

Diseño y validación de vivienda bioclimática para la ciudad de Cuenca

Design and validation of bioclimatic housing for the city of Cuenca

Resumen:

Este estudio de diseño y validación de vivienda bioclimática para el la ciudad de Cuenca se ha dividido en dos secciones: En la primera parte se dan a conocer los resultados de un procesamiento de datos climatológicos de la ciudad, con lo cual se determina la influencia de cada uno de éstos hacia su entorno. Posteriormente se mostrará su aplicación en el diagrama bioclimático de Givoni y finalmente se hará un breve análisis de otros factores ambientales que influyen en el confort de los espacios habitables.

En la segunda parte se plantea el diseño de una vivienda bioclimática a nivel de anteproyecto, la misma que ha sido evaluada y validada mediante el uso de un software y cálculos matemáticos, basados en normas nacionales e internacionales.

Palabras clave: Diseño, vivienda bioclimática, Cuenca, Ecuador.

Abstract:

This study of design and validation of bioclimatic housing for the the city of Cuenca has been divided into two sections:

In the first part are made known the results of a processing of climatological data of the city, which determines the influence of each of these to its environment. Then its application in the bioclimatic diagram of Givoni will be displayed, and finally we do a brief analysis of other environmental factors influencing the comfort of habitable spaces.

In the second part it arises the design of a bioclimatic housing at the level of preliminary, the same that has been evaluated and validated through the use of a software and mathematical calculations, based on national and international standards.

Keywords: Design, housing bioclimatic, Cuenca, Ecuador.

Por:
Ximena Cordero
Vanessa Guillén
Universidad de Cuenca

Recibido: 05 de Enero 2013
Aceptado: 10 de Febrero 2013

Introducción:

En el periodo siguiente de la Segunda Guerra Mundial con el crecimiento poblacional, económico y urbanístico se incrementó el consumo energético, provocando el deterioro del medio ambiente como consecuencia de los esquemas de desarrollo planteados en las ciudades, los mismos que se han sustentado en los combustibles fósiles. Desde entonces se ha hecho presente la búsqueda de alternativas energéticas en los diferentes sectores.

En Ecuador, los subsidios han generado impactos ambientales por el crecimiento de la demanda de derivados de petróleo, por lo que se ha establecido un cambio de la matriz energética del país que incluya las energías renovables, para ello se busca incrementar a un 8% hasta el año 2020 el uso de alternativas energéticas según el Ministerio de Electricidad y Energías renovables.

Considerando que en las viviendas los mayores usos energéticos son de carácter térmico y eléctrico, la arquitectura bioclimática representa una alternativa para alcanzar la eficiencia energética en el sector constructivo mediante un diseño lógico que aproveche al máximo los parámetros medioambientales. Con este fin se ha realizado una recopilación de los factores y elementos del clima de Cuenca tomando para este último, datos de un total de 33 años de la Estación Meteorológica del Aeropuerto Mariscal Lamar y de 5 años de la Estación Meteorológica del Centro de Estudios Ambientales de Cuenca (CEA), los cuales permitirán determinar que el mayor problema térmico de la ciudad no es su oscilación de temperatura anual sino su amplitud térmica diaria.

Con el análisis de estos datos se busca plantear una vivienda que a más de ser amigable con el medio ambiente, mejore la calidad de los espacios habitables a través de un diseño solar pasivo y complementado con el diseño solar activo, en

el cual se consideren también otros factores ambientales tales como: la calidad del aire, el acondicionamiento acústico, la iluminación natural, el reciclaje de agua lluvia y el uso de materiales reciclables.

CLIMA DE CUENCA

El clima del Ecuador se encuentra determinado por la presencia de la Cordillera de los Andes y la ubicación del país dentro de la zona de convergencia intertropical. El primer caso explica la conformación de diferentes regiones climáticas a cortas distancias, y el segundo que ciertas áreas del país reciban la influencia alternativa de masas de aire con diferentes características de temperatura y humedad.

La ciudad de Cuenca, al encontrarse dentro del callejón interandiniano, puede recibir influencia de la Costa o del Oriente, sin embargo esto va a depender del lugar donde desagüen los sistemas hidrográficos, que en este caso es hacia el Oriente por lo que el clima tenderá a presentar mayores variaciones térmicas y estabilidad en la humedad atmosférica.

Factores y elementos del clima

Los agentes que influyen o modifican el comportamiento de los elementos del clima son denominados factores del clima y éstos son:

- **Latitud y longitud:** permiten ubicar un lugar específico en la superficie terrestre, la importancia del análisis de la latitud es la relación existente entre ésta y la trayectoria solar. Cuenca presenta una latitud de 2°53'12" Sur y una longitud de 79°09' W.
- **Altura sobre el nivel del mar:** se relaciona principalmente con la temperatura pues según estudios del INAMHI por cada 200 metros descendiendo 1 grado. La altura de la ciudad de Cuenca es de 2530 msnm.
- **Factor de continentalidad:** no presenta masas de agua en gran escala, sin embargo los ríos que atraviesan la ciudad influyen en los microclimas de las zonas próximas a éstos.
- **Orografía:** incide en el comportamiento del clima ya sea por la presencia o ausencia de montañas pues éstas pueden obstaculizar o favorecer el paso del sol o vientos a determinados puntos. En Cuenca se distinguen tres terrazas, siendo éstas la loma de Cullca, el centro de la ciudad, y la zona baja por donde pasan los ríos de la ciudad.
- **Topografía:** esta condición puede actuar en los diferentes microclimas que pueda tener la ciudad ya que las pendientes de los terrenos influirán en la recepción de radiación solar y vientos. Se han encontrado pendientes que varían entre los 0-5% hacia el norte y de 12-25% hacia el sur de Cuenca.

- **Hidrografía:** la ciudad presenta cuatro ríos: Tomebamaba, Yanuncay, Tarqui y Machángara, los cuales al unirse forman el río Cuenca, afluente del río Paute, que fluye hacia el Oriente.
- **Naturaleza de la superficie de la tierra:** la mayor parte de la ciudad se encuentra en un suelo de escasa vegetación, en las zonas cercanas al límite se encuentran mosaicos de cultivos; sin embargo, no se cuenta con áreas de extensión significativas de vegetación.

Aquellos fenómenos que se emplean para definir el clima característico de un lugar se los conoce como elementos climáticos y son:

- **Temperatura:** El promedio de temperatura anual es de 16.3°C, presentando una amplitud térmica promedio anual de 2.7°C, es decir una temperatura prácticamente constante. En el gráfico se puede observar que las menores temperaturas se hacen presentes entre los meses de junio a septiembre y las mayores temperaturas en diciembre y enero.

En un análisis de la amplitud térmica diaria se puede apreciar que el valor de ésta es alto a diferencia del valor anual, pues presenta un promedio de 9.2°C. Por lo que este dato nos orienta a que la toma de decisiones debe enfocarse a mejorar el confort térmico diario.

- **Humedad relativa:** La humedad relativa promedio de la ciudad es de 64.9%. Los mayores porcentajes de humedad se dan en los meses comprendidos entre marzo y mayo, disminuyendo hacia el mes de agosto, y aumentando ligeramente en los siguientes meses. La humedad relativa es casi constante por lo que sus variaciones no implican mayores impactos en el comportamiento general del clima.
- **Precipitaciones:** Se hacen presentes en dos periodos del año, el primero y el más alto entre los meses de febrero a mayo con 101.13 mm/m² y el segundo comprende los meses de octubre a diciembre con una cantidad de 87.7 mm/m². La época de menores precipitaciones alcanza los 35.98 mm/m².

