

SOLUCIÓN DE VIVIENDA DE ADOBE, PROYECTO TIPO PARA LA CONSTRUCCIÓN EN EL ÁREA RURAL DE BOGOTÁ

Alejandro García Peñuela

Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Artes, Maestría en construcción, algarciape@unal.edu.co

Palabras clave: Sensaciones, bienestar, vernácula, iluminación, aislamiento acústico

Resumen

Hasta el momento no se ha realizado un estudio crítico a nivel de validar la efectividad de guías técnicas para la formulación de proyectos de vivienda de interés social en el contexto colombiano; por esto, el objetivo de este artículo es definir un proyecto tipo de construcción de vivienda social en suelo rural disperso del Distrito Capital como alternativa y actualización del modelo del Departamento Nacional de Planeación y Banco Agrario del 2018 para clima frío, además de demostrar la aplicación de la tierra como material no convencional y el adobe como sistema constructivo eficiente para el contexto rural bogotano; se precisa de una metodología de tres pasos, proyección del programa arquitectónico según necesidades básicas insatisfechas de los habitantes, resolución técnica del proyecto mediante planimetría, detalles constructivos y análisis teórico de la sensación integral de bienestar mediante software especializado; la alternativa en adobe propone espacios más amplios, con una extensión total de 145.40 m², con posibilidad de expansión en el futuro por medio de autoconstrucción, también logra mejorar los niveles de iluminación tanto natural como artificial, los muros en adobe logran mejor capacidad aislante contra el ruido y la cubierta en teja de barro reduce el ruido por lluvia, para el ambiente higrotérmico; en cuanto a la técnica constructiva y material, la vivienda se ciñe a las recomendaciones del Ministerio de Vivienda Peruano.

1 INTRODUCCIÓN

Para los programas de vivienda de interés social colombiana, se han ejecutado evaluaciones desde una perspectiva socioeconómica, como lo es el caso de Pecha (2011) desde el Banco Interamericano de Desarrollo, en el cual revisa el acceso al programa y sus repercusiones en el mejoramiento de la calidad de vida; por otro lado, el de la Contraloría General de la República (2016) el cual valora la focalización de los recursos para dicho programa.

Estos antecedentes y otros similares, ignoran aspectos técnicos de la solución habitacional provenientes de los proyectos tipo aplicados que merecen revisión, como lo son la gestión constructiva de la unidad a partir del sistema mismo y materiales con los que se ejecuta. ¿es la construcción basada en sistemas convencionales de bloque de terra, concreto y acero, la mejor opción para el contexto rural?

Sin embargo, en el campo técnico-práctico si existen propuestas que demuestran alternativas para la construcción de vivienda campesina sostenible, tal es el caso del prototipo ganador del concurso de ideas para el diseño de viviendas sostenibles rurales, certamen organizado por la Secretaria de Planeación de Bogotá y la Sociedad Colombiana de Arquitectos (FP Arquitectura, 2019). En dicho proyecto queda claro que el uso de materiales tradicionales como la tierra en una técnica relativamente innovadora como el bloque de tierra comprimido (BTC) junto al entendimiento adecuado del clima y el territorio permiten producir vivienda rural coherente y económica a este contexto.

Este artículo pretende aportar en la actualización de “proyectos tipo” para la formulación y construcción de viviendas de interés social rural planteado por el Departamento Nacional de Planeación como estándar a seguir por las entidades regionales que busquen lanzar este tipo de proyectos (DNP, 2017). Para ello se realiza la formulación de un nuevo proyecto tipo que demuestre y determine ser una alternativa mejor a partir de la tierra como material no

convencional y el adobe como sistema constructivo eficiente dentro del contexto rural disperso bogotano de clima frío.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Definir un proyecto tipo de construcción de vivienda social autosostenible en suelo rural disperso del Distrito Capital como alternativa y actualización del modelo del Departamento Nacional de Planeación (DNP) y Banco Agrario del 2018 para clima frío.

2.2 Objetivo específico

Demostrar la aplicación de la tierra como material no convencional y el adobe como sistema constructivo eficiente para el contexto rural siendo un estándar para la satisfacción de necesidades básicas de la familia rural bogotana.

3 DISEÑO METODOLÓGICO

3.1 Procedimientos

Se propone ser abordado desde una línea consecutiva como lo es la sugerida por el Guia PmboK (Project Management Institute, 2017) lo cual, en términos generales, consta de unos datos de entrada (A) que son procesados por medio de unos instrumentos (B) y dan como resultado datos de salida (C), siendo estos últimos útiles para concluir el artículo.

