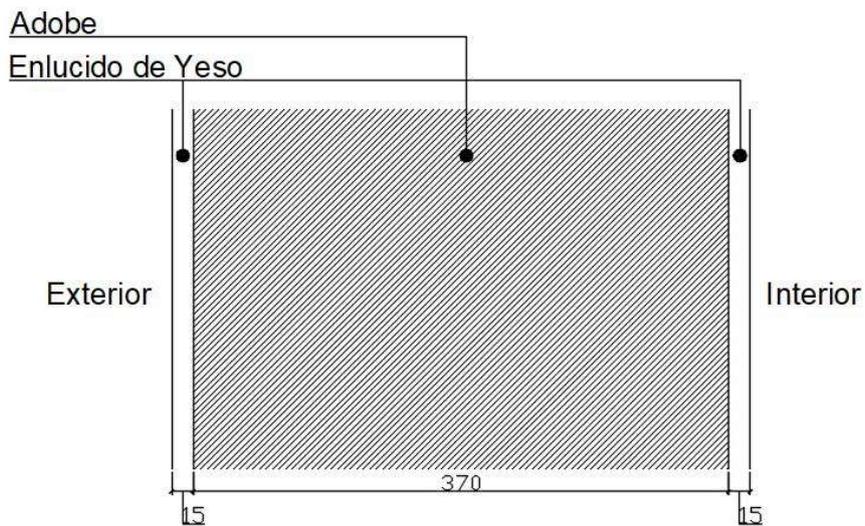


Ilustración 30.- Sección de la Partición Interior tradicional cruceña.

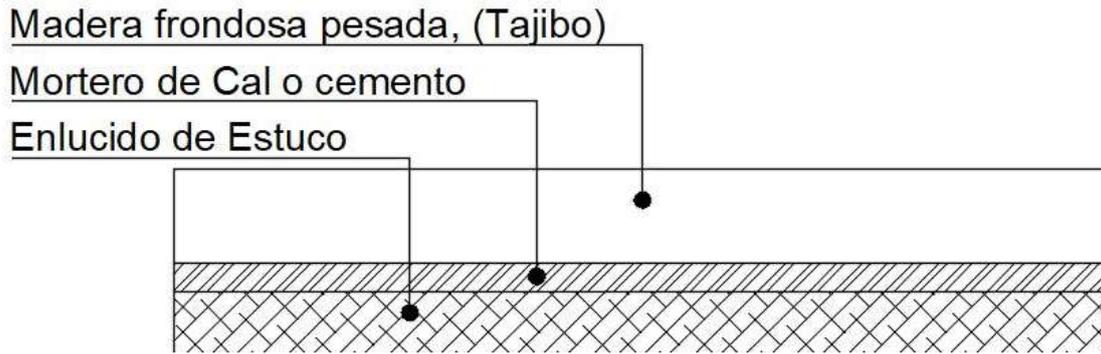


Ilustración 31.- Sección del Techo Interior tradicional cruceño.

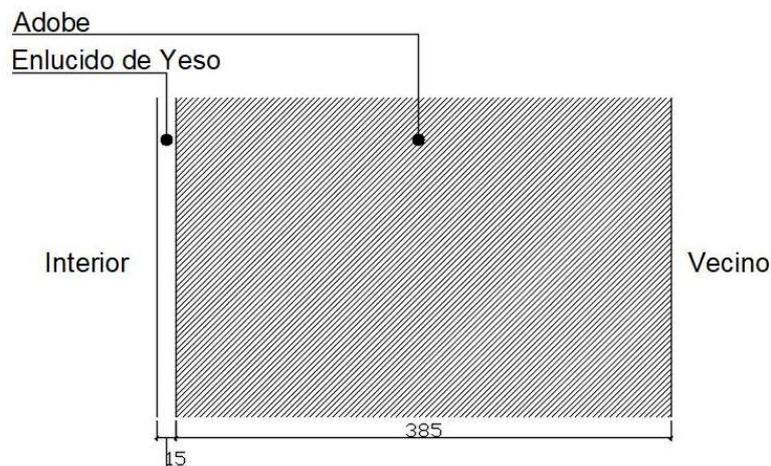


Ilustración 32.- Sección del Muro colindante tradicional cruceño.

El material con el nombre: Madera frondosa pesada de Tajibo (*Handroanthus impetiginosus*), se aplica para la puerta de 50mm de madera. Y por ultimo utilizaríamos el vidrio simple de 6mm que ya viene predeterminado en la programación de OpenStudio.

5.6. Proceso de Modelado 3D e Introducción de datos para la Simulación Energética

5.6.1. Modelado de los Casos de Estudio

Se introducen las plantas de las viviendas que serán los objetos de estudios, realizadas en AutoCAD, guardadas en formato .dwg, para su importación en SketchUp. A continuación, se levantan todos los muros que conformaran las viviendas para obtener así, los modelos en 3D para la simulación. Cabe resaltar, que los elementos constructivos (muros, particiones interiores, ventanas, puertas, cubiertas, etc.) se presentaran simplificados como planos verticales, horizontales o inclinados; y que será el programa OpenStudio, a través de la configuración, el que les entregará las características de cada elemento constructivo.

Cuando se obtienen los bloques que conformaran las diferentes Zonas térmicas, se procede a modificar los mismos para conseguir las cubiertas inclinadas, que son características de la arquitectura Tradicional Cruceña. Luego de esto, se procede a la

colocación de todas las ventanas y puertas que tendrán nuestros modelos. Por último, se procede a dibujar los elementos que van anexos a las viviendas, pero no son parte de las Zonas térmicas, estos serían las galerías tanto interiores como exteriores, además de los muros de cerramiento exterior.

Un último punto que serán comunes para ambos objetos de estudio, es la orientación, que será norte en su fachada de menor longitud. Esto lo asumimos, primeramente, por el tipo de seccionamiento de los terrenos que se siguió en la época colonial; y en segunda instancia por ser la mejor orientación que teóricamente se puede tener como hecho arquitectónico en la latitud sur, y por lo mismo, brindarles a nuestras viviendas las mejores condiciones para el estudio.

5.6.2. Caso de Estudio 01

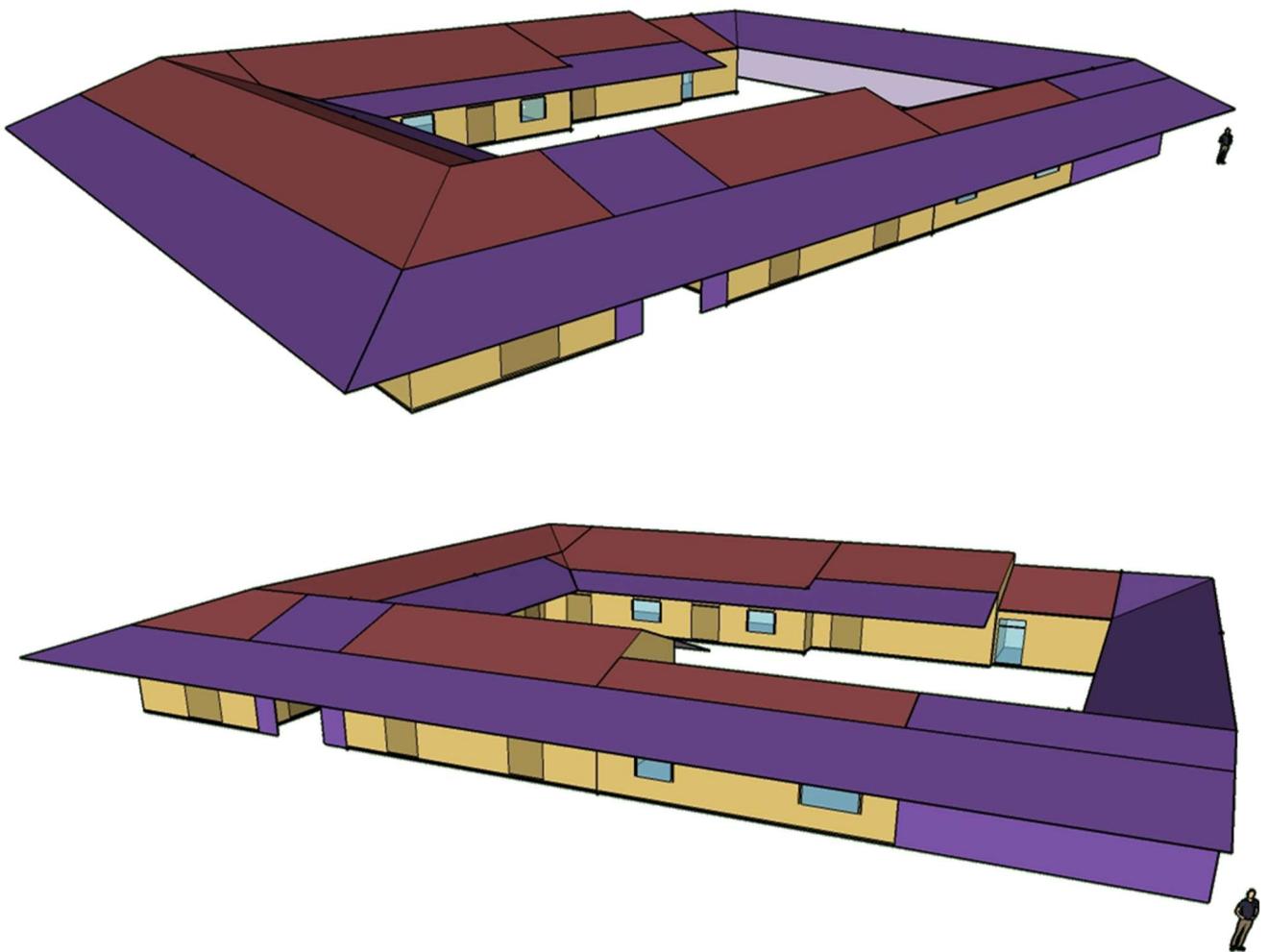


Ilustración 33.- Maqueta 3D de la Vivienda tradicional en esquina.

5.6.2.1. Zonas térmicas del Caso de Estudio 01

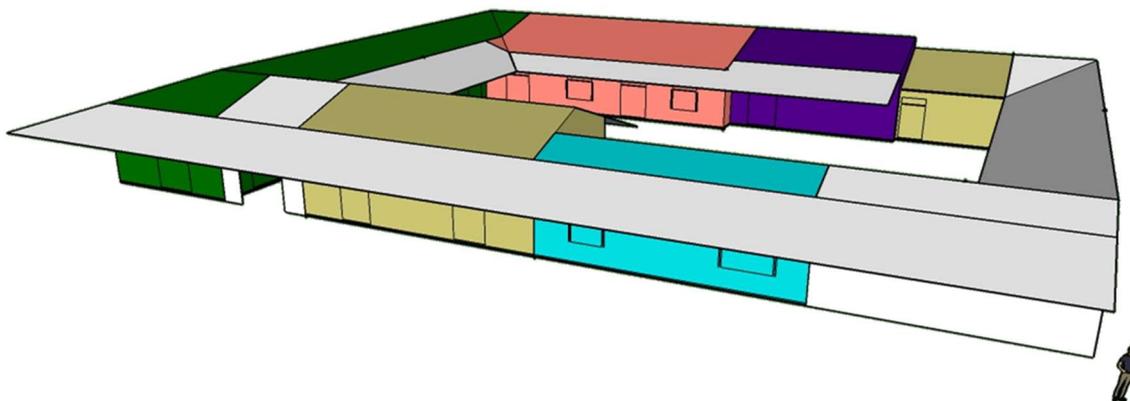


Ilustración 34.- Maqueta 3D con zonas térmicas de la Vivienda tradicional en esquina.

ZONA	COLOR
SOCIAL	
INTIMA 01	
INTIMA 02	
SERVICIOS 01	
SERVICIOS 02	
SERVICIOS 03	

Tabla 8.- Referencia de las zonas térmicas de la vivienda tradicional en esquina.

Zona térmica	Cubierta	Fachada	Solera	Puertas y Ventanas	Particiones interiores
1	219,83	239,57	207,69	33,14	86,92
2	105,74	160,98	103,95	10,47	57,3
3	81,47	141,91	77,05	11,7	31,6
4	76,15	82,66	72,03	13,2	-
5	50,25	107,7	48,47	3,32	-
6	25,9	54,89	24,28	2,58	-
Totales	559,34	787,71	533,47	74,41	175,82

Tabla 9.- Cuadro de superficies (m2) - Vivienda en esquina.

Tipo sombra	Superficie (m2)
Cubierta	655,36
Muro	208,79
Total	864,15

Tabla 10.- Cuadro de superficies de sombra (m2) - Vivienda en esquina.