Los meses que presentan mayores precipitaciones coinciden con los meses de tem-

peraturas más elevadas y de igual manera con periodos de humedad alta, y en los meses de menores precipitaciones su humedad relativa disminuye al igual que los niveles de temperatura.

- **Vientos:** Cuentan con diferentes atributos tales como: dirección (de donde proviene el viento), frecuencia (porcentaje en que se presentó el viento en cada una de las orientaciones) y velocidad (velocidad recorrida por el viento en una unidad de tiempo).

En la ciudad los vientos presentan una dirección predominante desde el Noreste, con una velocidad que se encuentra entre los 9 y 12.82 km/h.

- **Nubosidad:** Es una masa visible formada por gotas de agua microscópicas suspendidas en la atmósfera. La ciudad de Cuenca presenta una nubosidad de 7/8 octavos entre los meses de febrero a mayo y disminuye a 6/8 octavos en los demás meses.
- **Radiación Solar:** En Cuenca la radiación solar varía entre los 3.92 y 5.06 Kwh/m². La menor radiación se hace presente en el mes de junio coincidente con la temporada de menores temperaturas.

Diagrama bioclimático acoplado a la ciudad de Cuenca

A través del diagrama bioclimático se pueden establecer las estrategias que se deben aplicar en una edificación para alcanzar confort haciendo uso de los datos meteorológicos de la ciudad, para lo cual son suficientes los datos de temperatura y humedad media en cada mes.

Como se puede ver en la figura 1, la estrategia recomendada es la incorporación de inercia térmica en la edificación, ya que con el calentamiento solar pasivo será suficiente para alcanzar la zona de confort en un clima como el nuestro.

Otros factores ambientales

- **Contaminación acústica:** En base a estudios realizados por el CEA se han identificado las zonas que presentan mayores problemas acústicos en horas pico, que afectarán directamente al confort en el interior de los espacios habitables. En la figura 2 se puede apreciar que la zona del Centro Histórico y sus alrededores, así como el sector suroeste de la ciudad presentan los más altos niveles de ruidos, los mismos que alcanzan los 80 dB, superando la normativa ecuatoriana.
- **Iluminación natural:** su incidencia en el interior de las edificaciones dependerá de la orientación de las ventanas, las cuales al ubicarse en sentido Este-Oeste o viceversa alcanzarán mayores luxes que si su orientación fuera en sentido Norte-Sur. Si bien con el primer caso se favorece incluso el acondicionamiento térmico, se debe considerar que el ingreso de luz directa provocará deslumbramientos.

PROPUESTA DE DISEÑO DE VIVIENDA BIOCLIMÁTICA

Después de un estudio sobre las características climáticas de la ciudad de Cuenca se puede proceder a la aplicación en una propuesta de vivienda bioclimática unifamiliar para la ciudad de Cuenca, la misma que se validará mediante la utilización del software Ecotect. Esta vivienda está destinada para un grupo de cuatro personas, que corresponde a la composición familiar de la provincia del Azuay y su programa arquitectónico es el siguiente: zona social (sala, comedor, estar), zona de descanso (dormitorio de padres, dos dormitorios de hijos), zona de servicio (cocina, lavandería, baño social, dos baños completos), zona de trabajo (estudio).

Forma y orientación:

La forma de la edificación planteada es compacta y regular, ya que esto permite disminuir las pérdidas de calor a través de la envolvente expuesta. Al tratarse de un terreno en sentido Este-Oeste, permite que la edificación pueda recibir un soleamiento adecuado durante todo el año. Como se puede observar en la figura 3, la trayectoria solar durante los meses de menores temperaturas tiende hacia el Norte de la edificación, en tanto que en los meses que se registran mayores temperaturas tenderá hacia el sur y en el periodo de temperaturas intermedias hacia el centro de la edificación. De esta manera, la fachada frontal (Oeste) cuenta con soleamiento durante las tardes, en tanto que la posterior (Este) lo recibe durante las mañanas, esta condición se ha tomado en cuenta para la distribución de las diferentes zonas al interior de la vivienda, siendo el principal determinante su horario de utilización.

Distribución interior:

Como se aprecia en la figura 4, los espacios se encuentran clasificados de acuerdo a sus requerimientos térmicos y de ventilación, aquellos de color amarillo son los que requieren conservar el calor ganado durante el día, mientras que los de color celeste son los que necesitan una mayor ventilación debido a que son zonas de servicio, por lo que estos últimos se encuentran aislados con el propósito de evitar pérdidas de calor por infiltraciones de aire.

Sistemas de diseño solar:

El diseño solar de la vivienda planteada se fundamenta en la matriz bioclimática, cuyos pilares son: la captación de energía, la acumulación, distribución y aislación.

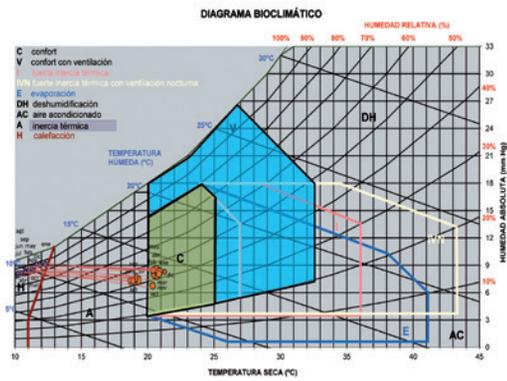


Figura 1

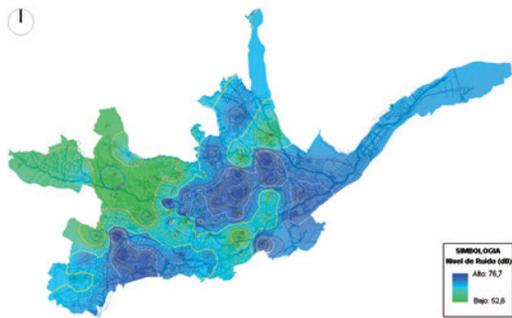


Figura 2

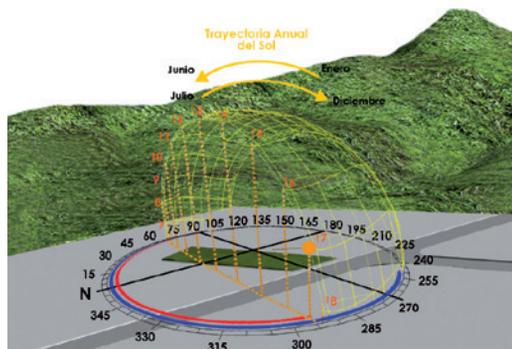


Figura 3: Trayectoria solar diaria y anual



Figura 4: Distribución espacial, planta baja y planta alta

Fuente: Elaboración: Grupo de Tesis

Para ello se ha optado por la utilización de sistemas de diseño solar pasivos y activos, los primeros son aquellos que “utilizan medios naturales para el transporte de los flujos térmicos de energía, como la radiación, conducción y convección, es decir, el mismo edificio constituye el sistema; el segundo emplea sistemas auxiliares mecánicos para captar y transportar el calor, a través del aprovechamiento de nuevas energías”¹.