3.2 Crear y formular la solución de vivienda social rural

El concepto de solución de vivienda en este artículo corresponde al uso que se le da en los decretos y resoluciones que rigen la política de vivienda y hábitat. En cualquier caso, no se pretende renovar por completo dicha política, ni tampoco los avances técnicos en arquitectura y construcción conseguidos hasta el momento dentro del campo de la vivienda de interés social rural (VISR); los objetivos apuntan a seguir aportando a este avance partiendo de las ventajas actuales y evaluando los errores cometidos para proponer una alternativa de mejora.

Es decir, crear la solución de vivienda, hace referencia al diseño de la edificación objeto de los programas de VISR en óptimas condiciones de habitabilidad y no a la solución definitiva al problema de la vivienda en el país, ya que se reafirma la inviabilidad que sugiere la imposición de un modelo único y repetible en todos los territorios nacionales, a causa de las variables sociales, culturales, ambientales, económicas y técnicas que inciden directamente en los modos de habitar y construir. Entonces más que un prototipo, se formula una metodología que pueda evaluar contextos y proponer mejoras.

A) Entradas: formular el proyecto arquitectónico y constructivo de la alternativa a VISR implica conocer lo exigido por la norma vigente en materia de vivienda y entender el contexto teórico en el que se desenvuelve.

Se retoma el concepto de incrementalidad planteada por Aravena (2014) como una estrategia de estar más acorde a los modos de habitar expansivos de una familia campesina promedio, se aplicará la construcción vernácula y lo enseñado por Fonseca y Saldarriaga (1984) para las primeras operaciones de diseño, dimensiones de los espacios, distribución del programa arquitectónico, relaciones entre los espacios, volumetría de la edificación entre otros.

Por supuesto también se retoma lo referente a la construcción con tierra y el adobe como sistema constructivo para ser aplicado en los elementos principales de la propuesta, sobre todo lo enseñado por Minke (2005), la guía didáctica de Blondet et al. (2010), y lo ilustrado en carteles (Guerrero, 2019) en términos técnicos, las dimensiones para las capas de los pisos, la dimensión de los adobes, el método de revestimiento y protección de los muros, el refuerzo

estructural para zonas activamente sísmicas y la composición constructiva de la cubierta, fueron basados directamente en los referentes anteriores.

Al mismo tiempo se tiene en consideración la información recolectada por medio de entrevista a los beneficiarios, en cuanto a número de habitantes por unidad de vivienda, espacios requeridos, tamaño de la construcción y gestión de recursos, información que complementa el marco teórico apoyando las otras áreas de conocimiento del proyecto, como lo son, el precálculo financiero, dimensionamiento de redes para suministro de agua potable, conducción y tratamiento de desechos sanitarios y consumo general de energía para dimensionamiento de la red eléctrica.

En conclusión, las determinantes de diseño se pueden resumir en: ocupación inicial de una familia de cuatro integrantes, clima frío, topografía plana, unidad ubicada en zona rural dispersa del Sumapaz, tradición constructiva de la región en adobe y teja de barro.

B) Instrumentos: Con el diseño conceptual inicial se sigue implementando una metodología BIM, por ello el concepto a mano alzada se traslada a un modelo tridimensional básico que contiene solo la volumetría sin mayores especificaciones ni información integrada más allá del espesor de los muros, las alturas, los vanos y la forma de la cubierta, lo que en este campo se llama un nivel LOD 100 que se lleva hasta LOD 350¹. La herramienta de software usada fue Revit Architecture 2020.

C) Salidas: para la demostración se dará a conocer la planimetría a nivel de proyecto en LOD 350 de la propuesta de mejora a la VISR, complementado por algunas perspectivas, lo cual alcanzará el objetivo de aplicación en fase de diseño, anteproyecto y proyecto del adobe como principal sistema constructivo bajo metodologías modernas.

3.3 Análisis teórico de la sensación integral de bienestar (SIB)

Las sensaciones que experimente un ser humano dentro de la vivienda que pretenda ser solución de interés social rural hace parte sustancial de las necesidades básicas que se deben satisfacer, la incomodidad del habitante frente a la arquitectura y patología de la unidad de vivienda objeto de subsidio puede llevar al rechazo del proyecto y/o precarización del hábitat, así se demostró con lo escuchado en la entrevista a los habitantes de este tipo de viviendas.

Por eso es importante definir qué tipo de sensaciones puede llegar a causar la propuesta VISR una vez ocupada, dentro del contexto del objetivo de demostración del proyecto.

A) Entradas: para llevar a cabo este análisis se hace uso también de los insumos presentados en el procedimiento anterior y la geolocalización, para esta última al igual que las anteriores es de valor netamente teórico ya que el alcance de este artículo no contempla mediciones en sitio.

La ubicación para implantar hipotéticamente la propuesta VISR, responde al contexto que se ha establecido en el planteamiento de los objetivos y justificación de este artículo, un área dispersa, de difícil acceso, aislada de infraestructura estatal y relativamente alejada de centros poblados y cabeceras municipales.