5.6.3. Caso de Estudio 02

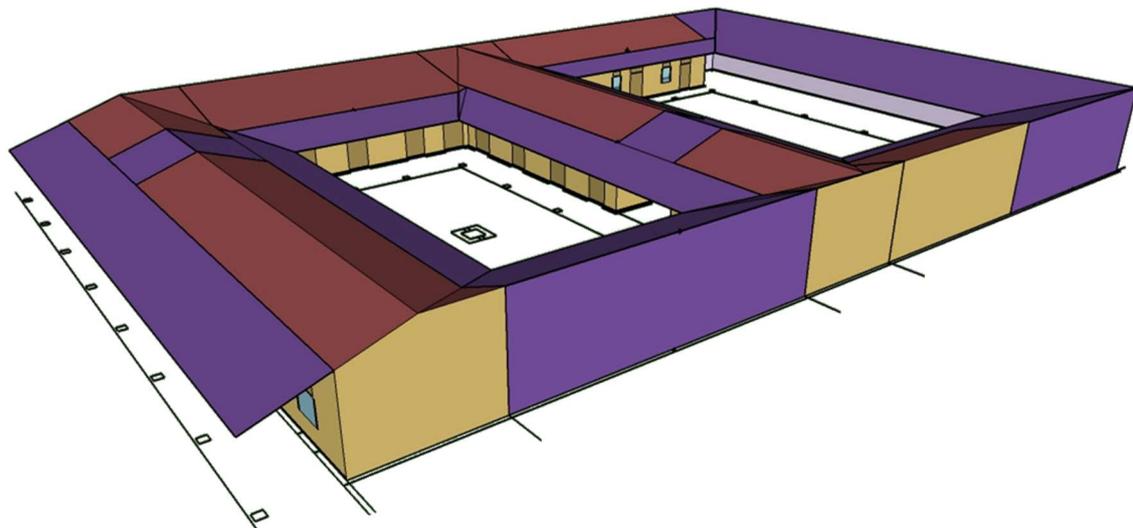
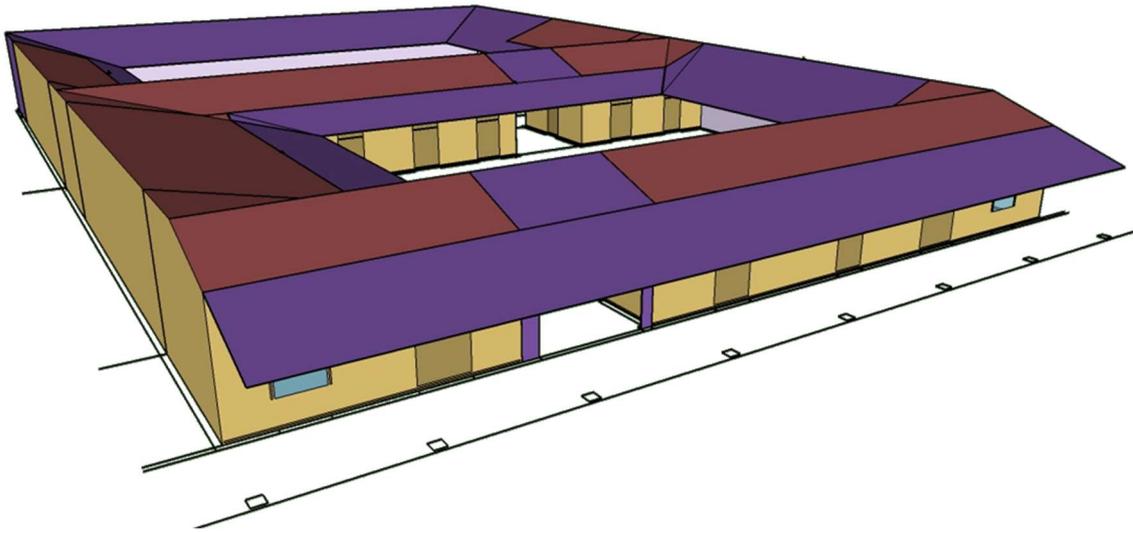


Ilustración 35.- Maqueta 3D de la Vivienda tradicional entre medianeras.

5.6.3.1. Zonas térmicas del Caso de Estudio 02

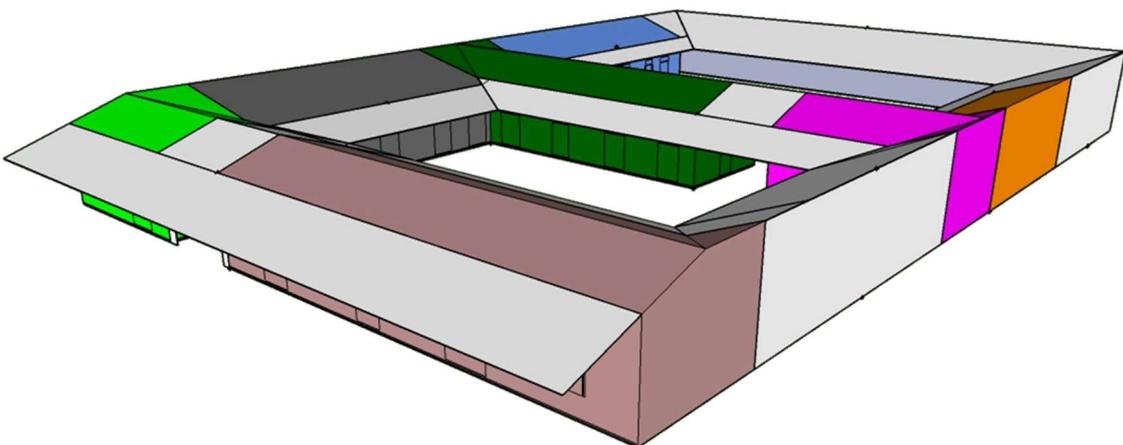


Ilustración 36.- Maqueta 3D con zonas térmicas de la Vivienda tradicional entre medianeras.

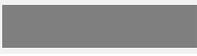
ZONA	COLOR
SOCIAL 01	
SOCIAL 02	
INTIMA 01	
INTIMA 02	
SERVICIOS 01	
SERVICIOS 02	
SERVICIOS 03	

Tabla 11.- Referencia de las zonas térmicas de la vivienda tradicional entre medianeras.

Zona térmica	Cubierta	Fachada	Solera	Puertas y Ventanas	Particiones interiores
1	141,07	197,51	133,09	26,15	25,5
2	57,41	90,04	54,49	10,94	28,65
3	104,88	125,95	102,4	12,87	57,3
4	139,57	162,53	132,1	23,2	17,92
5	57,56	103,63	54,25	10,34	17,83
6	44,96	107,39	42,44	5,07	
7	74,49	164,4	70,31	8,82	35,3
Totales	619,94	951,45	589,08	97,39	147,2

Tabla 12.- Cuadro de superficies (m²) - Vivienda entre medianeras.

Tipo sombra	Superficie (m ²)
Cubierta	822,96
Muro	364,82
Total	1187,78

Tabla 13.- Cuadro de superficies de sombra (m²) - Vivienda entre medianeras.

5.7. Simulación de datos en OpenStudio

A continuación, se puede ver el proceso de la configuración de datos para proceder a la simulación con el siguiente diagrama:

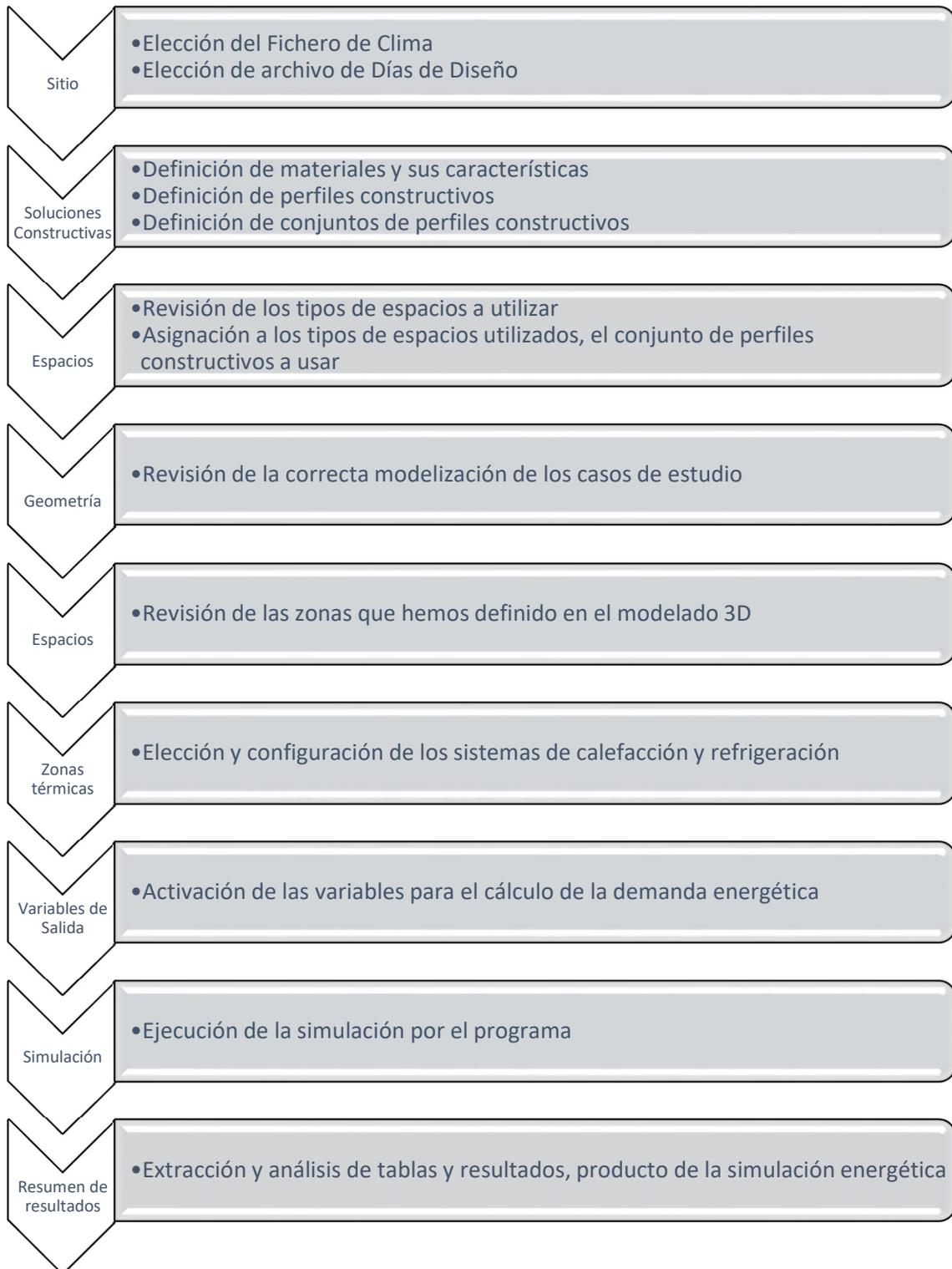


Grafico 6.- Diagrama del Proceso de Simulación en OpenStudio

Dentro de todo este proceso, uno de los aspectos muy importantes para la simulación, es la creación y asignación de materiales de las diferentes capas que conformarán los

cerramientos verticales y horizontales que delimitarán nuestros casos de estudio. Esto lo realizaremos utilizando los diferentes datos dentro de las soluciones constructivas elegidas en las ilustraciones 24 a la 29.

Para la creación de los diferentes materiales tradicionales de las construcciones cruceñas, necesitaremos las características físicas que anteriormente hemos recopilado del Catálogo de Elementos Constructivos del CTE, y de los cuales también utilizaremos ciertos valores ya preestablecidos, y que desarrollamos en el siguiente cuadro:

Material	Aspereza	Espesor (m)	Conductividad (W/m*K)	Densidad (kg/m³)	Calor específico (J/kg*K)
<i>Adobe, tierra apisonada</i>	Alta	0.4	1.1	1900	1850
<i>Enlucido de estuco</i>	Media	0.035	0.64	1300	1000
<i>Madera 50mm frondosa pesada Tajibo</i>	Alta	0.05	0.23	810	1600
<i>Mortero de cal o cemento para albañilería</i>	Alta	0.025	1	1700	1000
<i>Teja de arcilla cocida 15mm</i>	Media	0.015	1	2000	800
<i>Baldosa Cerámica Referencia</i>	Alta	0.015	1	2000	8000
<i>Enlucido Yeso Referencia</i>	Media	0.015	0.57	1100	1000

Tabla 14.- Características físicas de los materiales a utilizar en el proceso de simulación.

En el cuadro siguiente se mostrará con detalle de capas, todos los perfiles que serán utilizados en nuestros modelos. Hay que tener en cuenta que, el orden para la cara exterior es de arriba hacia abajo.

DESCRIPCIÓN	CAPAS
FACHADA TRADICIONAL SCZ	<ul style="list-style-type: none"> • Enlucido de yeso • Adobe • Enlucido de yeso
SOLERA TRADICIONAL SCZ	<ul style="list-style-type: none"> • Baldosa cerámica • Mortero de cal o cemento • Tierra apisonada
CUBIERTA TRADICIONAL SCZ	<ul style="list-style-type: none"> • Teja de arcilla cocida • Mortero de cal o cemento • Madera 50mm frondosa pesada (Tajibo) • Enlucido de estuco
PARTICIÓN INTERIOR TRADICIONAL SCZ	<ul style="list-style-type: none"> • Enlucido de yeso • Adobe • Enlucido de yeso
TECHO INTERIOR TRADICIONAL SCZ	<ul style="list-style-type: none"> • Madera 50mm frondosa pesada (Tajibo) • Mortero de cal o cemento • Enlucido de estuco
MURO COLINDANTE TRADICIONAL SCZ	<ul style="list-style-type: none"> • Enlucido de yeso • Adobe
PUERTA DE MADERA FRONDOSA (TAJIBO)	<ul style="list-style-type: none"> • Madera 50mm frondosa pesada (Tajibo)

Tabla 15.- Descripción de los componentes de los nuevos perfiles constructivos a utilizar en la simulación.

Luego de esto, nos ceñiremos a continuar con el Diagrama del Proceso de Simulación en OpenStudio (Grafico 6). Definiendo y configurando cada paso como se puede ver en el Anejo I.

6. Análisis de resultados y Posibles mejoras

De los datos que hemos obtenido, luego de haber corrido las simulaciones energéticas de nuestros objetos de estudio, podemos observar principalmente de toda la demanda de energía para climatizar las viviendas de aquella época, por la situación geográfica, su mayor consumo se dará en la refrigeración. Esto lo podemos constatar en los siguientes cuadros obtenidos de los resultados de la simulación en Energy Plus.

Caso de estudio	Área Const. (m ²)	Demanda refrigeración			Demanda calefacción		
		GJ	kWh	kWh/m ²	GJ	kWh	kWh/m ²
01 - Vivienda en esquina	533,46	100,34	27872,45	52,25	0,61	169,45	3,24
02 - Vivienda entre medianeras	589,08	112,01	31114,14	52,82	1,06	294,45	5,57

Tabla 16.- Resultados obtenidos de la simulación en OpenStudio para los casos de estudio

Con la ayuda de la tabla anterior, podemos verificar que el principal consumo energético será realizado en la búsqueda de refrigerar las viviendas. En el caso del Objeto de estudio 01, obtenemos resultados de 100.34 GJ para refrigeración y 0.61 GJ para calefacción, lo cual nos muestra una demanda de refrigeración que supera casi en 165 veces a la de calefacción. Para el caso del Objeto de estudio 02, observamos resultados de 112.01 GJ para refrigeración y 1.06 GJ para calefacción; lo cual supone una demanda que supera en 105 veces la primera de la segunda.

6.1. Temperaturas medias del aire de las zonas térmicas

En los siguientes cuadros podremos observar las temperaturas medias de cada zona térmica de nuestros objetos de estudio en centígrados (°C).