Diseño solar pasivo: Dentro de los sistemas de diseño solar pasivo se encuentran los de aporte solar directo, indirecto e aislado, cada uno de los cuales ha sido empleado en la propuesta de vivienda bioclimática.

Aporte solar directo: Sucede cuando el flujo energético ingresa al interior de la edificación al mismo tiempo en que la radiación solar incide sobre la envolvente de la misma, siendo esto a través de las superficies acristaladas. Dentro de los sistemas de aporte solar directo utilizados en esta vivienda se encuentran:

- **Ventanas:** Considerando que el vidrio presenta una alta transmisividad ante la componente directa de la radiación solar, no es necesaria la utilización de grandes superficies acristaladas para calentar un ambiente, por lo que su dimensión está condicionada a las necesidades de iluminación de cada espacio. Por otra parte, si bien los elementos acristalados permiten importantes ganancias solares, también generan grandes pér-

didadas de calor en ausencia de sol, por lo que en las zonas que requieren conservar el calor ganado durante el día se ha planteado la utilización de doble vidrio, lo cual permite reducir la transmitancia térmica (ver figura 5).

- **Claraboya:** Se ubica en la caja de gradas que se encuentra en la parte central de la vivienda, constituyendo así un elemento regulador de la temperatura interior de la vivienda. Se encuentra diseñada con un ángulo de inclinación dado por la latitud de la ciudad (3°), lo cual permite que la radiación incida lo más directamente posible sobre la superficie acristalada, disminuyendo así las pérdidas por reflexión (ver figura 6).
- **Aporte solar indirecto:** En este caso la radiación solar no ingresa directamente a los espacios, sino que es captada y almacenada en la envolvente del edificio para posteriormente ser liberada hacia el interior en forma de calor, principalmente a través de conducción o radiación, aunque también es posible generar intercambios de calor a través de convección. De esta manera los sistemas de aporte solar indirecto aplicados en esta vivienda son los siguientes:
- **Cerramientos de alta inercia térmica:** Se encuentran en la fachada frontal y posterior, en aquellos ambientes que presentan mayores exigencias de confort térmico, por lo que se ha propuesto la utilización de muros de ladrillo macizo, ya que la inercia térmica que tiene este material le permite acumular en su masa la energía recibida durante el día y cederla progresivamente hacia los espacios durante la noche. El espesor que se ha requerido en este caso para cumplir con lo anterior es de 24 cm, lo cual está recomendado por varios autores, según el material y la latitud del lugar (ver figura 7).

Gráfico N° 20.- VENTANAS: Captación y acumulación

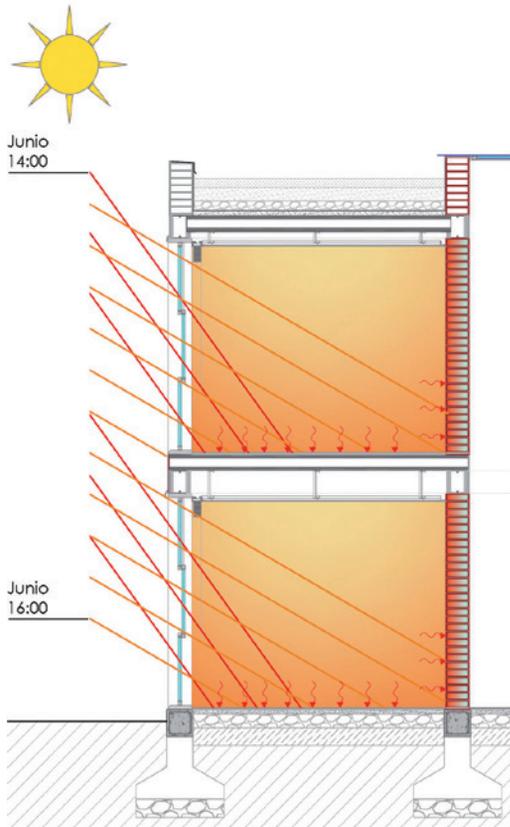


Gráfico N° 21.- VENTANAS: Distribución y aislación

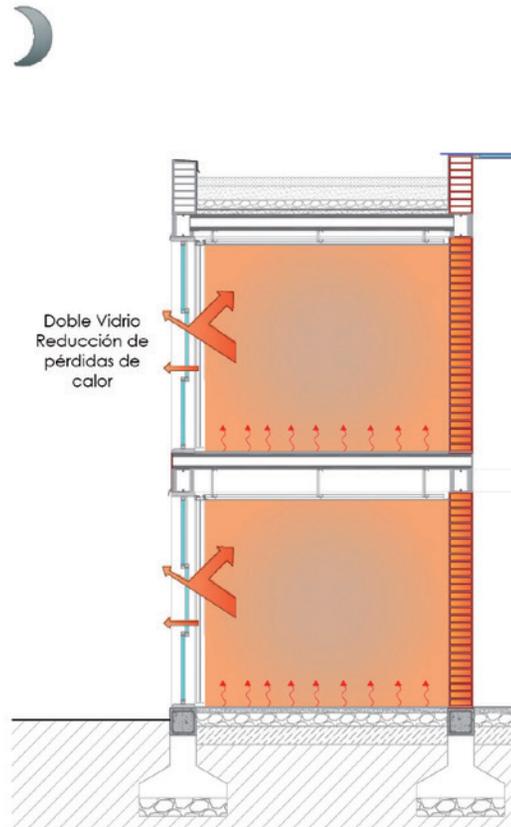


Figura 5: Ventanas: captación, acumulación, distribución y aislación.

Fuente: Elaboración: Grupo de Tesis

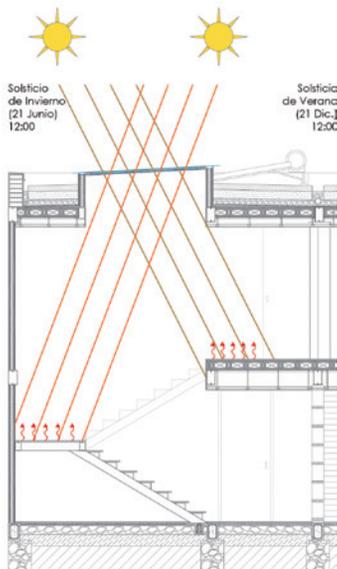


Figura 6: Claraboya: Incidencia solar en los solsticios

Fuente: Elaboración: Grupo de Tesis

Gráfico N° 33.- CERRAMIENTOS INERCIA TÉRMICA: Captación y Acumulación

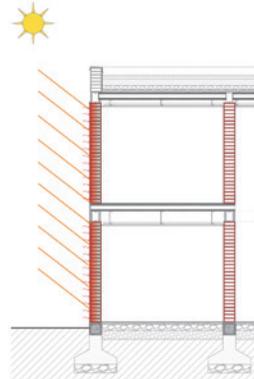


Gráfico N° 34.- CERRAMIENTOS DE INERCIA TÉRMICA: Distribución

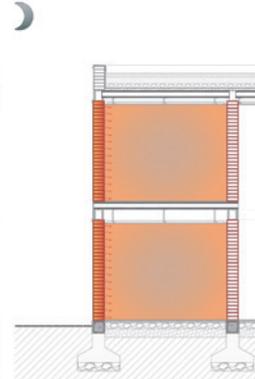


Figura 7: Cerramientos de alta inercia térmica: captación, acumulación y distribución