Considerando la extensión rural del distrito capital, la caracterización del territorio y los mapas mostrados en la guía de vivienda rural de la alcaldía de Bogotá (2009) y la secretaria distrital de planeación, junto a lo que se puede visualizar en el portal de Google Maps, en las coordenadas 4°05'36.9"N 74°11'39.5"W (angular) o 4.093578, -74.194314 (lineal) se encuentra asentada población dispersa.

¹ Level of development por sus siglas en inglés o nivel de desarrollo, significa el grado de exactitud con la que son modelados los elementos dentro del proyecto, no solo a nivel gráfico, sino que también en cuanto a integración de información, así, LOD 100 se utiliza para describir el nivel de desarrollo de un diseño conceptual, LOD 200 para el esquemático y anteproyecto, LOD 300 para coordinación entre especialidades y LOD 350 para documentos de construcción en fase de proyecto, LOD 400 y 500 se centran en fabricación digital y mantenimiento de edificaciones

Esta locación está a 27 km del centro poblado más cercano que es San Juan de Sumapaz y aproximadamente 65 km de Usme y Ciudad Bolívar, desde allí se puede llegar por la vía principal que es pavimentada hasta el Parque Nacional Natural Sumapaz y continuar por la vía carretable. Estas consideraciones permiten extraer a su vez otros datos de entrada necesarios para los instrumentos que se van a emplear, para 3 de los 4 ambientes, luminoso, acústico, y calidad del aire, que establece Neila (2004):

Para el análisis del ambiente luminoso es necesario definir la iluminación natural, lo que es inferido desde la geolocalización, es decir, que de esta manera se simulara correctamente la entrada de iluminación solar al proyecto propuesto, también la iluminación artificial, en donde se debe considerar las especificaciones de las luminarias en lo que se refiere a flujo luminoso, posición y cantidad.

Otras consideraciones para la obtención de resultados en el análisis del ambiente luminoso hacen parte los acabados internos de los muros usados, el tipo de vidrio usado en las aperturas del edificio, dado que, los índices de reflexión, transmisión y refracción afectan directamente la distribución de la luz.

La normatividad sobre la cual se comparará los resultados obtenidos para concluir si los niveles de iluminación son o no aceptables es la IESNA Lighting Handbook (10th edition).

Para el análisis del ambiente acústico, es crucial conocer las propiedades de los materiales de los cuales está compuesto el muro o las superficies que el ruido eventualmente atravesara, al igual que la configuración en capas de estos materiales, siendo de relevancia, aspectos como la densidad, el módulo de Young² y la amortiguación del sonido.

También es pertinente precisar acerca de las fuentes de sonido a las cuales se va a someter la simulación, en ese orden de ideas se determina, una presión sonora de 65 dBA desde una fuente exterior (NTC 4944, 2010), una corrección de fachada cero³, volumen de aire en el recinto que corresponda al cálculo según el diseño arquitectónico y las áreas de superficie de muro-vano.

Los resultados se compararán con lo expresado en la NTC 4595 (2020) y la Resolución 0627 de 2006 que definen ambientes tranquilos y en silencio, los que se encuentran entre 40 y 50 dBA.

Por último, para el análisis teórico sobre la calidad del aire que se espera en la propuesta se consulta el atlas interactivo del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, n.d. -b)) para conocer la dirección y velocidad del aire predominantes en la región que se eligió para la implementación teórica, en ese orden de ideas, los datos de entrada para las simulación que se lleva a cabo más adelante son de, una velocidad del aire en superficie de 3.5 m/s, dirección predominante sobre el modelo tridimensional de oriente a occidente y todas las aperturas operativas del edificio abiertas (puertas y ventanas).

Se revisarán los resultados según los criterios del RITE (2017), de Neila (2004) y el estándar ASHRAE 62.1 (2022), que para la velocidad del aire en espacios ocupados por personas en donde se desarrollan actividades será de 0.15 a 0.30 m/s y la tasa de renovación de este para mantener un ambiente seguro libre de aire viciado sería de 6 l/s per pudiendo ser un mínimo de 4 l/s per.

B) Instrumentos: si bien es posible realizar los cálculos y simulaciones mediante operaciones matemáticas pertinentes al análisis de cada uno de los ambientes para determinar teóricamente lo que sería la sensación integral de bienestar de eventuales ocupantes de las construcciones, el camino tomado para este procedimiento es el de una metodología BIM, es decir, se llevan a cabo las mismas simulaciones, pero en un entorno digital y tridimensional.

² O también llamado modulo elástico, describe el límite en que un elemento recibe esfuerzo por tracción deformándose sin sufrir daños permanentes.