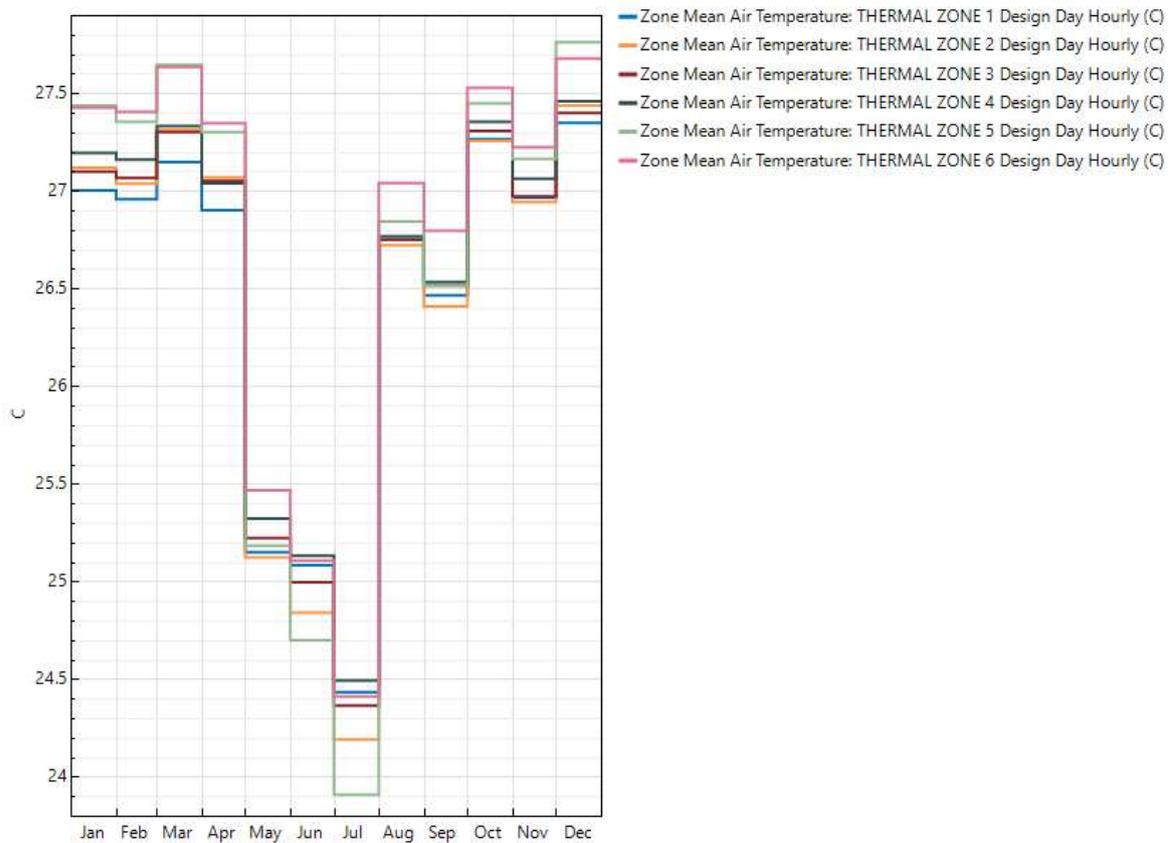


Gráfico 7.- Temperatura media del aire por Zonas térmicas – Vivienda en esquina.

En la vivienda en esquina, como lo muestra el cuadro anterior, nos encontramos con temperaturas medias que se encuentran dentro de la zona de confort permisible (20 – 27 °C), en los meses entre enero y septiembre; quedándonos los meses de octubre, noviembre y diciembre, por encima de las temperaturas ideales, y donde sería necesario el uso de la refrigeración con mayor continuidad.

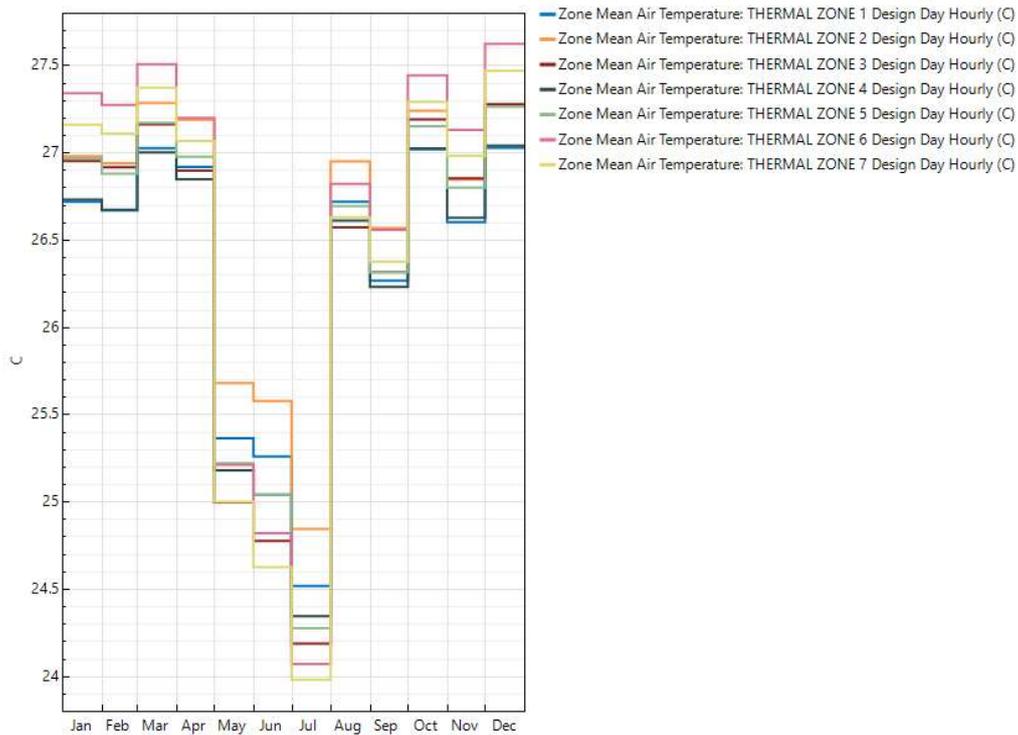


Grafico 8.- Temperatura media del aire por Zonas térmicas - Vivienda entre medianeras.

En el caso de la vivienda entre medianeras, podemos observar algo similar al caso anterior, encontrándonos dentro de la zona de confort casi durante todo el año, pero en este caso en específico sobrepasamos con 0,5 °C el límite del confort permisible en las zonas térmicas 02, 03, 05, 06 y 07, que vienen a ser las que tienen mayor contacto las edificaciones vecinas con una colindancia lateral del 100% de su superficie.

6.2. Demandas de Calefacción y Refrigeración

6.2.1. Caso de estudio 01 – Vivienda en esquina

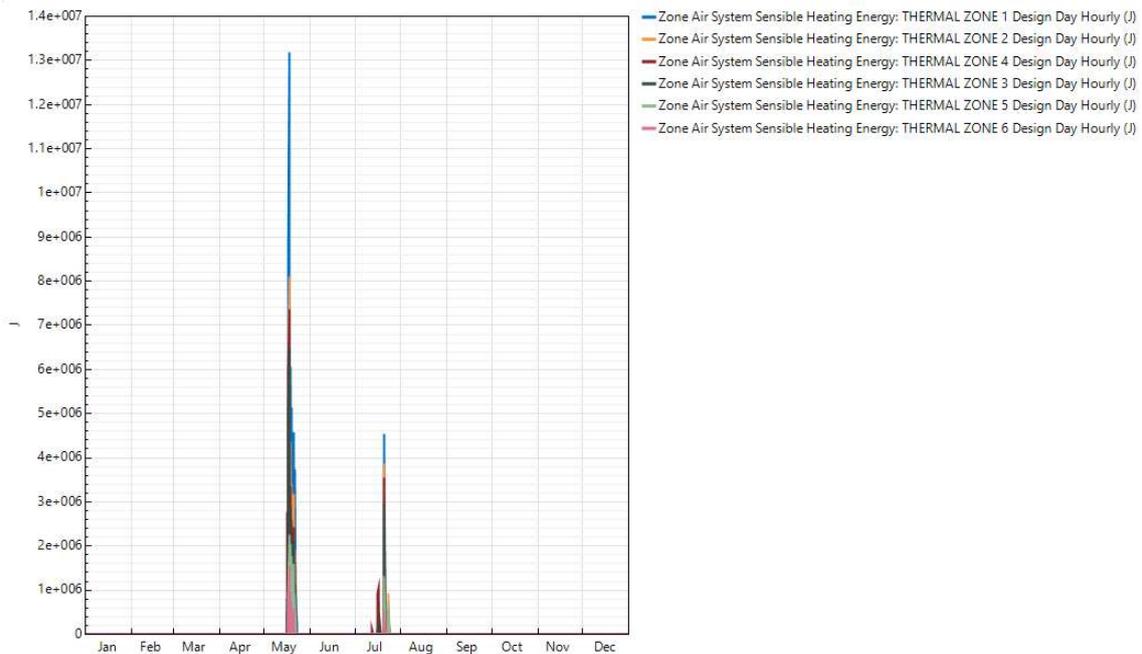


Grafico 9.- Demanda de calefacción por Zonas térmicas - Vivienda en esquina.

En cuanto a la energía demandada para la calefacción vemos que en todas las zonas los picos de demanda se encuentran en el mes de mayo donde tenemos 13,2 GJ para la Zona térmica 1, y julio, donde tenemos 4,5 GJ para la Zona térmica 2. Lo que se traduciría en 3666,7 y 1250,01 kWh, para los días en los meses de mayor demanda de calefacción. Cabe resaltar que los demás meses del año no necesitaríamos hacer uso de la calefacción, y que con las ganancias internas y lo obtenido por la radiación, convección y conducción del calor del exterior al interior es suficiente.

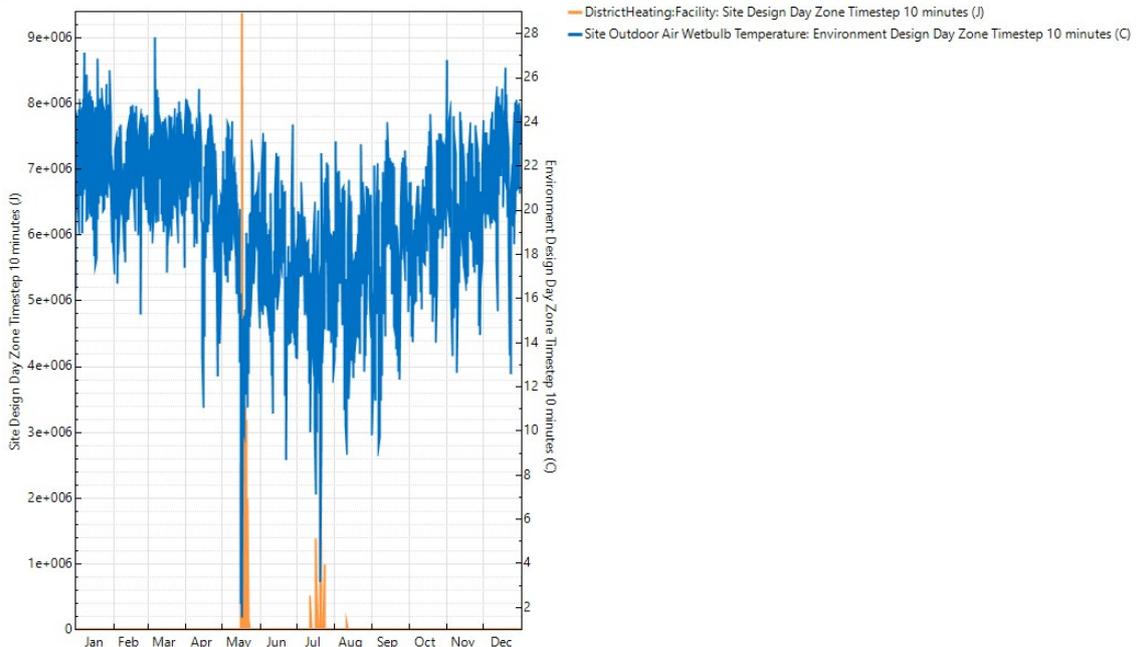


Gráfico 10.- Relación entre la demanda de calefacción y la temperatura ambiente.

En el gráfico 9, podemos observar como la temperatura ambiente (1 °C en mayo o 3,5 °C en julio), muy por debajo de la temperatura de consigna para mantenernos dentro de los límites del confort permisible, obligan a aumentar la cantidad de energía necesaria para cubrir la demanda.

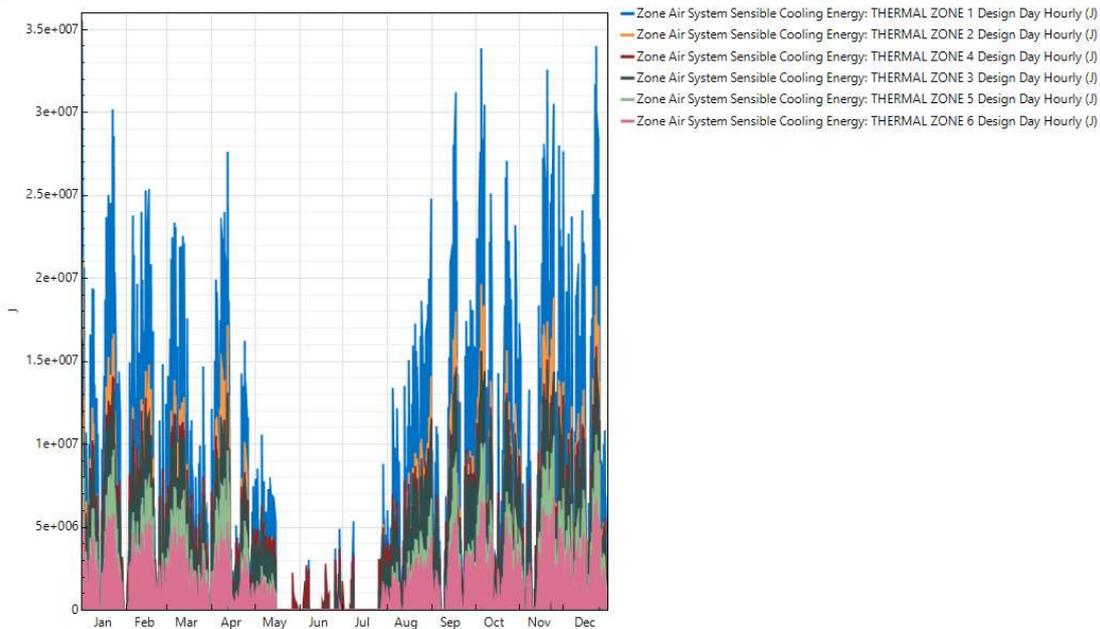


Gráfico 11.- Demanda de refrigeración por Zonas térmicas - Vivienda en esquina.