Fuente: Elaboración: Grupo de Tesis

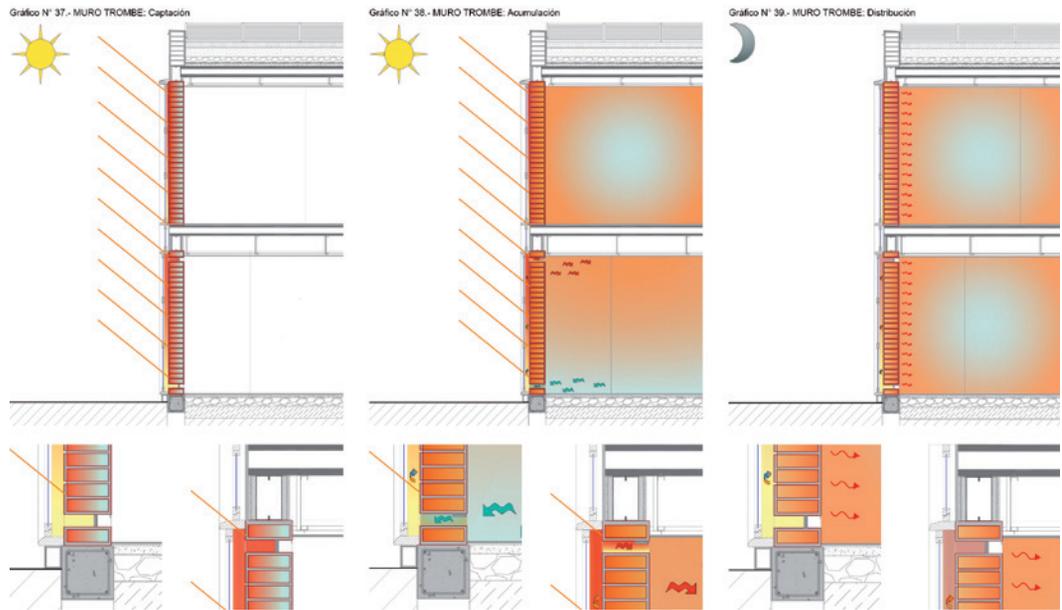


Figura 8: Muro trombe: captación, acumulación y distribución

Fuente: Elaboración: Grupo de Tesis

- **Muro trombe:** En la vivienda se propone la utilización de un muro trombe ventilado y no ventilado (ver figura 8), ambos están constituidos por un muro de alta inercia térmica (ladrillo), una cámara de aire y una superficie acristalada, la diferencia entre los dos es que el primero cuenta con orificios tanto en la parte superior como en la inferior, los cuales permiten el intercambio de aire con el ambiente interior, mientras que el no ventilado carece de éstos. Se plantea la utilización del muro trombe ventilado para el caso de la sala, ya que su utilización no se prolonga hasta la madrugada, de esta manera el aire caliente encerrado en la cámara asciende y circula hacia el interior a través de los orificios superiores, en tanto que el vacío que esto provoca en la cámara permite a su vez la succión del aire frío del interior a través de los orificios inferiores, produciéndose así un bucle de circulación de aire por convección natural. El muro trombe no ventilado se encuentra en el dormitorio que recibe soleamiento durante las tardes, ya que su aplicación se recomienda para ambientes de uso continuo, así el aire encerrado en la cámara alcanzará una mayor temperatura permitiendo que la pared de alta inercia térmica pueda acumular una mayor energía y liberarla durante la noche en forma de calor.
- **Aporte solar aislado:** El proceso de captación y almacenamiento de energía se lleva a cabo en un espacio separado del espacio habitable, de tal manera que el calor es transportado hacia los mismos a través de un fluido (generalmente aire) en el momento que se requiera. En la propuesta de vivienda bioclimática se ha planteado la utilización de los siguientes sistemas de aporte solar aislado.
- **Invernadero adosado:** El efecto invernadero se produce debido a que el vidrio genera una trampa de calor, ya que

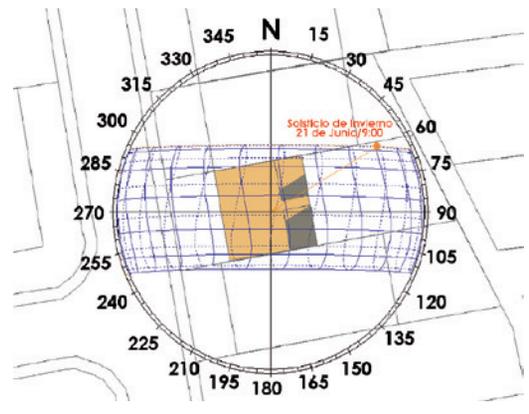


Figura 9: Análisis de soleamiento para ubicación de invernadero (fachada este), solsticio de invierno.

Fuente: Elaboración: Grupo de Tesis

permite el ingreso de la radiación de onda corta mientras que es opaco a la radiación de onda larga emitida por los cuerpos (paredes, suelo, muebles, etc.) que se encuentran al interior del espacio, de esta manera la energía ingresa pero no puede salir. En el caso de la vivienda, el invernadero se encuentra orientado hacia el Este, y mediante un análisis de soleamiento se ha podido determinar el lugar idóneo para su ubicación, ya que como se puede ver en el gráfico 2.7, esta zona recibe un mayor soleamiento en el periodo de menores temperaturas (junio-agosto).