³ La forma en la que se configura la fachada incide en la transmisión de la presión sonora al interior de los recintos, por ejemplo, si estos tienen un balcón o alero en su fachada.

Según lo anterior, el software elegido para el análisis del ambiente luminoso es DIALux Evo 9.2, este permite generar entornos tridimensionales que incluyan información acerca del entorno climático y geográfico, también, cargar las especificaciones de las luminarias y todo lo que se describió en la sección anterior, como por ejemplo, las propiedades ópticas de los materiales, partiendo de allí, es posible generar escenas eventuales de iluminación natural y artificial que a través de una escala cromática muestra su cumplimiento con la norma vigente y la distribución del flujo luminoso.

El software elegido para el análisis del ambiente acústico es INSUL de Marshall Day Acoustics, en una interfaz simple se elige si se quiere calcular la reducción de un elemento de muro o de techo, ambos con la opción de ser compuestos por distintos materiales de distintos espesores, de esta configuración se deducen los índices de reducción, también es posible insertar los datos básicos de un recinto, como los elementos de su cerramiento, el área, los índices de reducción y el volumen de aire, de allí se simula el resultado sobre la reverberación y la presión sonora resultante entre el exterior y el interior.

Por último, Autodesk CFD es el escogido para el análisis de ventilación y calidad de aire, mecánica de fluidos computacional por sus siglas en inglés es una tecnología que permite por medio de algoritmos calcular el comportamiento de fluidos en un entorno, todo lo anterior mediante una interfaz digital tridimensional, si bien esta tecnología se puede aplicar a fluidos como el agua o el gas, la herramienta de Autodesk se especializa en el aire, ampliamente utilizado en el sector industrial para resolver la respuesta aerodinámica de piezas mecánicas.

En este caso, claramente, es utilizado para observar la respuesta de una vivienda frente a una corriente de viento, así es factible cargar la velocidad y dirección de la corriente principal al modelo 3D de la vivienda, el resultado muestra la aceleración y presencia de esta corriente respecto a los elementos de la construcción.

C) Salidas: lo que se ve con la aplicación de estos procedimientos es el comportamiento del proyecto propuesto frente a distintos ambientes que componen la sensación de bienestar del habitante, de acuerdo a los parámetros de entrada que se describieron anteriormente será plausible generar gráficos y simulaciones tridimensionales que den vía a comparar los datos resultantes con los mínimos admisibles de la normativa vigente, así concluir el estado de estas construcciones ante la SIB por lo menos a nivel teórico.

4 RESULTADOS DE LA DEMOSTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN DE VIVIENDA BOGOTANA DE ADOBE, SOSTENIBLE Y RURAL

Para una adecuada formulación de la alternativa constructiva para los prototipos de vivienda de interés social rural objetivo principal de la política habitacional nacional, se obtiene como producto lo mostrado en la figura 1 y 2, dos edificaciones, la primera conforma los espacios habitacionales y la segunda los espacios de servicio, que son una cocina exterior cubierta, una cocina interior, un cuarto depósito, baño y cuarto técnico.

Disponer de dos edificaciones que separen el área de servicios del área de descanso responde al principio de incrementalidad, la familia ocupante podría decidir cuantos módulos habitacionales requiere de acuerdo a sus necesidades o incluso construir en el futuro más de estos módulos en función de que sus posibilidades lo permitan, la decisión también responde al respeto de la línea organizativa cultural y tradicional del campo, según lo observado durante el reconocimiento físico de las estructuras campesinas y al estudio de Fonseca y Saldarriaga, (1984) se concluye que el común denominador de estas dinámicas habitacionales es contar con más de una edificación dentro del predio, diferenciadas por el uso que se le dan y marcadas por la diferencia temporal de progresión.

Así, elementos tradicionales como el corredor cubierto perimetral que se recuperan en esta propuesta permiten comunicar las dos edificaciones, haciendo también de este espacio, no solo un elemento de circulación sino que también, de permanencia y encuentro entre los habitantes, tal y como ha funcionado por años en la cultura campesina, otro elemento

recuperado de la tradición, es la cocina exterior, se hace casi necesaria al decidir implementar la estufa de leña, de esta manera se garantiza que la evacuación de hollín y humo sea segura para los habitantes, la estufa de leña sigue siendo superior frente a otras alternativas, debido al alto costo que significa para los ocupantes una estufa a gas propano y también a no poder garantizar la acometida de gas natural en el predio.