Para la energía demandada para refrigeración, podemos observar varios picos de demanda, donde la zona que mayor demanda tiene es la Zona térmica 1 con picos variables en un rango entre 27 y 34 GJ para los meses de septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero y abril. En los meses de junio y julio notamos una baja en la demanda, con valores pico de 7500,06 y 9444,52 GJ, respectivamente.

6.2.2. Caso de estudio 02 – Vivienda entre medianeras

Para la energía demandada para la calefacción vemos que en todas las zonas los picos de demanda se encuentran en el mes de mayo donde tenemos 14,5 GJ para la Zona térmica 1, y julio, donde tenemos 7,3 GJ para la Zona térmica 2. Lo que se traduciría en 4027,81 y 2027,79 kWh, para los días en los meses de mayor demanda de calefacción. Para los demás meses del año no sería preciso hacer uso de la calefacción, y que con las ganancias internas y lo obtenido por la radiación, convección y conducción del calor del exterior al interior es suficiente. Así lo podemos observar en el gráfico siguiente:

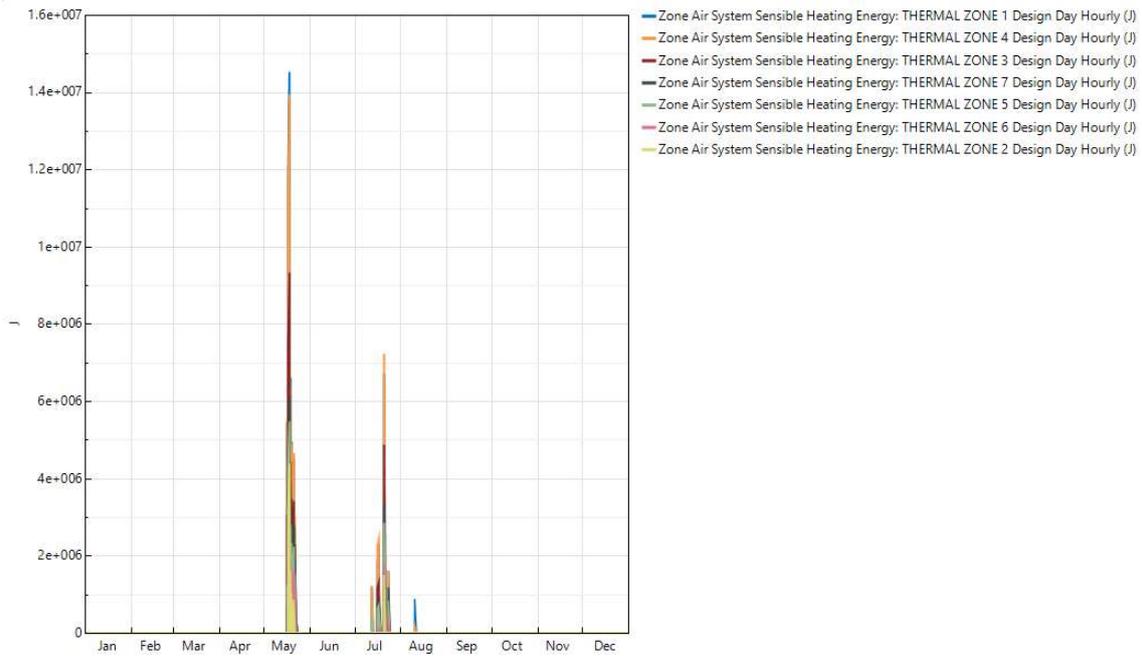


Gráfico 12.- Demanda de calefacción por Zonas térmicas - Vivienda entre medianeras

Para la energía demandada para refrigeración, podemos observar varios picos de demanda, donde la zona que mayor demanda tiene es la Zona térmica 1 con picos variables en un rango entre 20 y 25,4 GJ para los meses de agosto, septiembre, octubre, noviembre, diciembre, enero y abril. En los meses de junio y julio notamos una baja en la demanda, con valores pico de 7,4 y 7,3 GJ, respectivamente. Tal como se puede apreciar en el Gráfico 12.

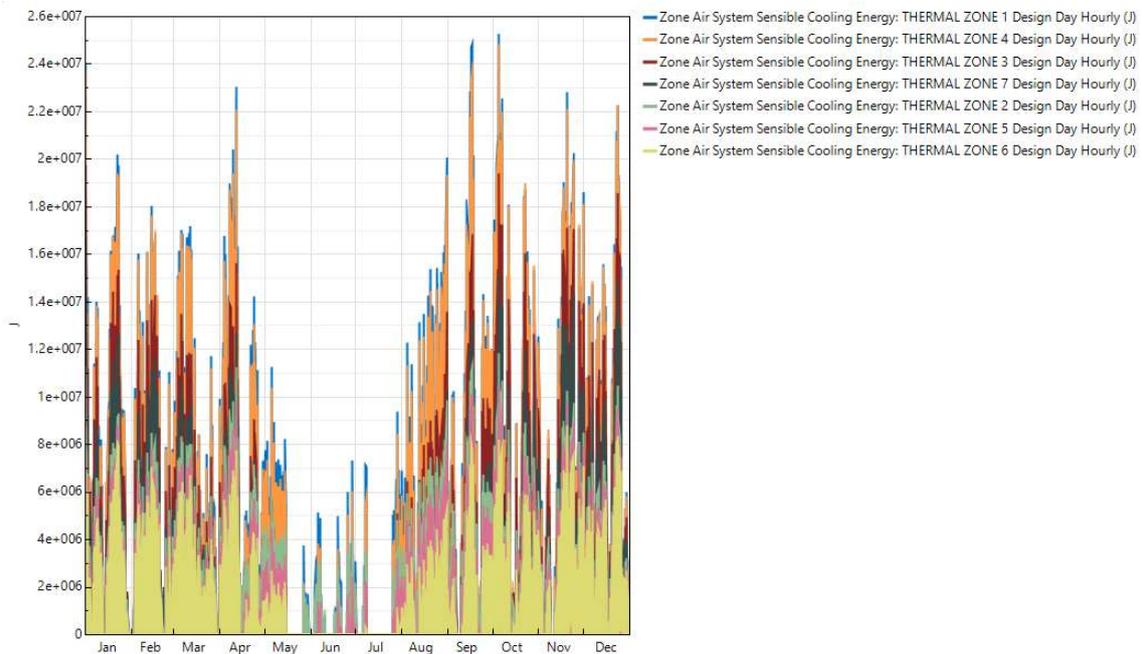


Gráfico 13.- Demanda de refrigeración por Zonas térmicas - Vivienda entre medianeras

6.3. Mejoras aplicables

Después de ver los resultados que tenemos, y darnos cuenta de la cantidad de demanda de energía que presentan ambas viviendas para refrigeración, podemos realizar nuevamente simulaciones virtuales, pero ahora realizando cambios que pueden suponer una reducción de la demanda energética como:

- En fachadas, cubiertas y suelos: mejoraremos los aislamientos colocando materiales actuales, que posean conductividades bajas y se puedan adaptar a la humedad alta que es una constante en la región. En el caso de la cubierta, hay decir que, dentro de la misma evolución de la arquitectura y construcción cruceña se introdujo el “Cielo o Techo Falso”, para cubrir las cerchas de madera que sostenían la cubierta en aquella época, y, por consiguiente, se logra una barrera aislante contra el calor y humedad de la región.
- En los puentes térmicos: trataremos que el aislamiento sea lo más continuo posible, esto podríamos intentarlo reduciendo la superficie de ventanas y puertas, ya que como se explicó anteriormente, muchas puertas eran utilizadas como ventanas por el tipo de puerta que se utilizaba en la época (4 hojas).
- Para la transmisión en puertas y ventanas: utilizaremos otro tipo de carpintería con la transmitancia lo más baja posible, con respecto a la carpintería tradicional.
- La orientación del edificio es un tema principal para la reducción de la demanda energética, esto se tendría que solucionar en la fase de diseño; aunque el estilo arquitectónico de construir bloques continuos en el perímetro del terreno nos limita bastante, ya que entonces una buena orientación quedaría en dependencia de la ubicación y el sentido del terreno. En este caso, para mostrar lo influyente de este aspecto, de manera teórica, haremos una simulación cambiando la orientación de las viviendas sin hacer otros cambios en los materiales o mejoras a los perfiles constructivos.

6.3.1. Soluciones constructivas para la mejora de la demanda

Los materiales que introduciremos para realizar las mejoras propuestas anteriormente, estarán explicados en la Tabla N° 17, a continuación.

Material	Aspereza	Espesor (m)	Conductividad (W/m*K)	Densidad (kg/m ³)	Calor específico (J/kg*K)
Lana de vidrio	Media	0.050	0.036	220	670
Mortero para revoque “in situ”	Alta	0.020	1.30	1900	1000
Placa de yeso laminado	Baja	0.015	0.25	825	1000
Porcelanato exterior 60x60cm	Baja	0.010	1.00	2200	800

Teja cerámica	Media-Baja	0.010	1.30	2300	840
Perfilería de aluminio galv.	Media	0.006	160	2800	880
Ladrillo 6 huecos	Alta	0.120	0.40	920	1000
Ladrillo macizo	Alta	0.050	0.85	2300	1000

Tabla 17.- Nuevos Materiales introducidos para mejora de la Demanda Energética.

6.3.2. Nuevos perfiles constructivos para la mejora de la Demanda Energética

Con la introducción de otros materiales para tratar de disminuir, sobretodo, la demanda de refrigeración, nos lleva a crear nuevos perfiles constructivos que utilicen los materiales antes mencionados. Estos perfiles serían los siguientes:

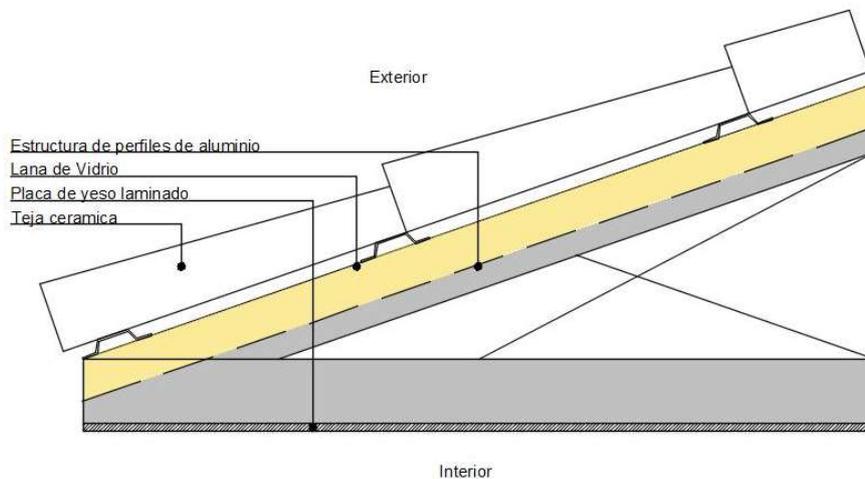


Ilustración 37.- Detalle de cubierta con aislamiento. Sección longitudinal.

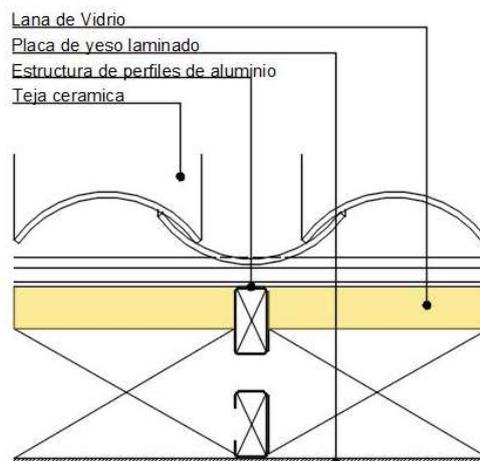


Ilustración 38.- Detalle de cubierta con aislamiento. Sección transversal.

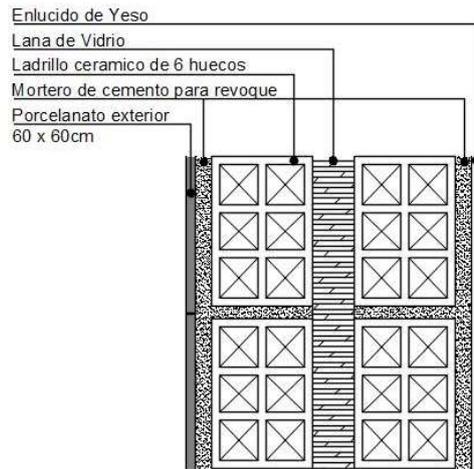


Ilustración 39.- Detalle de fachada con aislamiento.

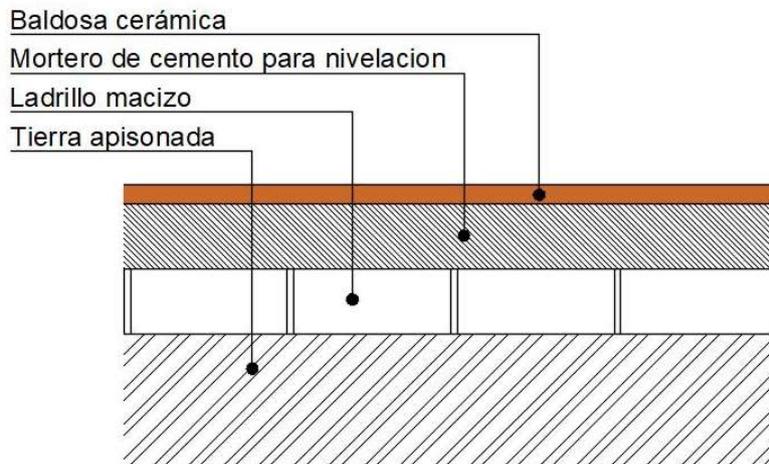


Ilustración 40.- Detalle de solera con mejoras.