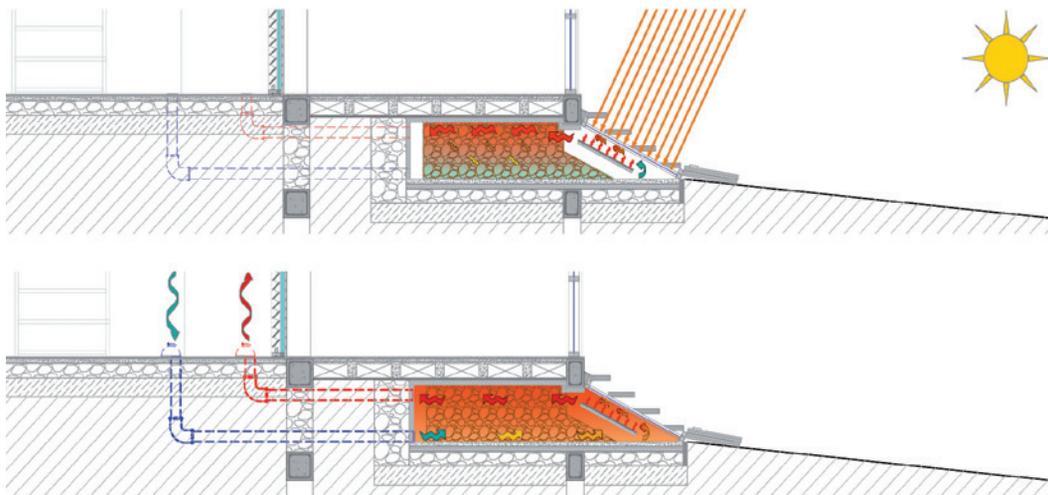


Figura 10: Lecho de rocas: captación y acumulación

Fuente: Grupo de Tesis

- **Sistema de almacenamiento de calor mediante lecho de rocas:** El sistema está compuesto por un contenedor en donde se encuentran piedras homogéneas de pequeños tamaños, por un captador solar plano y conductos de entrada y salida de aire. El objetivo del captador solar plano es generar el efecto invernadero al interior del contenedor, de esta manera su funcionamiento es similar al del muro trombe, ya que una vez que las rocas han acumulado la energía, el aire comienza a circular por convección natural a través de las tuberías de entrada y salida de aire (ver figura 10). En esta vivienda, el lecho de rocas se encuentra hacia el Este con el propósito de acumular energía durante la mañana y que el calor sea cedido hacia el interior por las tardes. Para evitar pérdidas de calor por las noches, la superficie acristalada cuenta con una compuerta practicable aislada mediante poliestireno expandido.
- **Aislamiento térmico:** Para evitar que la estructura bioclimática fracase es importante contar con un adecuado aislamiento térmico, de esta manera el flujo de energía a través de la envolvente se reduce, controlando así la pérdida del calor almacenado mediante los sistemas de aporte solar directo, indirecto y aislado. Es así que se ha planteado la utilización de materiales o mecanismos de aislación térmica en los diferentes elementos de la envolvente como son paredes, superficies acristaladas, puertas, puentes térmicos y cubierta.

Validación del confort térmico en la vivienda:

El análisis del confort térmico en la vivienda se ha realizado mediante la utilización del programa Ecotect, el cual permite determinar la temperatura al interior de cada uno

de los espacios de la vivienda. Este programa se basa en datos meteorológicos propios de la ciudad como son: temperatura del aire, humedad relativa, radiación, nubosidad, dirección y velocidad del viento, altitud, latitud y longitud. A su vez es necesario especificar las propiedades térmicas de todos los materiales que componen el espacio, así como también el número de personas para el que está destinado y la actividad que se desarrollará en éste. De esta manera se ha realizado el análisis de las diferentes zonas considerando las fechas más representativas como son los solsticios de invierno y verano y los equinoccios. Para dicho análisis se ha considerado que el rango de confort se encuentra entre los 20 y 25°, lo cual se ha determinado en base a la fórmula desarrollada por Auliciems y De Dear, que es uno de los estudios más actuales al respecto y que se basa en la temperatura promedio de la ciudad.

Como se puede observar en la figura 11, que corresponde a la zona de descanso, de manera general se puede concluir que las estrategias de diseño solar aplicadas han permitido conseguir temperaturas confortables en todos los casos de análisis, las cuales se mantienen relativamente constantes en el transcurso del día. Lo mismo se puede decir en relación a las demás zonas de la vivienda y además "es importante recalcar que a pesar de que la fluctuación diaria de la temperatura externa se encuentra entre los 10 y 13°C, al interior de la vivienda se logra mantener una fluctuación que no supera los 6°C, que según la norma americana es el máximo permitido para encontrarse en condiciones de bienestar térmico"2.

Diseño solar activo:

- **Sistema solar fotovoltaico:** Permite transformar la energía solar en eléctrica a través de un conjunto de

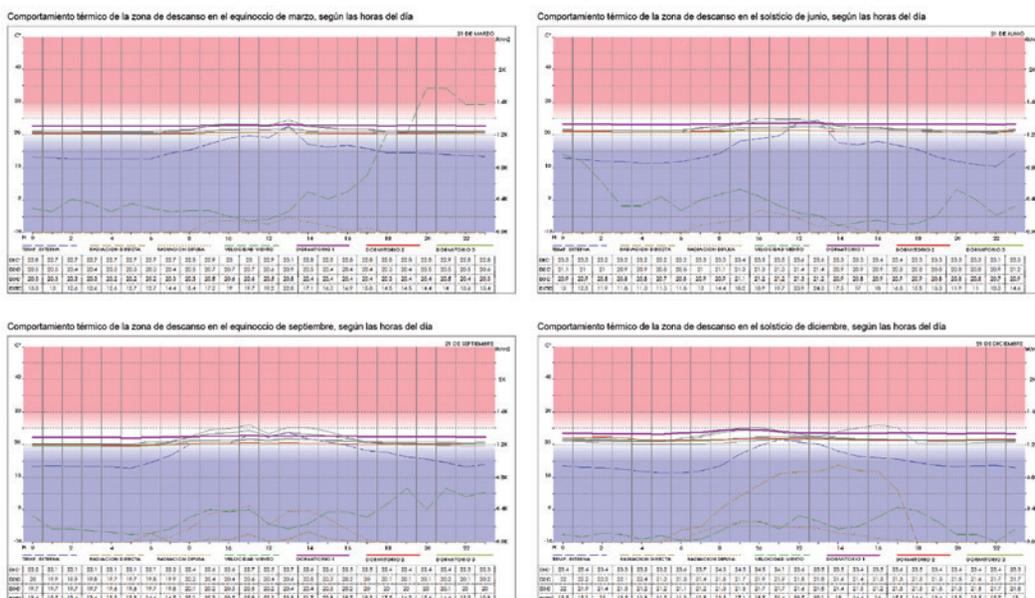


Figura 11: Validación del confort térmico por fechas y según horas del día (zona de descanso)
Elaboración: Grupo de Tesis

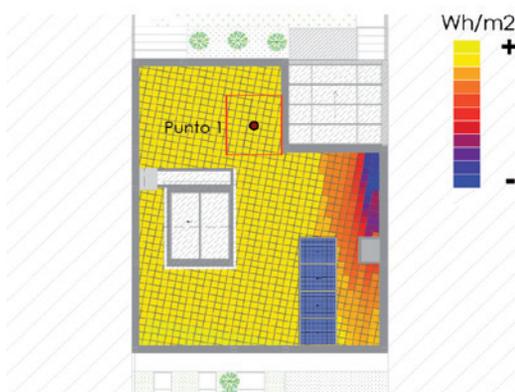


Figura 12: Análisis de incidencia de radiación solar
Elaboración: Grupo de Tesis

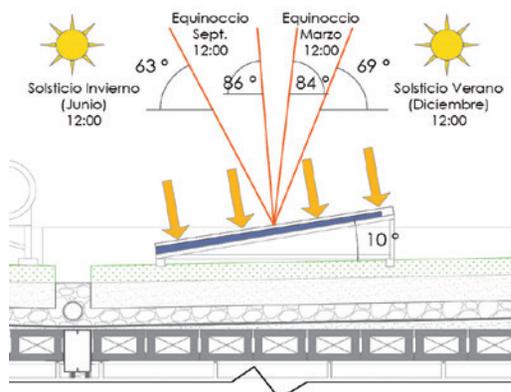


Figura 13: Ángulo de inclinación de paneles fotovoltaicos
Elaboración: Grupo de Tesis

componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos. Los paneles pueden ser aislados o conectados a la red, los primeros por lo general se emplean en zonas rurales en donde se carece del servicio de energía eléctrica, mientras que los segundos canalizan la energía producida hacia la red para venderla a la compañía de servicios.