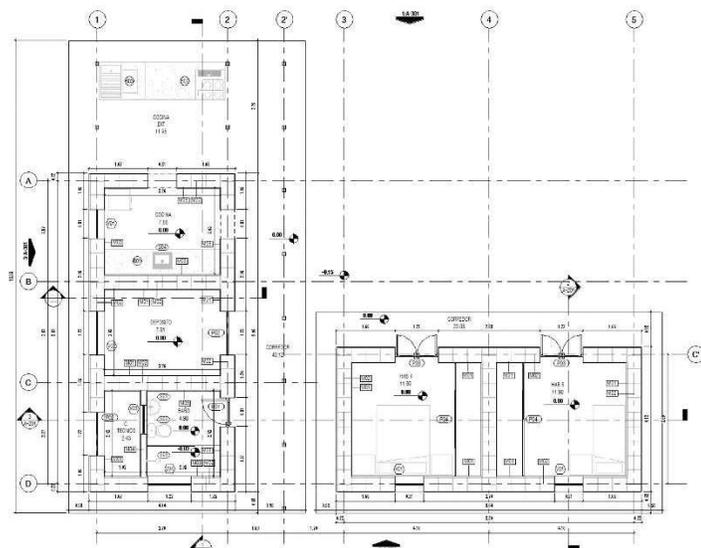


Figura 1. Planta arquitectónica, propuesta alternativa VISR

Sin desconocer los elementos que hacen parte de la modernidad, también se incluye en el programa arquitectónico, una cocina interior, un cuarto técnico y piezas como la inclusión de guardarpapas en las habitaciones, la cocina interior obedece al hecho de no ignorar la posición de electrodomésticos que requieren de protección a la intemperie y el cuarto técnico, a la necesidad de albergar los equipos pertinentes a sistemas de aprovechamiento de recursos naturales.



Figura 2. Perspectiva, propuesta alternativa VISR

En cuanto a la técnica constructiva y material, la vivienda se propone desde un sistema en muros autoportantes de adobe de 40cm de espesor como se puede observar en la figura 3, apoyados sobre un sobrecimiento y cimiento en concreto ciclópeo, dichos muros también están reforzados en ambas caras por geomalla sintética, siguiendo las recomendaciones constructivas del Blondet et al. (2010), amarres entre caras cada 3 hiladas de adobes, también en la parte superior e inferior para formar anillos estructurales.

Los muros de adobe se coronan con una viga formada por piezas en madera aserrada cuadrada de sección 10 x 10cm en forma de escalerilla y rellena de mortero de barro, esta viga permite que la estructura funcione de manera monolítica evitando empujes entre los muros. Para la cubierta se empleó una estructura en madera de par y nudillo conformada por escuadrías de 14 x 4cm de uniones pernadas, esta estructura recibe una cubierta tradicional de teja de barro, conformada en capas siendo la primera una cama en varas de caña brava de 2cm de diámetro, seguido de una capa aislante de barro alivianado con heno de 5cm de espesor terminada con la teja de barro, estas cubiertas se manejan a dos aguas en cada una de las edificaciones con pendientes entre el 25% y 40%.

Para el diseño del suelo, se siguen las recomendaciones de Minke (2005), se dispone una capa niveladora de mortero pobre de cemento, sobre la cual se vierten 25cm de mixto para construcción con gravilla mezclada de 1" y 2", seguido, una capa de manto asfáltico que frenara la humedad ascendente que pueda afectar los muros, sobre este manto se propone colocar unos 5cm de material aislante como lana de roca o algún similar, con el fin de mantener fuera del recinto las bajas temperaturas que pueden provenir del terreno natural, finalmente se cubre con una capa de 12cm de barro alivianado con piedra pómez natural y vertido en forma de ajedrez separado por hiladas de adobe que evitara la aparición de grietas por retracción si se manejara un solo elemento de gran extensión, como acabado superior se verterá 3cm de mortero de barro mejorado con PVA y heno, compactado y encerado para dotar de resistencia a rayaduras y golpes.