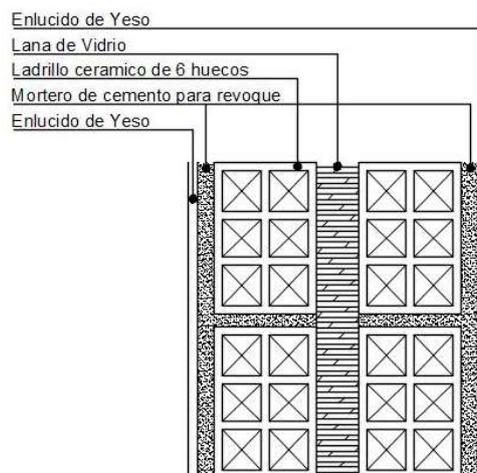


Ilustración 41.- Detalle de partición interior de muro doble con aislamiento.

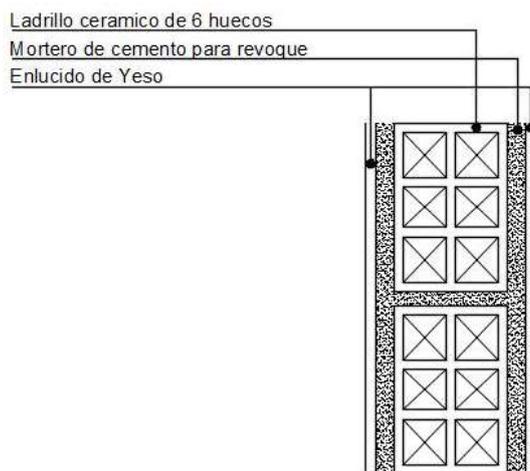


Ilustración 42.- Detalle de partición interior con muro simple sin aislamiento.

En las ilustraciones 41 y 42, se pueden observar dos tipos de particiones para verificar cuál de estas soluciones no significan una mayor mejora para la reducción de la demanda. Para el caso de las cubiertas de galerías, seguiremos utilizando el perfil constructivo anterior y el único cambio que introduciremos será la Teja cerámica.

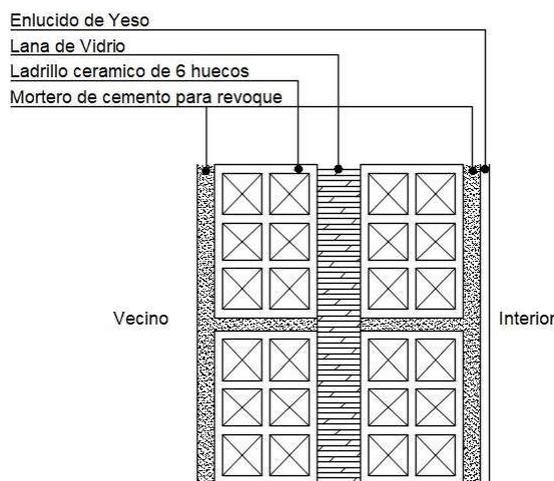


Ilustración 43.- Detalle de muro colindante a vecino con aislamiento y muro doble.

En cuanto a la carpintería, el cambio que introduciremos será en las ventanas, ya que reduciremos la superficie de huecos, al transformar la gran mayoría de las puertas de cuatro hojas en ventanas, dejando solamente la puerta necesaria para el ingreso al interior del espacio. En el caso de los huecos que dan al exterior solo dejaremos la necesaria para un acceso principal y otro secundario, los demás huecos los transformaremos en ventanas con antepecho.

Las puertas seguirán manteniendo el material de madera, al ser este el de más fácil obtención en el mercado local. Las ventanas tendrán la estructura de aluminio, y serán dos hojas de vidrio: una de vidrio corriente de 4mm y otra de vidrio Bajo Emisivo de 4mm, pero contarán con una cámara de aire de 6mm de separación, esto porque también sería la carpintería de más fácil adquisición en el mercado cruceño.

Como resultado, estos nuevos perfiles constructivos nos obligan a crear un nuevo Conjunto de Perfiles constructivos, para poder realizar la simulación energética.

6.4. Nuevos resultados aplicando las mejoras propuestas

Dentro de las pruebas que hemos realizado, se ha optado por la variación de los espesores de los materiales de aislamiento, en este caso la lana de vidrio. Pero manteniendo como premisa los espesores comerciales que se encuentran a la venta en la ciudad de Santa Cruz de la Sierra, de 5 y 10 cm.

6.4.1. Vivienda en esquina

A continuación, se muestran los resultados obtenidos de las simulaciones con las modificaciones anteriormente señaladas, para el caso de estudio de la vivienda en esquina.

Caso de estudio	Área Const. (m ²)	Demanda refrigeración			Demanda calefacción		
		GJ	kWh	kWh/m ²	GJ	kWh	kWh/m ²
01 - vivienda en esquina e=5cm	533,46	12,20	3388,92	6,35	0,32	88,89	0,17
01 - vivienda en esquina e=10cm	533,46	3,16	877,78	1,65	0,19	52,78	0,10

Tabla 18.- Resultados con la variación del espesor del aislamiento. Vivienda en esquina.

6.4.2. Vivienda entre medianeras

En el siguiente cuadro se puede apreciar los resultados de las simulaciones realizadas con las modificaciones de los espesores en el aislamiento de los diferentes perfiles constructivos, pero en este caso añadiremos un espesor aún más grueso de 15cm, para la vivienda entre medianeras.

Caso de estudio	Área Const. (m ²)	Demanda refrigeración			Demanda calefacción		
		GJ	kWh	kWh/m ²	GJ	kWh	kWh/m ²
01 - vivienda entre medianeras e=5cm	589,08	101,90	28305,78	48,05	0	0,00	0,00
01 - vivienda entre medianeras e=10cm	589,08	86,49	24025,19	40,78	0	0,00	0,00
01 - vivienda entre medianeras e=15cm	589,08	72,27	20075,16	34,08	0	0,00	0,00

Tabla 19.- Resultados con la variación del espesor del aislamiento. Vivienda entre medianeras.

7. Conclusiones

Hablando arquitectónicamente, aunque el diseño de este tipo de viviendas era relativamente sencillo al crear bloques que rodeen el perímetro del terreno, y no poseer salientes ni contar con una morfología compleja, algo que llama la atención es la presencia de aberturas en todas las caras posibles de las viviendas; incluso en las que se encuentran en peor orientación. Se puede explicar esto por la presencia de las galerías y que la radiación solar no ingresaba directamente a las viviendas, pero se convierte en una desventaja ya que en la época colonial no se contaba con la carpintería adecuada para evitar transmisión de calor al interior, o viceversa.

Tomando en cuenta que estas tipologías arquitectónicas todavía se utilizan en la actualidad, sobre todo en las áreas periurbanas, donde los propietarios de parcelas no cuentan con suficientes recursos económicos; se puede destacar que el estudio realizado podría ayudar a reducir de gran manera la demanda energética de estas viviendas.

En el caso de estudio 01, la Vivienda en Esquina, es el que, de ambos casos de estudio, posee la mayor reducción de demanda energética que se ha podido obtener, llegando hasta un casi 90% con un espesor de 5 cm, y sobrepasando el 95% de la demanda con un espesor de 10 cm en el aislamiento. Un aspecto a tomar en cuenta es que las parcelas de terreno que se utilizan para esta tipología constructiva son escasas ya que, en cada manzano urbano, solo podríamos tener un máximo de 4 edificaciones de este tipo.

Por lo tanto, aunque es una gran solución, y debe de estar acompañada por la aplicación de las otras mejoras constructivas propuestas en este estudio, nos limita el número de casos en el cual se podría intervenir.

Para el caso de estudio 02, la vivienda entre medianeras, es la que tiene mayor número de réplicas, tanto en la época colonial como en la actualidad; lamentablemente es el que menos reducción se ha podido generar, y esto se debe a dos factores principales:

- Existe una menor superficie de contacto con el exterior, por lo mismo se deben emplear otros métodos para una reducción mayor en la refrigeración.
- Constructivamente no es posible aislar de manera idónea los muros que limitan con el vecino, y si se aplica el mismo modelo arquitectónico en la parcela vecina, se está a expensas de la calidad constructiva del edificio colindante.

Lo que se ha expuesto anteriormente, se puede verificar en los resultados obtenidos en la Tabla 19, donde se puede notar la reducción de más de un 30% en la demanda energética, pero con un espesor en el aislamiento de 15 cm. Este hecho hace que sea poco probable su aplicación por el coste inicial que supondría, aunque a largo plazo justificaría su inversión ya que se habla de reducir un tercio de consumo de energía.

8. Bibliografía

- Santa Cruz. (s. f.). *boliviaenlared.com*.
<http://www.boliviaenlared.com/html/santa-cruz.html>
- Capa Freática | Construpedia, enciclopedia construcción. (s. f.).
http://www.construmatica.com/construpedia/Capa_Freática
- Definición de humedad relativa | Diccionario de arquitectura y construcción. (s. f.).
<http://www.parro.com.ar/definicion-de-humedad+relativa>
- Wikipedia, la enciclopedia libre. (s. f.).
<https://es.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:Portada>
- DLE: clima - Diccionario de la lengua española - Edición del Tricentenario. (s. f.).
<http://dle.rae.es/?id=9SpIT6k>
- Elementos para el confort higrotérmico en edificios. (s. f.).
<http://www.hildebrandt.cl/elementos-que-definen-el-confort-higrotermico-en-un-edificio/>
- El uso de la arquitectura tropical en los países del caribe, 2013 - Monografias.com. (s. f.). <http://www.monografias.com/trabajos96/uso-arquitectura-tropical-paises-del-caribe-2013/uso-arquitectura-tropical-paises-del-caribe-2013.shtml>
- Casa Ricardo - Antigua Casa Ovidio (Sevilla). (s. f.).
<https://baresdeandalucia.es/mejores-bares-sevilla/casa-ricardo-antigua-casa-ovidio/>
- Casa y vivienda tradicional en Sevilla. (s. f.).
<https://geografiadesevilla.wordpress.com/aspectos/casa-y-vivienda-tradicional-en-sevilla/>
- Spain habits and culture: ANDALUCIA. (s. f.).
<http://thiisspain.blogspot.com.es/2014/01/andalucia.html>
- Sobre la arquitectura tropical ARQUITECTURA de CASAS. (s. f.).
<http://www.arquitecturadecasas.info/sobre-la-arquitectura-tropical/>
- boliviacontact.com, & boliviacontact.com. (2011). *Las Misiones de Chiquitos*.
<http://www.boliviacontact.com/es/sugerencia/chiquitos.php>
- Camacho, C. J. (s. f.). La Forma Urbana.
<https://www.slideshare.net/carlosjcamacho/la-forma-urbana>
- CASCZ. (s. f.). Plano de Santa Cruz de la Sierra 1825.
- Chueca Goitia, F. (2000). *Historia de la arquitectura occidental*. CIE Inversiones editoriales-DOSSAT 2000.
- Chueca Goitia, F. (1979). *Invariantes castizas de la arquitectura española; Invariantes en la arquitectura hispanoamericana; Manifiesto de la Alhambra*. Dossat.

- Chueca Goitia, F. (1974). *Historia de la arquitectura occidental*. Seminarios y Ediciones.
- Chueca Goitia, F. (2001). *Historia de la arquitectura española*. Fundación Cultural Santa Teresa.
- Dmytro Zrahevskyi. (s. f.). DATOS GENERALES DEL DEPARTAMENTO DE SANTA CRUZ - PDF. <http://docplayer.es/67980062-Datos-generales-del-departamento-de-santa-cruz.html>
- es.climate-data.org. (s. f.). Clima Santa Cruz de la Sierra: Temperatura, Climograma y Tabla climática para Santa Cruz de la Sierra - Climate-Data.org. <https://es.climate-data.org/location/4439/>
- geografiadesevilla.wordpress.com. (s. f.). Casa y vivienda tradicional en Sevilla | Geografía de Sevilla. <https://geografiadesevilla.wordpress.com/aspectos/casa-y-vivenda-tradicional-en-sevilla/>
- Hazañas y la Rúa, J. (1989). La casa sevillana / conferencia de D. Joaquín Hazañas; [dibujos de Hohenleiter]. http://encore.fama.us.es/iii/encore/record/C__Rb1004506__Sla+casa+sevillana__Orightrresult__U__X7?lang=spi&suite=cobalt
- Jutglar i Banyeras, L. (1998). *Aislamiento térmico*. CEAC.
- Kreith, F., & Bohn, M. S. (2002). *Principios de transferencia de calor*. Thomson-Paraninfo.
- Laboratory, N. R. E. (s. f.). OpenStudio.
- López Guzmán, R. J. (2000). *Arquitectura mudéjar: del sincretismo medieval a las alternativas hispanoamericanas*. Ediciones Cátedra.
- Nieves. (2012). Las Casas de la Judería, la autenticidad responsable «. <http://es.blog.responsiblehotels.travel/hoteles-responsables/2012/05/las-casas-de-la-juderia-la-autenticidad-responsable/>
- Serra Florensa, R., & Coch Roura, H. (1995). *Arquitectura y energía natural*. Barcelona. Recuperado de <https://play.google.com/books/reader?id=5hCiCgAAQBAJ&pg=GBS.PA4>
- Serrano Yuste, P. (s. f.). La inercia térmica en la construcción de edificios eficientes. <http://www.certificadosenergeticos.com/inercia-termica-construccion-edificios-eficientes>
- Trópico, H. E. L., Q, A. K. M., Arquitectura, V. E. D. E., Guimarães, M., Neila, J., Olgyay, V., ... Silva, M. B. (2000). OLGAY, V. ARQUITECTURA Y CLIMA (1963). Datos climáticos. 3 Elementos y 3 Escalas. *Cuadernos de Investigación Urbanística*, 41(1963), 89-99. <https://doi.org/10.1590/S1678-86212010000200006>
- Upc, E., & Mondelo, P. (1999). Confort y estres termico, 11-99.