Se ha visto importante plantear la utilización de un sistema fotovoltaico, considerando que la ciudad de Cuenca presenta un nivel de radiación intermedio-alto con respecto a otros lugares de la región Sierra, teniendo además que los niveles permanecen constantes a lo largo del año, por lo tanto desde el punto de vista técnico resulta factible su implementación. Para su ubicación en la cubierta, se ha realizado un análisis de sombras así como también de incidencia de radiación solar, determinando así que en la ubicación establecida no existirán problemas de obstrucciones durante todo el año (ver figura 12). Con

respecto a su orientación, debido a que la trayectoria solar para el caso de Cuenca tiende hacia el Norte, los paneles estarán orientados en esta dirección y si bien se recomienda una inclinación igual a la latitud, en este caso al ser $-2,9^\circ$ se ha optado por una inclinación de 10° (ver figura 13) que es la necesaria para provocar auto-limpieza y de esta manera garantizar el adecuado funcionamiento de los paneles. Por otra parte, en lo que se refiere a la vivienda se propone la utilización del sistema fotovoltaico conectado a la red, ya que a través de un análisis realizado en la tesis de grado “Análisis de factibilidad técnica y económica en la implementación de energía fotovoltaica y termosolar para generación de electricidad y calentamiento de agua mediante paneles

solares fijos y con un seguidor de Sol de construcción casera, para una vivienda unifamiliar” (Autores: Ing. Juan C. Sarmiento e Ing. Fernando M.) se pudo conocer que este mecanismo resulta más factible desde el punto de vista económico.

- **Sistema solar térmico:** Este sistema consiste en un dispositivo de transferencia y almacenamiento de energía que para su funcionamiento requiere de un colector solar, un tanque de almacenamiento y un fluido de trabajo que por lo general es agua. Para determinar su ubicación se han realizado los mismos estudios que para el caso del sistema fotovoltaico. Gracias a un estudio efectuado en base al número de personas, demanda por usuario en un día, temperatura que deberá alcanzar el agua al calentarse y datos de radiación solar de la ciudad, con la colaboración de los autores de la tesis mencionada anteriormente se ha podido estimar el rendimiento de un panel tomando como ejemplo uno existente en el mercado, concluyendo que aproximadamente el 72,56% de la demanda de energía podrá cubrirse mediante el sistema solar térmico mientras que para cubrir el 27,44% se requerirá de un sistema auxiliar (ver figura 14).

Otros factores: Diseño lumínico:

Para un adecuado aprovechamiento de la iluminación natural, en el diseño lumínico de la vivienda se han considerado los siguientes aspectos:

- **Grado de acristalamiento:** Se plantea un grado de acristalamiento medio (ver tabla N° 1) con el fin de evitar problemas de deslumbramiento o niveles de iluminación insuficientes para el desarrollo de las actividades en cada espacio.
- **Forma de los vanos:** La utilización de vanos verticales permite una mayor profundidad de ingreso de la luz, evitando así que la zona posterior de los espacios presente niveles bajos de iluminación.
- **Márgenes de reflectancia de las superficies que componen el espacio:** Corresponde a la relación entre el flujo luminoso reflejado y el flujo luminoso incidente, y depende del color y el material de las superficies. Estos valores se han planteado siguiendo las recomendaciones de la *Guía técnica para el aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios*, elaborada por el Comité Español de Iluminación (CEI) y el Instituto para la diversificación y ahorro de la energía (ver tabla N° 2 y N° 3).

Validación del confort lumínico en la vivienda:

Utilizando el programa Ecotect se ha realizado un análisis de iluminación natural en la edificación, considerando tanto los niveles de iluminancia (flujo luminoso recibido por unidad de superficie, se mide en luxes) como los de luminancia (flujo luminoso emitido por una superficie, se mide en candelas por m²).

De esta forma, para el estudio de iluminancia se han considerado tres casos, el primero con un cielo parcialmente nublado y las ventanas descubiertas, el segundo con un cielo parcialmente nublado y la utilización de persianas y el tercero, el caso más desfavorable, que es un cielo totalmente cubierto. Como conclusión se ha podido determinar que la vivienda al estar ubicada en sentido Este-Oeste si bien permite un adecuado aprovechamiento de la iluminación natural, también puede generar niveles excesivos de iluminación, por lo que para alcanzar un confort lumínico se requiere la utilización de elementos que regulen el ingreso del flujo luminoso, planteándose así la utilización de persianas. De esta manera, como se puede ver en la figura 15, que corresponde a la zona de trabajo, se consiguen niveles de iluminación que se encuentran dentro de los márgenes recomendados. Por otra parte, se puede constatar que en el caso más desfavorable se consiguen los niveles de iluminación mínimos requeridos.

En cuanto al análisis de luminancias, a manera de ejemplo para esta misma zona considerando únicamente el estudio, como se puede observar en la figura 16, los valores de luminancia de la diferentes superficies (paredes entre 50 y 150 cd/m²; techo entre 100 y 200 cd/m²; planos de trabajo entre 100 y 300 cd/m²; superficies en general < 500 cd/m²) y los contrastes tanto entre el plano de trabajo y el entorno más oscuro (3:1), así como el máximo contraste (40:1) se encuentran dentro de los valores recomendados por diferentes autores y normas internacionales. Lo mismo se puede concluir en relación a las demás zonas de la vivienda, en donde se tiene una adecuada distribución de la iluminación natural, tanto cuantitativa como cualitativamente, ya que se cuenta con los niveles de iluminación requeridos para cada tarea al mismo tiempo que se produce una adecuada relación luminosa entre la zona de la tarea y el entorno, consiguiendo así un confort lumínico en los diferentes espacios de la vivienda.

- **Diseño acústico:** La zona en donde se encuentra emplazada la vivienda propuesta, cuenta con una presión sonora promedio de 65 dB, superando el valor recomendado en la norma nacional para zonas residenciales. Es así que para conseguir una presión sonora dentro de lo recomendable para cada ambiente se han planteado cuatro estrategias:

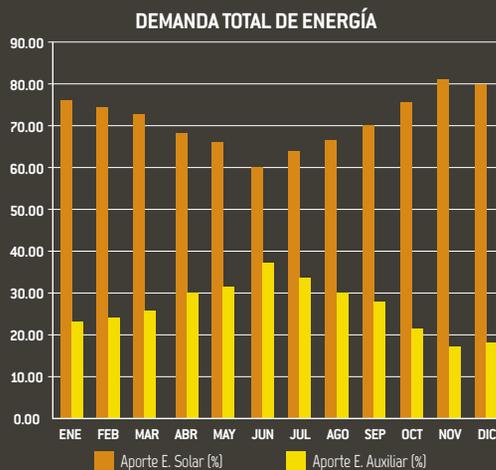


Figura 14: Aporte energético solar y auxiliar a un sistema de A.C.S. en la ciudad de Cuenca, según los meses de año

ESPACIO	AREA PAREDES, PISO, TECHO (M2)	AREA VENTANAS (M2)	%
Sala-Comedor	82,18	7,0	8,5
Estar	51,23	3,6	7,0
Estudio	46,98	3,36	7,2
Cocina	41,34	2,75	6,6
Lavandería	35,88	3,65	10,1
Dormitorio Padres	63,55	4,3	6,8
Dormitorio Hijos 1	46,98	3,36	7,2
Dormitorio Hijos 2	46,98	3,36	7,2
Baño Padres	21,35	1,8	8,4
Baño Hijos	23,50	1,8	7,6