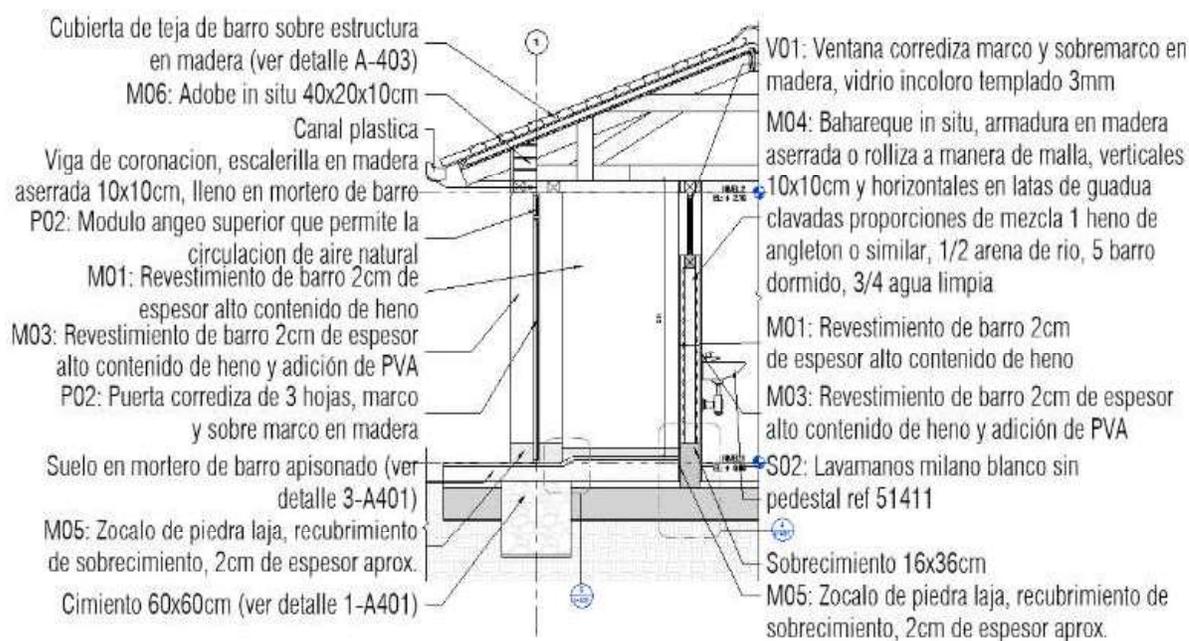


Figura 3. Trazado típico de las instalaciones eléctricas y cortes fachada, propuesta alternativa VISR.

En cuanto a las redes de suministro eléctrico y agua potable, como el manejo de aguas residuales, cabe mencionar que el diseño de las redes eléctricas se plantea sobrepuesto en la cara interna de los muros, acatando la recomendación del código peruano de afectar la integridad del muro de adobe en la menor cantidad posible, lo anterior para los trayectos verticales de tubería, para los trayectos horizontales, se dispone apoyado sobre la viga corona, como se muestra en la figura 3.

Las normas nacionales permiten que la canalización usada para los conductores eléctricos se sobrepongan a la vista en las superficies de la edificación, caso contrario al de las instalaciones sanitarias e hidráulicas, por esta razón, las redes hidráulicas y sanitarias en trayectos horizontales se disponen en medio de la capa de barro alivianado del suelo, así no se interfiere con el trazado estructural de cimentación, los trayectos verticales se logran distribuir en el muro posterior del baño, por ello se emplea solo en este elemento un sistema en bahareque, dado que su armazón de madera permite utilizar el interior para el paso de redes sin riesgo a comprometer su integridad estructural, el concepto aplicado es similar al de un muro técnico moderno.

4.1 Sensación integral de bienestar en la propuesta alternativa

Las simulaciones expuestas en las figura 4 demuestran que para las variables geográficas y ambientales de la implantación hipotética y para las consideraciones de iluminación natural como lo son las propiedades ópticas de ventanas y acabados de la solución de vivienda bogotana de adobe propuesta aquí, en todos los casos evaluados en condiciones de solsticio y equinoccio de verano e invierno, en horas de la mañana y tarde, todos los espacios cumplen

con la intensidad de luxes media por área requerida por la norma americana IESNA Lighting Handbook (10th edition), a excepción del depósito en horas de la mañana.

Con estos resultados es posible concluir que las dimensiones de las aperturas en ambas edificaciones, su posición respecto al norte y los materiales usados en las ventanas y muros, como decisiones de diseño proyectual tienen viabilidad para garantizar un entorno confortable lumínicamente en concordancia con la norma aplicable durante todo el día y durante todo el año.