Vargas Avila, G. (2014). La vivienda tradicional de Santa Cruz de la Sierra.

www.wikipedia.org. (s. f.). Departamento Santa Cruz.
https://es.wikipedia.org/wiki/Departamento_de_Santa_Cruz

www.wikipedia.org. (s. f.). Santa Cruz de la Sierra.

www.wikipedia.org. (s. f.). Asoleamiento.
https://es.wikipedia.org/wiki/Aislamiento_térmico

www.wikipedia.org. (s. f.). Aislamiento termico.
https://es.wikipedia.org/wiki/Aislamiento_térmico

www.wikipedia.org. (s. f.). Orientación (arquitectura).
[https://es.wikipedia.org/wiki/Orientación_\(arquitectura\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Orientación_(arquitectura))

www.wikipedia.org. (s. f.). Arquitectura de España.
https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_de_España#Arquitectura_colonial

ANEJO I

Guía para la simulación de la demanda energética de un edificio

Introducción de datos del Sitio

En esta parte es donde ingresaremos los archivos de formato EPW y DDY, de la ciudad de Campo Grande, que ha sido elegida como la que tiene más similitudes con Santa Cruz de la Sierra.

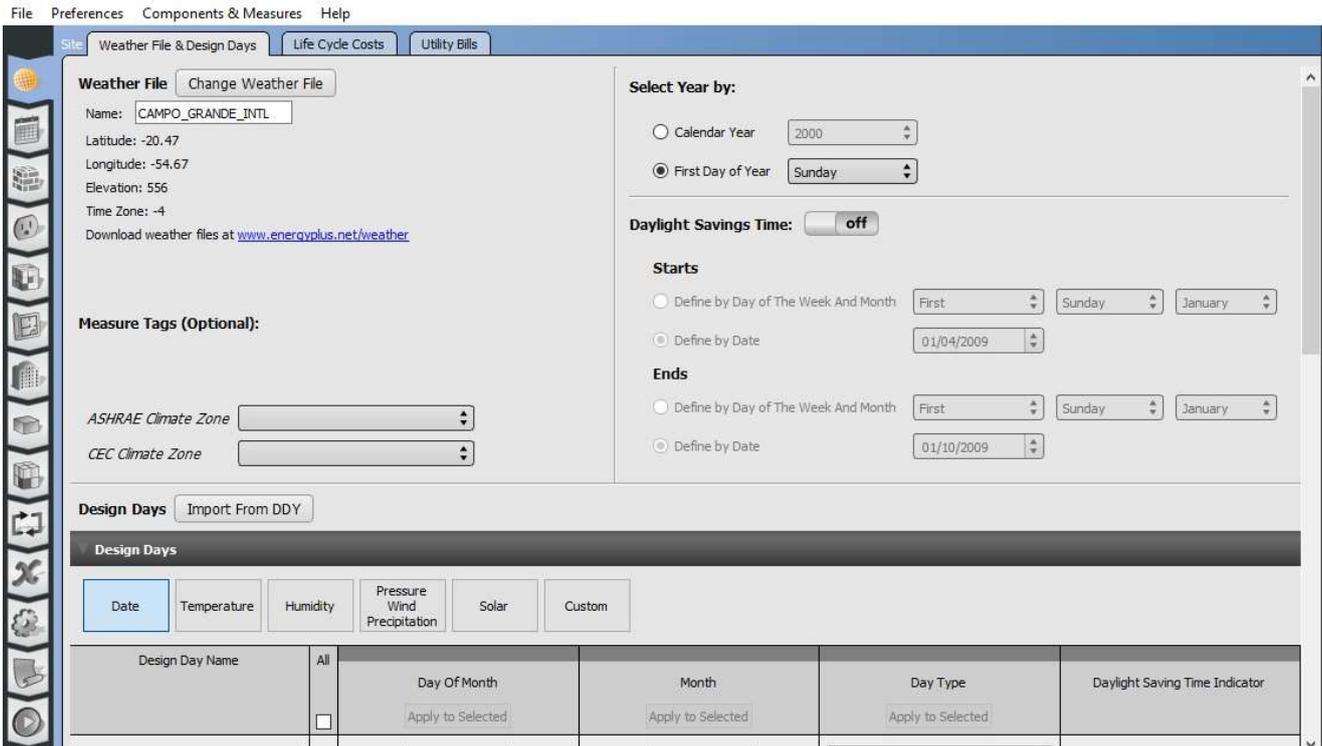


Ilustración 44.- Captura de pantalla de la pestaña de configuración de sitio en OpenStudio 2.5.0

Aquí podemos observar que, con la introducción de los archivos antes mencionados, se insertan en el programa todos los datos meteorológicos (temperaturas, humedad relativa, etc.), y geográficos (latitud, longitud, elevación, etc.), necesarios para ubicar claramente la región donde se encontrarán nuestros objetos de estudio.

Creación e Introducción de Materiales tradicionales

En esta parte se procede a la creación en primera instancia de los materiales, perfiles constructivos y conjuntos de perfiles constructivos, que necesitaremos para desarrollar las simulaciones.

Materiales

Para explicar un poco la tabla anterior, se debe de tomar en cuenta que todos los materiales arriba de la línea doble, serán los nuevos materiales a crear, y los que se encuentran por debajo esta línea serán los que tomaremos del CTE. Por lo mismo, en la siguiente imagen utilizaremos al primer material, el adobe o tierra apisonada, como

ejemplo del proceso correcto de introducción de datos para la creación de nuevos materiales.

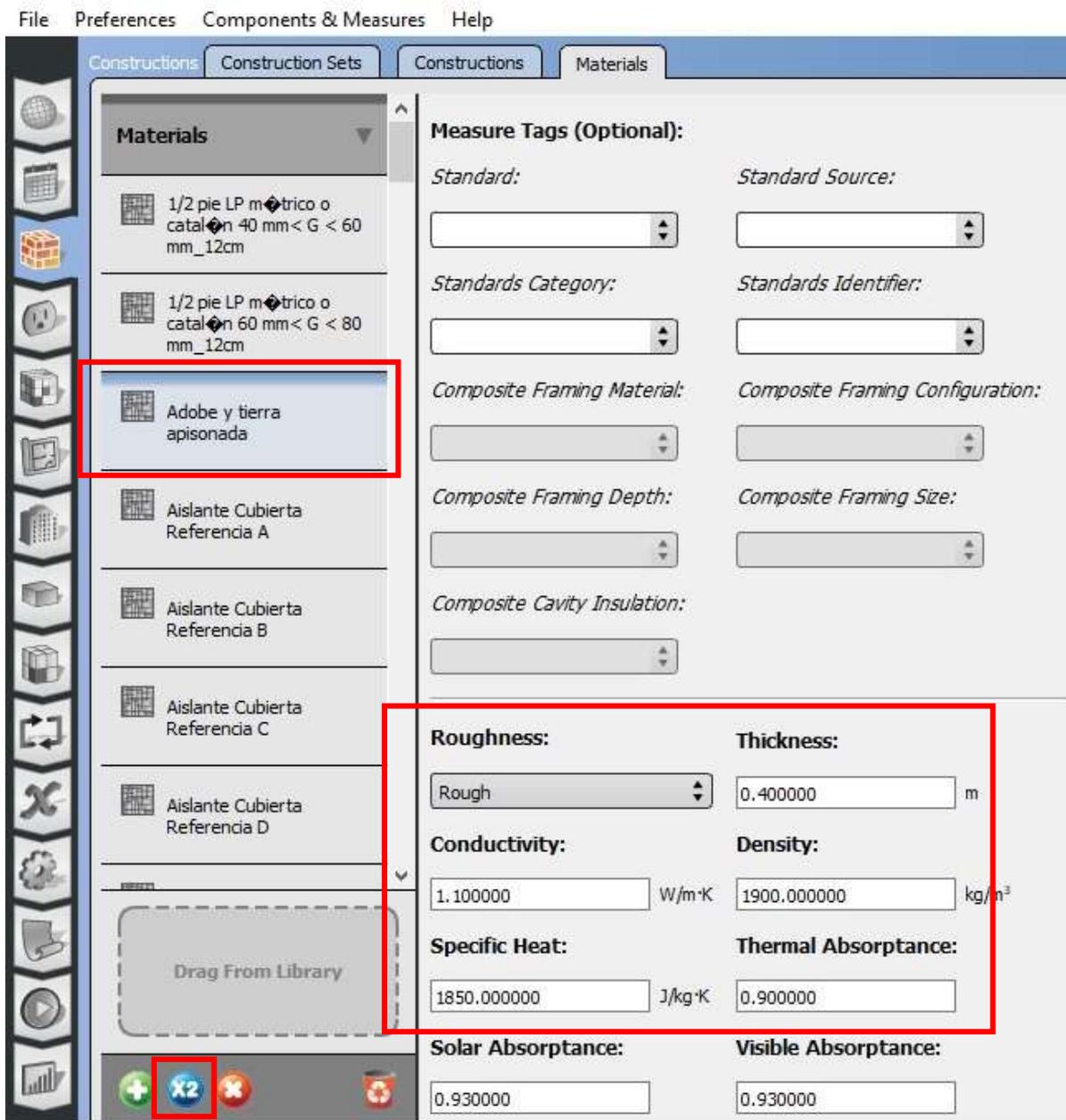


Ilustración 45.- Captura de pantalla de la pestaña para la Creación de nuevos materiales en OpenStudio 2.5.0

Los pasos para la inserción de datos para los nuevos materiales son los siguientes:

- I. Duplicar un material base
- II. Cambiar el nombre del material duplicado al que utilizaremos
- III. Insertar los datos de: aspereza, espesor, conductividad, densidad, calor específico, etc.

Perfiles constructivos

Para la creación de los perfiles constructivos, utilizaremos los materiales anteriormente creados, así como los que tomaremos de referencia provistos por el CTE.

Luego utilizaremos como base los detalles de las secciones que anteriormente se realizaron, como ejemplo utilizaremos al Perfil de la Cubierta Tradicional:

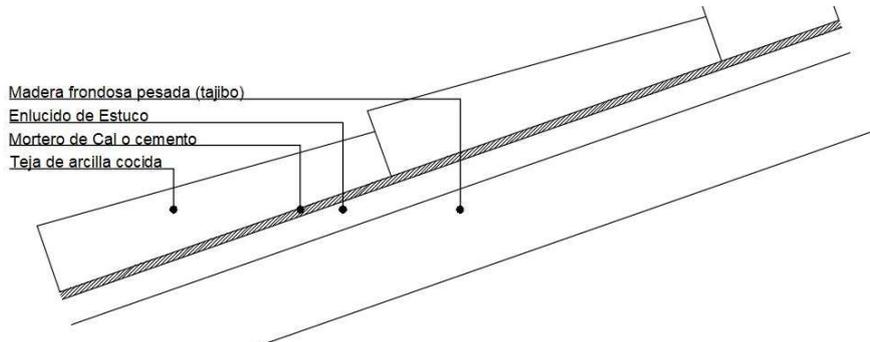


Ilustración 46.- Sección de la cubierta tradicional cruceña.



Ilustración 47.- Captura de pantalla de la pestaña de configuración de nuevos perfiles constructivos en OpenStudio 2.5.0

Para introducir los datos es importante la ubicación de la cara que da al exterior (outside), y la que mira al interior (Inside) de los espacios, en el caso de las particiones interiores esto no sería muy relevante; pero para los perfiles que den al aire libre, la vía pública o colinden con el terreno vecino, es de vital importancia por el orden que debe llevar la configuración del perfil constructivo, según las capas que este tenga.

Como podemos observar en la imagen anterior, los pasos para la creación de los perfiles constructivos son similares a la creación de materiales, pero en este caso

utilizamos los materiales ya creados y guardados en la librería (My model), para transformarlos en capas (layers), dentro del perfil constructivo.

Conjuntos de Perfiles Constructivos

En este paso, ya tenemos definidos todos los perfiles constructivos característicos de la Arquitectura Tradicional de Santa Cruz de la Sierra, así que crearemos un conjunto en particular para que los objetos de estudios que analicemos con el OpenStudio, previa designación correcta de los diferentes ítems de cerramiento o partición interna de las construcciones, puedan ser reconocidos como tal en el programa de simulación y se les asigne los perfiles constructivos, y por lo tanto los materiales, correspondientes a cada ítem (techo, cubierta, fachada, solera, etc.).