Tabla N° 1: Porcentaje de acristalamiento según los ambientes

SUPERFICIE	MARGENES DE REFLECTANCIA UTILES
Techo	0,6 - 0,9
Paredes	0,3 - 0,8
Planos de trabajo	0,2 - 0,6
Suelo	0,1 - 0,5

Tabla N° 2: Rango de reflectancias adecuadas, según los elementos que componen el espacio

AMBIENTES VIVIENDA		ILUMINACIÓN MÍNIMA (LUX)	ILUMINACIÓN ÓPTIMA (LUX)	ILUMINACIÓN MÁXIMA (LUX)
Escalera	General	100	100	
Dormitorio	general	70	200	600
	Cama y espejos	200	350	
Sala y Estar	General	70	300	600
	Lectura, Costura	300	500	
Estudio	General	70	500	750
Comedor	General	70	200	400
Cocina	General	100	300	600
	Zonas Trabajo		500	
Baño	General	70	100	
	Espejos	200	500	

Tabla N° 3: Niveles de iluminancia recomendados, por rangos de iluminación y según los diferentes ambientes de la vivienda

La primera se fundamenta en que a mayor masa mayor asilamiento, por lo que las paredes de ladrillo macizo con un espesor de 25 cm permiten disminuir hasta 48 dB. La segunda estrategia es la utilización de una pared tipo sánduche, la cual es de hormigón poroso y cuenta con poliestireno expandido al interior, que cumple las funciones de aislante térmico y acústico. Asimismo, debido a que el punto débil de las fachadas tanto para lo térmico como para lo acústico lo constituyen las superficies

acristaladas, una tercera estrategia es plantear la utilización de doble vidrio en aquellos ambientes que requieren una mayor amortiguación de la presión sonora. Finalmente, se propone la utilización de una cubierta vegetal en donde la combinación del sustrato, la vegetación y el aire atrapado entre las mismas cumplan la función de una barrera aislante del sonido, debido a que las ondas sonoras son absorbidas o reflejadas por estas capas.

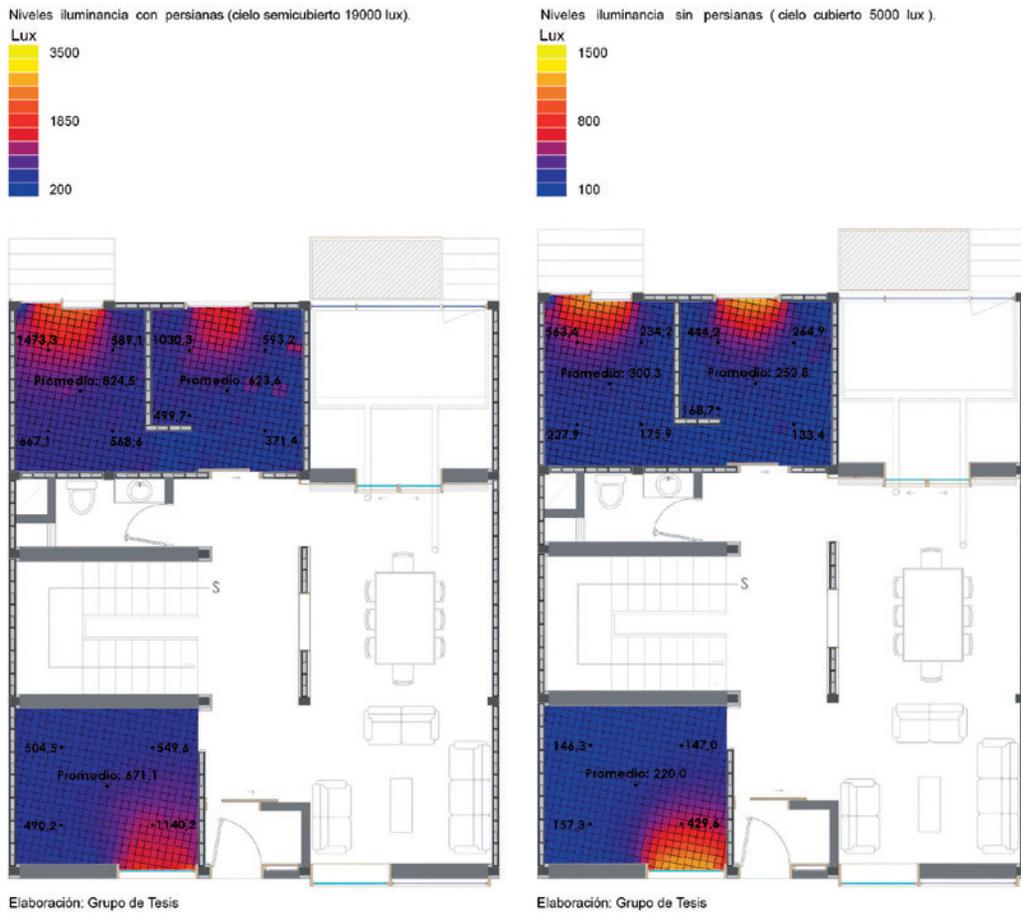


Figura 15: Niveles de iluminancia con y sin persianas según tipo de cielo
Elaboración: Grupo de Tesis

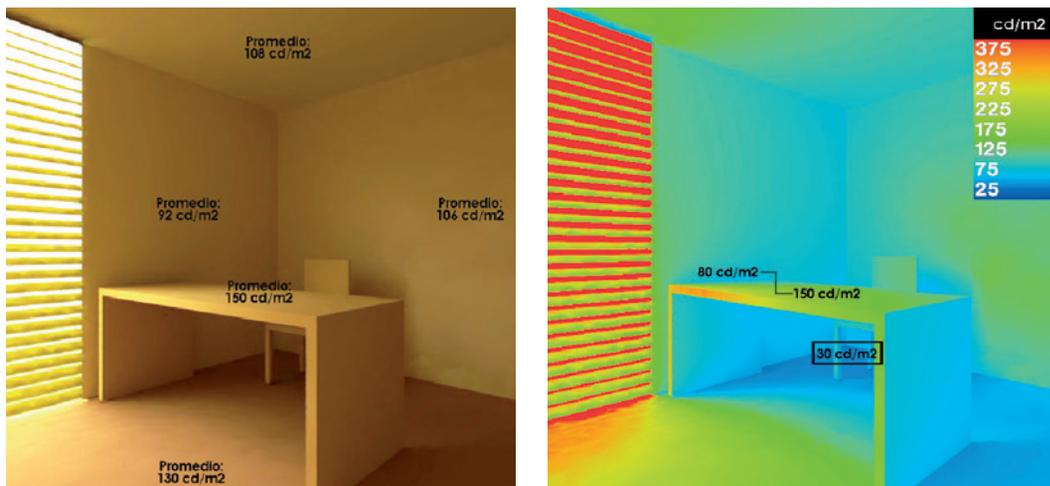


Figura 16: Niveles de luminancia y contrastes con uso de persianas (cielo 19000lux)
Elaboración: Grupo de Tesis