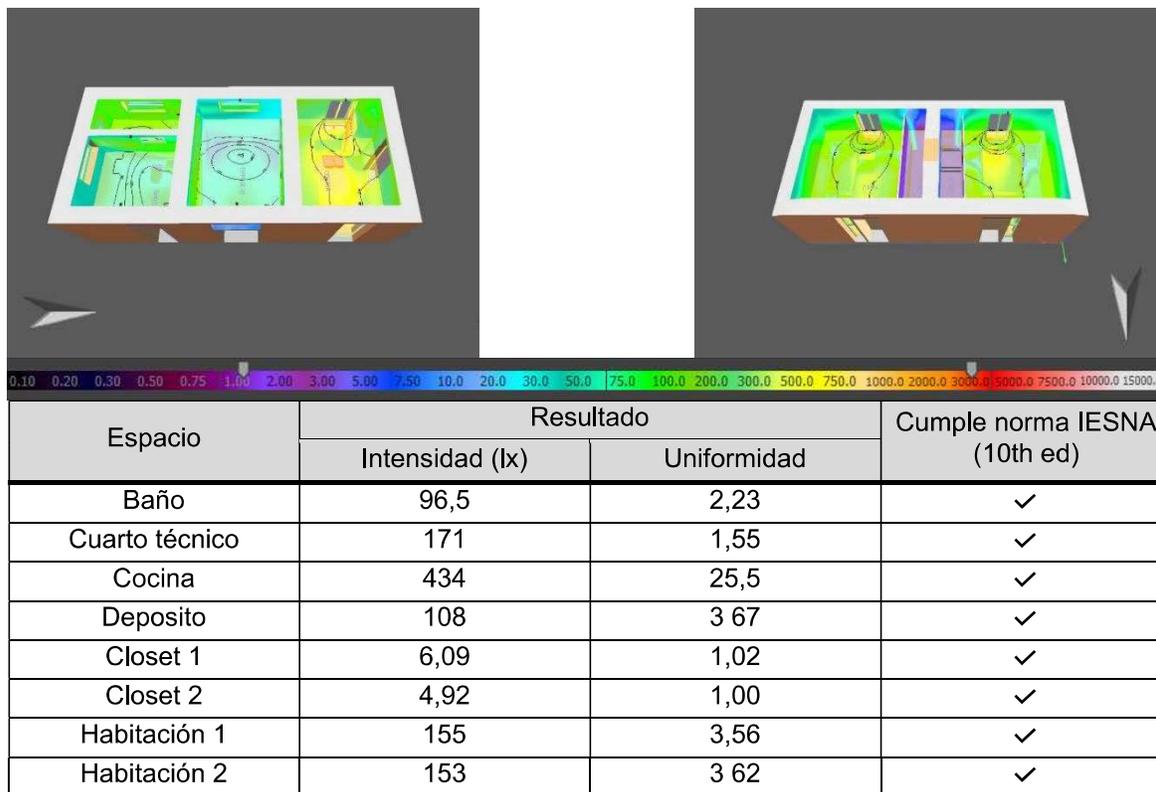


Figura 4. Flujo luminoso, propuesta VISR, luz natural

De otro lado, los resultados obtenidos en condiciones de iluminación artificial en ausencia de sol, son mostrados en la figura 4, se comprueba el adecuado uso de las luminarias para alcanzar niveles confortables en todos los espacios de la vivienda, esto se logró con un diseño basado en luminarias led que entregan un flujo de 800 lm con una potencia de 8,5w para el edificio de servicios y luminarias de 600 lm con potencia de 6w para las habitaciones, todas ubicadas como aplique de muro a una altura de 2,30 m desde el acabado de piso, en todos los espacios se dispone de 2 puntos de iluminación a excepción del cuarto técnico.

Por último, cabe anotar que las simulaciones se realizan bajo un entorno de condiciones controladas, es decir, para todos los horarios y fechas se tuvieron en cuenta cielos medios, ni completamente nublados ni completamente despejados, al igual que la usencia de sombras aportadas por el exterior, como otras edificaciones, montañas o árboles, variables que por supuesto en un entorno real pueden dar lugar, de nuevo se recomienda que estas consideraciones sean objetivo de estudios posteriores, cabe la necesidad de determinar los resultados de mediciones en campo con equipos y metodologías que permitan refutar o apoyar los resultados obtenidos a través de asistencia computacional.

Sensaciones para el ambiente acústico: Los resultados obtenidos de las simulaciones acústicas mostrados en la figura 5 demuestran que un muro de adobe de 40 cm de espesor es suficiente para mantener niveles de aislamiento acústico aceptables sobre los 50 dBA al interior de los espacios de la vivienda frente a una fuente de 65 dBA con frecuencias correspondientes a la palabra hablada fuerte.

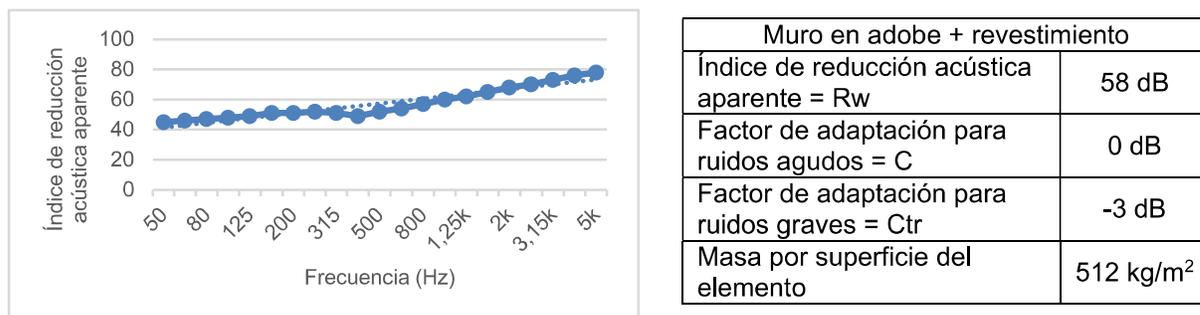


Figura 5. Índice de reducción acústica aparente, muro adobe y revestimiento de barro.