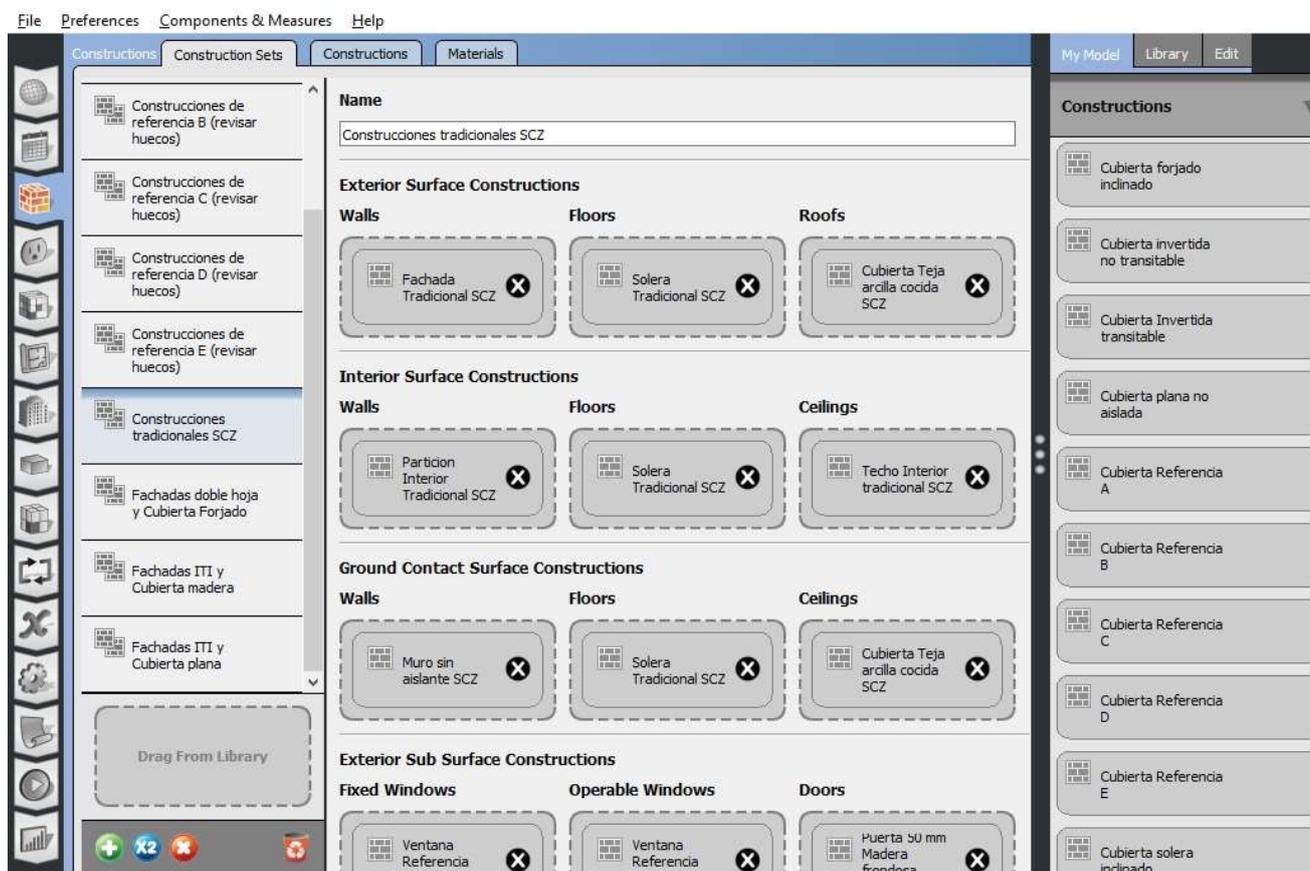


Ilustración 48.- Captura de pantalla de la pestaña de configuración de un nuevo conjunto de perfiles constructivos en OpenStudio 2.5.0

En este caso, como en los anteriores, también los pasos son muy parecidos, pero hay que tener cuidado en la colocación de los perfiles constructivos. Estos subgrupos se dividen en:

- I. Perfiles constructivos de superficie exterior
 - a. Muros
 - b. Soleras
 - c. Cubiertas
- II. Perfiles constructivos de superficie interior
 - a. Paredes

- b. Soleras
- c. Techos
- III. Perfiles constructivos de contacto con el suelo
 - a. Muros
 - b. Soleras
 - c. Techos
- IV. Subperfiles constructivos de superficie exterior
 - a. Ventanas fijas
 - b. Ventanas operables
 - c. Puertas
 - d. Puertas de vidrio
 - e. Lucernarios
- V. Subperfiles constructivos de superficie interior
 - a. Ventanas fijas
 - b. Ventanas operables
 - c. Puertas
- VI. Otros perfiles constructivos
 - a. Sombras de espacios
 - b. Sombras de edificios
 - c. Sombras de sitio
 - d. Particiones interiores

Definición de Tipos de Espacios

File Preferences Components & Measures Help

Space Type	Visible	Color	Construction Set	Profile	Ventilation
Recinto no habitable 1 ach	<input type="checkbox"/>	Black	Construccion tradicionales	Perfil espacio no habitable 1a	
Recinto no habitable 3 ach	<input type="checkbox"/>	Black	Construccion tradicionales	Perfil espacio no habitable 3a	
Recinto no habitable 5 ach	<input type="checkbox"/>	Black	Construccion tradicionales	Perfil espacio no habitable 5a	
Recinto terciario 8 h	<input type="checkbox"/>	Green	Construccion tradicionales	Perfil Terciario 8 h	Ventilacion 4l por s y persona
ario 8 h iluminacion 3W_m2	<input type="checkbox"/>	Green	Construccion tradicionales	Perfil Terciario 8 h	Ventilacion 4l por s y persona
con ventilacion nocturna 4	<input type="checkbox"/>	Purple	Construccion tradicionales	Perfil Vivienda 0_2ach con ve	Ventilacion 4l por s y persona
Vivienda Ach 0.5	<input type="checkbox"/>	Yellow	Construccion tradicionales	Perfil Vivienda	Ventilacion 4l por s y persona
con ventilacion nocturna 4	<input type="checkbox"/>	Yellow	Construccion tradicionales	Perfil Vivienda	Ventilacion 4l por s y persona
Vivienda ach 0.2	<input type="checkbox"/>	Yellow	Construccion tradicionales	Perfil Vivienda	Ventilacion 4l por s y persona

My Model Library Edit

Construction Sets

- Construccion habituales ITE
- Construccion de referencia A (revisar huecos)
- Construccion de referencia B (revisar huecos)
- Construccion de referencia C (revisar huecos)
- Construccion de referencia D (revisar huecos)
- Construccion de referencia E (revisar huecos)
- Construccion tradicionales SCZ
- Fachadas doble hoja y Cubierta Forjado
- Fachadas ITI y Cubierta madera
- Fachadas ITI y Cubierta plana

Ilustración 49.- Captura de pantalla de la pestaña de configuración de tipos de espacio en OpenStudio 2.5.0

En este apartado lo que hacemos principalmente es modificar los Conjuntos de Perfiles Constructivos (Constructions Set), y centrarnos sobre todo en el tipo de

espacio que vamos a utilizar para nuestra simulación, que viene a ser la “Vivienda Ach 0.5”; tal como se puede apreciar en la imagen anterior. (Ilustración 43)

Geometría

En este apartado lo que hacemos es revisar si la importación de la geometría en 3D, se ha realizado correctamente o si por algún motivo se debe de modificar nuevamente con el programa SketchUp. Uno de los principales problemas que se ha presentado en esta investigación en la aparición de geometría flotante que no tenía relación con los modelos de los objetos de estudio, y gracias a la revisión de esta pestaña se pudo subsanar este problema con la utilización del comando “Eliminación de Geometrías huérfanas”. A continuación, podemos ver que se ha realizado una correcta introducción del modelo:

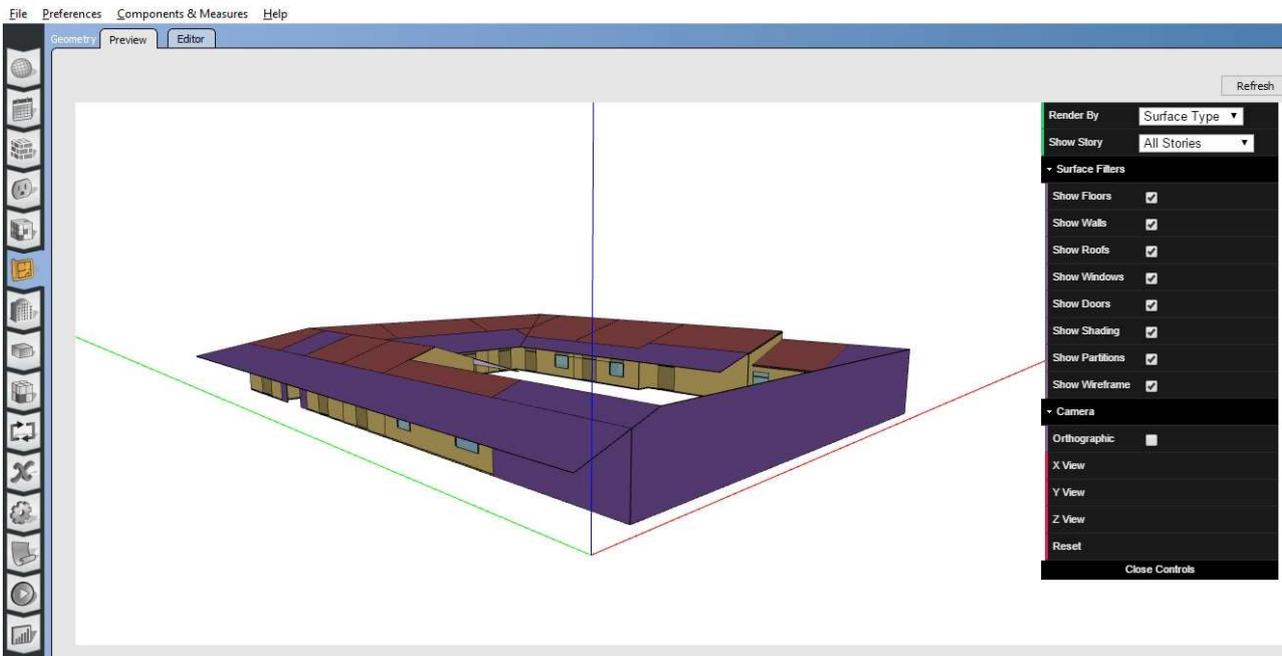


Ilustración 50.- Captura de pantalla de la pestaña de revisión de geometría 3D en OpenStudio 2.5.0

Revisión de los Espacios

Aquí, es donde revisaremos la configuración de los diferentes espacios que hemos diseñado en los modelos 3D de nuestros objetos de estudio. Para esto contamos con diferentes columnas dentro de un cuadro, donde tendremos que revisar lo siguiente:

- Nombre de los espacios
- Planta o nivel de los espacios
- Zona térmica
- Tipo de espacio
- Conjunto de perfiles constructivos

Estos ítems deberán ser revisados con detenimiento para cada espacio que hayamos creado. Para realizar alguna modificación, sobretodo de los perfiles constructivos que vienen por defecto como los seleccionados, nos ayudaremos de la librería que se encuentra en la derecha de la ventana. A continuación, mostramos el ejemplo de esto:

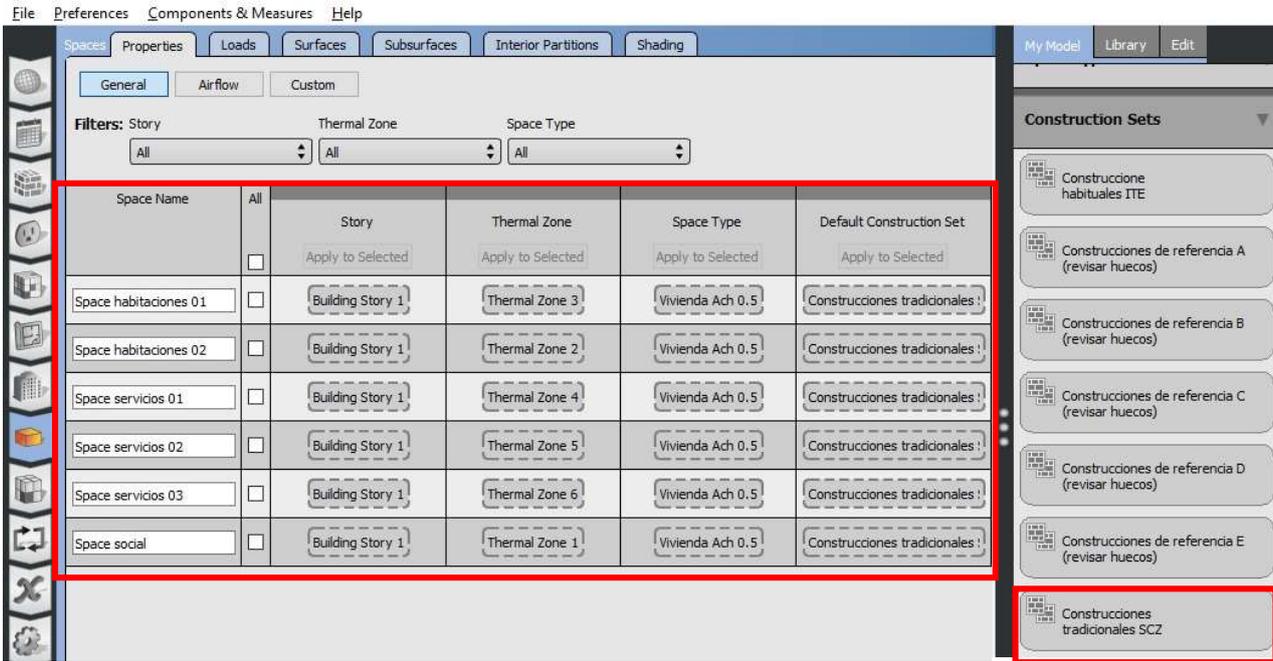


Ilustración 51.- Captura de pantalla de la pestaña de Revisión de espacios en OpenStudio 2.5.0

Configuración de las Zonas Térmicas

En esta pestaña es donde tenemos que colocar los sistemas de refrigeración y calefacción que se utilizarán para en nuestros objetos de estudio; a continuación, en la imagen siguiente se muestra esto:

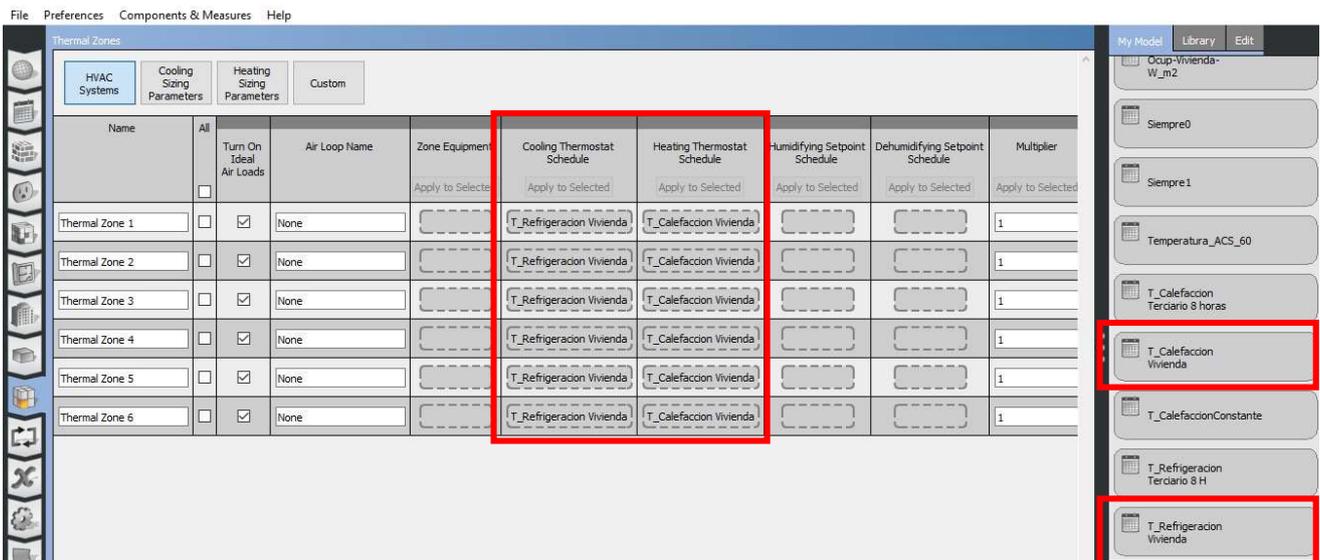


Ilustración 52.- Captura de pantalla de la pestaña de Configuración de las Zonas Térmicas en OpenStudio 2.5.0