MESES	PROMEDIO MENSUAL (MM/M2)	CANTIDAD UTIL.		TOTAL DE AGUA LLUVIA (M3)
		MM/M2	M3/M2	
Enero	56,48	28,24	0,03	1,81
Febrero	85,06	42,53	0,04	2,72
Marzo	113,83	56,92	0,06	3,64
Abril	122,35	61,17	0,06	3,92
Mayo	84,12	42,06	0,04	2,69
Junio	44,14	22,07	0,02	1,41
Julio	26,87	13,43	0,01	0,86
Agosto	21,41	10,70	0,01	0,68
Septiembre	51,48	25,74	0,03	1,65
Octubre	93,03	46,51	0,05	2,98
Noviembre	85,61	42,80	0,04	2,74
Diciembre	84,78	42,39	0,04	2,1
Promedio Mensual	72,43	36,21	0,04	
Promedio Total Anual	941,58	470,79	0,47	

Tabla N° 4: Volumen de agua lluvia recolectada según meses
Elaboración: Grupo de Tesis

Reciclaje de agua lluvia:

Considerando que el promedio anual de precipitaciones en la ciudad de Cuenca se encuentra alrededor de los 900 mm/m², se ha visto importante aprovechar el agua lluvia en aquellos usos que no requieren agua potable, que en este caso se plantea para cisterna de inodoros, lavabos, limpieza de pisos y lavado de vehículos. De esta forma, se ha realizado un estudio para determinar la cantidad aproximada de agua acumulada en la cubierta que podrá ser útil, teniendo en cuenta que al ser una cubierta vegetal ésta absorberá alrededor del 50% del agua que cae sobre ella (ver tabla N°4). Por otra parte, para establecer la demanda de agua por persona y para cada actividad, se ha tomado como referencia el dimensionamiento que determina la empresa ETAPA para zonas urbanas.

Así, se pudo conocer que la demanda mensual para los usos planteados considerando cuatro personas es de 2,64 m³, concluyendo que en siete meses es posible cubrir la demanda únicamente con agua lluvia (ver figura 17) en algunos casos registrándose incluso un exceso de ésta, exceso que se sugiere almacenar para su utilización en aquellos meses que se presentan menores precipitaciones.

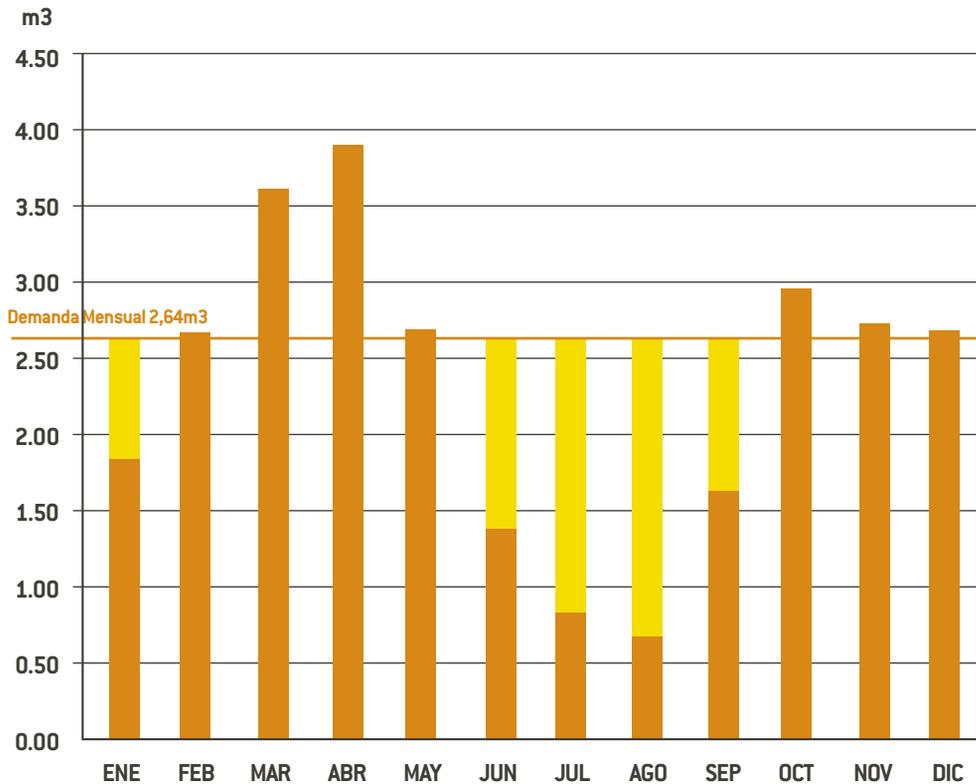
Conclusiones

Se ha podido verificar que a diferencia de otras ciudades del mundo y al tener una latitud cercana a cero, Cuenca presenta una temperatura con una amplitud térmica diaria considerable en tanto que la anual no es muy significativa, siendo éste el indicador más importante para alcanzar el confort térmico en la propuesta de diseño.

Con respecto a los resultados de la validación térmica, éstos se mantuvieron dentro del rango establecido, para lo cual tuvo gran incidencia la capacidad aisladora que presenta la envolvente en las zonas identificadas como puntos de pérdida energéticas. En relación a lo lumínico se ha podido constatar que se ha logrado una distribución adecuada tanto de los niveles de iluminación como de luminancias, en este particular ha sido importante la implementación de elementos que regulen el ingreso de flujo luminoso, evitando así la presencia de superficies que puedan ser consideradas deslumbrantes.

En relación a lo acústico, las diferentes soluciones aplicadas, tanto en paredes, superficies acristaladas y cubierta permiten disminuir

DEMANDA MENSUAL DE AGUA (M3)



■ A. Potable	0,83	0,00	0,00	0,00	0,00	1,23	1,78	1,96	0,99	0,00	0,00	0,00
■ A. Lluvia	1,81	2,72	3,64	3,92	2,69	1,41	0,86	0,68	1,65	2,98	2,74	2,71

Figura17: Volumen de agua lluvia y potable según meses

Elaboración: Grupo de Tesis

considerablemente la transmisión de ruido, de tal manera que en los diferentes espacios se han conseguido niveles que se encuentran dentro de lo recomendado en las normas.

Finalmente, es importante mencionar que el diseño bioclimático de la vivienda se complementa por una parte con la aplicación de los sistemas activos, como son los paneles fotovoltaicos y solares térmicos, los mismos que contribuyen a reducir la dependencia de los combustibles fósiles, así como también con el aprovechamiento del agua lluvia y la utilización de materiales que en su mayoría se producen en el ámbito local, algunos de los cuales pueden ser reciclables o provienen de procesos de producción controlados bajo criterios de sostenibilidad.

Notas

- ¹ Cordero Ximena y Vanessa Guillén, Tesis; Criterios bioclimáticos para el diseño de viviendas unifamiliares en la ciudad de Cuenca, 2012. pág. 265.
- ² Cordero Ximena y Vanessa Guillén, Tesis; Criterios bioclimáticos para el diseño de viviendas unifamiliares en la ciudad de Cuenca, 2012. pág. 301

Bibliografía

- ¹ Cordero Ximena y Vanessa Guillén, Tesis; Criterios bioclimáticos para el diseño de viviendas unifamiliares en la ciudad de Cuenca, 2012.