Aquí es donde tendremos que tener mucho cuidado de las temperaturas que tomaremos como los límites para que comiencen a funcionar tanto la calefacción como la refrigeración. Esto lo haremos, dando clic sobre los perfiles de “T_Calefaccion Vivienda” y “T_Refrigeracion Vivienda”, que serán los que usaremos para realizar nuestro estudio y obtener la demanda de energía de cada objeto de estudio. A continuación, se muestran las imágenes de la edición de ambos perfiles:

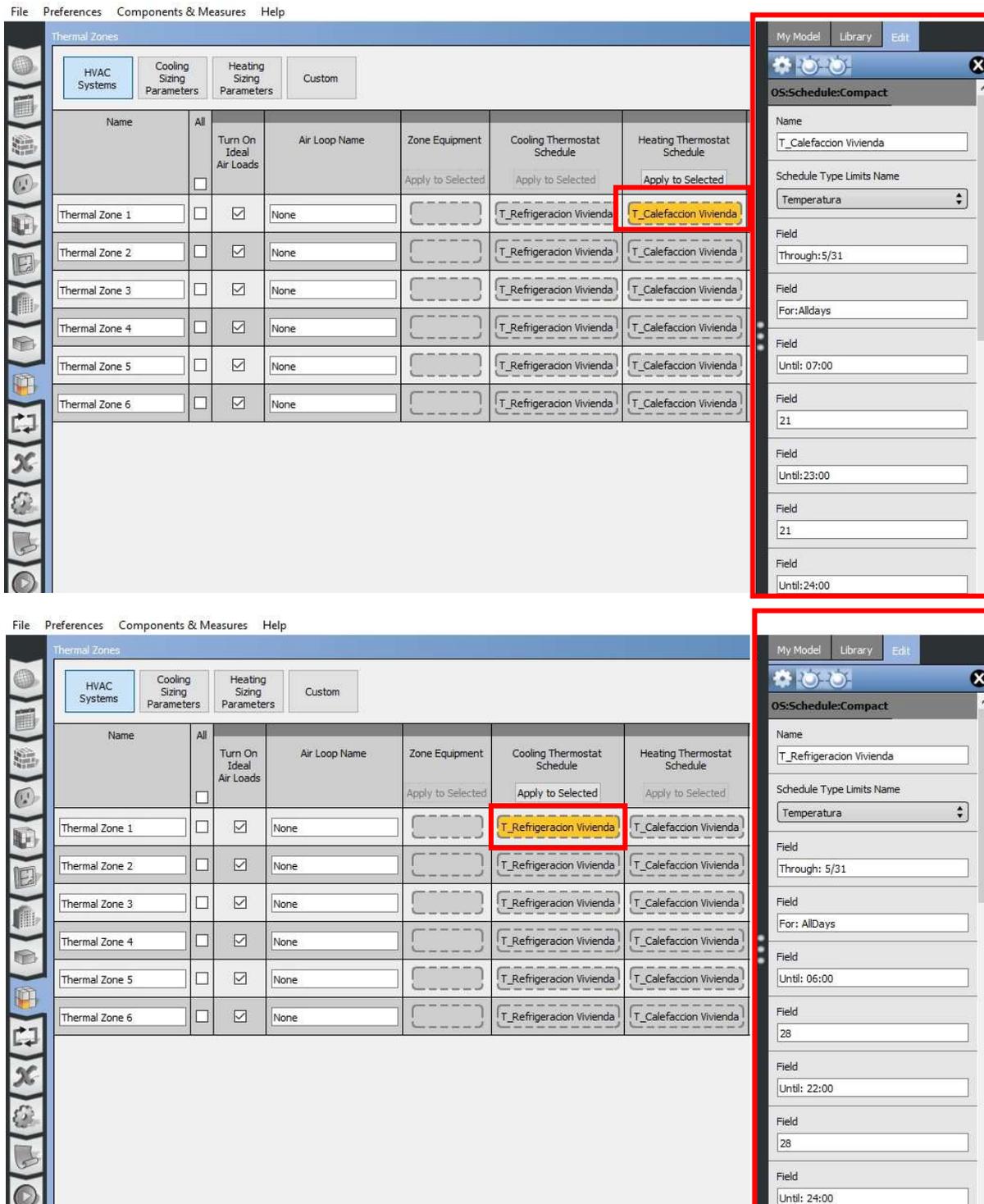


Ilustración 53.- Capturas de pantalla de la pestaña de la Configuración de las Temperaturas de consigna para calefacción y refrigeración en OpenStudio 2.5.0

Los límites que definiremos para el funcionamiento de uno u otro sistema serán: 28°C para el funcionamiento de la refrigeración, y 21°C para el funcionamiento de la calefacción.

Definición de las Variables de Salida

En este apartado lo que hacemos es configurar diferentes variables que nos ayudarán con el cálculo de la demanda energética de las viviendas que serán nuestros objetos de estudio. Estas variables serán las siguientes:

- Zone air sensible cooling Energy / Rate.
- Zone air sensible heating Energy / Rate.
- Zone electric equipment total heating energy.
- Zone infiltration air change rate.
- Zone lights total heating energy.
- Zone mean air temperature.
- Zone people occupant count.
- Zone people total heating energy.
- Zone Thermostat Cooling set point temperature
- Zone Thermostat Heating set point temperatura

Para todas estas variables activaremos el paso del tiempo a nivel horario, como se puede observar en las imágenes siguientes:

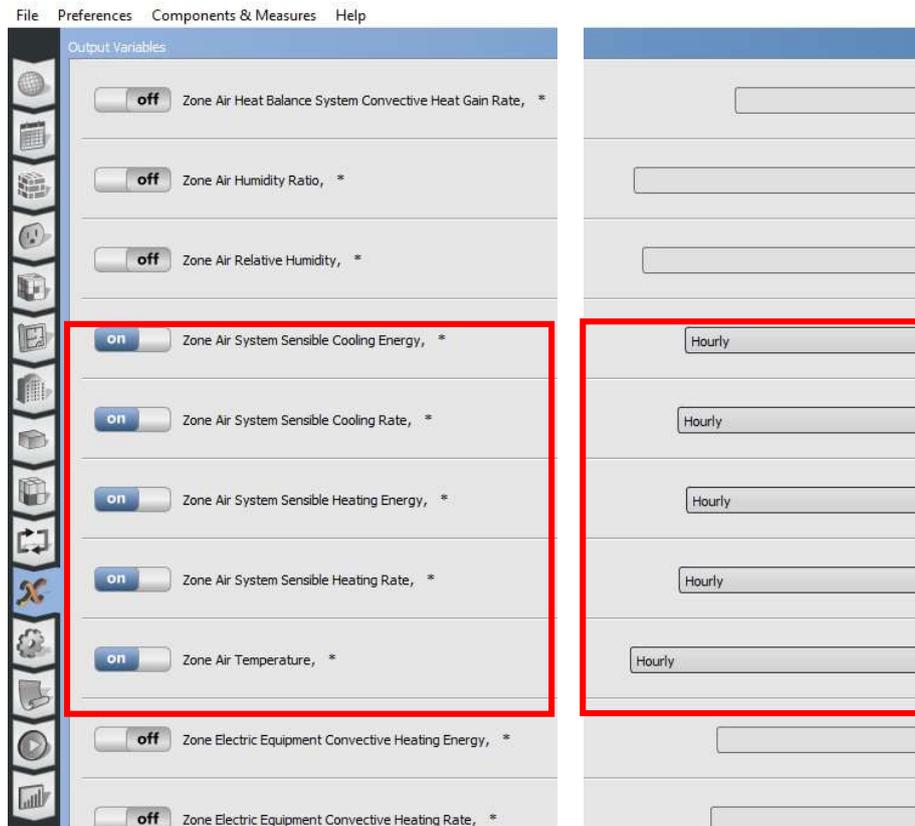


Ilustración 54.- Captura de pantalla de la pestaña de la definición de las variables de salida en OpenStudio 2.5.0

Calculo de la simulación

En este apartado, sencillamente daremos paso para que el programa corra la simulación con todos los datos ya configurados. A continuación, vemos la imagen de una de las simulaciones de uno de los objetos de estudio:

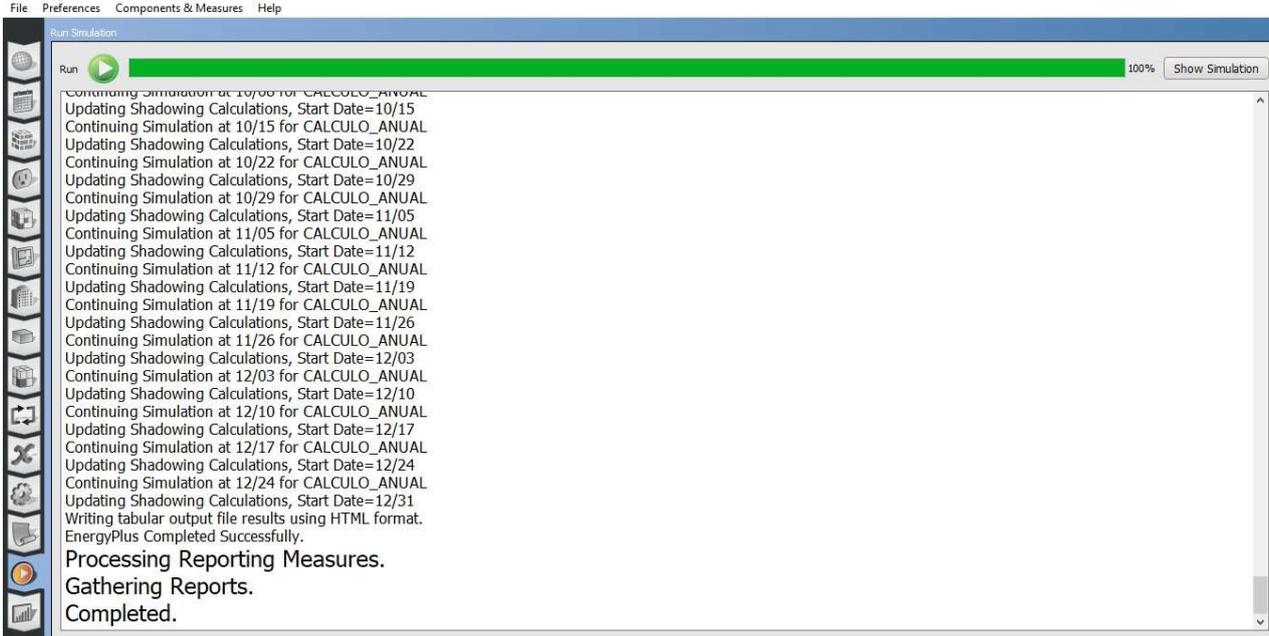


Ilustración 55.- Captura de pantalla de la pestaña del proceso de simulación en OpenStudio 2.5.0

Resumen de resultados

Aquí es donde se nos muestran los resultados de la simulación energética de la demanda que se ha realizado en la pestaña anterior. En un principio, podemos distinguir los datos del lugar que hemos elegido como punto geográfico de referencia para el estudio, como se muestra en la siguiente imagen:

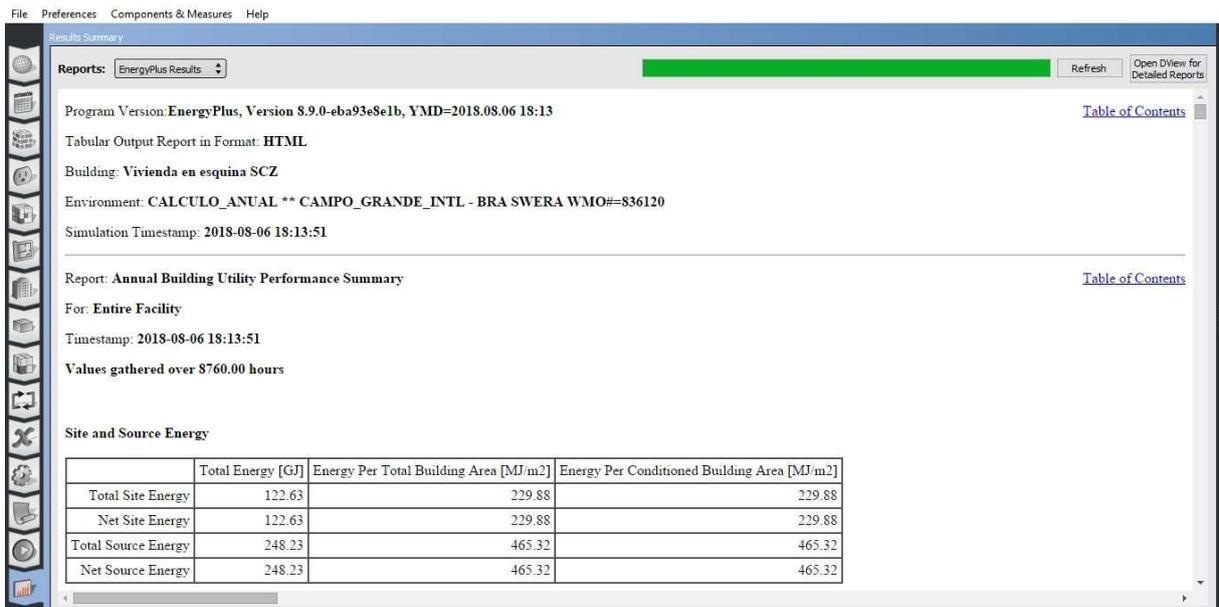


Ilustración 56.- Captura de pantalla de la pestaña del resumen de resultados de la simulación en OpenStudio 2.5.0