Como se puede observar en la figura 5 la simulación para conseguir el índice de reducción acústica (R_w) del elemento que compone los cerramientos del recinto es el primer procedimiento que llevar a cabo, así pues, se considera el muro en adobe conformado por bloques de 40 x 40 x 10 cm, cuya densidad corresponde a 1.200 kg/m³, un módulo de Young de 0,23 GPa y una amortiguación de sonido de 0,010 (base de datos Marshall Day Acoustics INSUL).

Este muro de adobe es revestido al interior y exterior con mortero de tierra mejorada de 20 mm de espesor, una densidad de 800 kg/m³, módulo de Young de 0,23 GPa y una amortiguación de sonido de 0,010, estas capas funcionan a su vez como protección y acabado.

La cubierta de teja de barro está compuesta por una estructura vacía en madera, seguida de una capa de 20 mm de espesor de un manto en varas de caña brava con una densidad de 490 kg/m³, módulo de Young de 4,94 GPa y amortiguación de sonido de 0,035; las propiedades acústicas para la capa de barro liviano que le sigue son iguales a las utilizadas en los revestimientos de los muros. Finalmente la cubierta de tejas de barro responde a 80 mm de espesor, 2.392 kg/m³ de densidad, 11,75 GPa para el módulo de Young y una amortiguación de sonido de 0,01, así se alcanza una intensidad sonora generada por la lluvia al interior de los recintos de tan solo 26 dB.

El análisis de elementos individuales ya indica una mejora por parte de la propuesta alternativa para el control del ruido dentro de la vivienda, a manera de conclusión primaria, se puede decir que los muros de adobe usados en el diseño de la propuesta reducen una mayor cantidad de presión sonora externa, 58 dB contra los 46 dB capaces de ser reducidos por un muro convencional acabado de bloque de arcilla cocida.

En el reconocimiento de campo, los usuarios manifestaron una gran incomodidad frente al ruido generado por la lluvia al impactar la cubierta de la vivienda, los resultados para la propuesta en teja de barro arrojaron un LiA de tan solo 26 dB, una intensidad sonora que se puede equiparar al ruido generado por el viento en los árboles o una conversación en voz baja.

En simulaciones para obtener el aislamiento del ruido externo al interior de cada uno de los espacios, se calculó el aislamiento capaz de conseguir con fachadas compuestas, es decir, conformadas por varios elementos como ventanas y puertas de otros materiales, además, claro está del muro en adobe, así por ejemplo, para la habitación 1 (tabla 1), con superficies capaces de permitir el paso entre 12 y 37 dBA, el recinto recibe hasta 38 dBA al interior, con una fuente normalizada de 65 dBA correspondiente a una conversación fuerte.

Por otro lado, la cocina muestra un nivel recibido de 66 dBA, una presión sonora muy superior si se compara con los demás espacios, esto se debe a que dos de los cuatro lados del recinto tienen aperturas libres o vacíos, estas aperturas conforman el acceso a la cocina por el corredor y la salida a la terraza donde se encuentra la estufa y el lavadero.

En conclusión, según la NTC 4595 (1999) y la Resolución 0627 (2006) todos los espacios de la propuesta demuestran encontrarse en niveles aceptables de ruido frente a una fuente normalizada de 65 dBA, la presión recibida al interior no es mayor al equivalente al sonido de la voz humana en una conversación estándar.

Tabla 1. Aislamiento acústico, habitación 1, propuesta VISR

Elemento	Área (m ²)	Presión aportada
Fachada oriente	7,2	12
Fachada occidente	7,2	12
Fachada norte	8,1	37
Fachada sur	8,1	33
Nivel incidente		65 dBA
Volumen del recinto		26 m ³
Nivel recibido		38 dBA

Sensación para la calidad del aire: Una vez aplicados los parámetros de entrada expuestos en los procedimientos para la simulación tridimensional del efecto de las corrientes de aire exteriores sobre la vivienda, se obtuvieron los resultados mostrados en la figura 6.

Se pudo observar, que una corriente de aire de 3,5 m/s al chocar con la vivienda en sentido oriente y occidente entra generosamente por las aperturas paralelas a su dirección, como por ejemplo en el edificio de servicios, si bien se desacelera a unos 2,5 m/s en promedio en el depósito y el baño, se acelera en la cocina a 4 m/s, en el caso del edificio de habitaciones en donde las aperturas se encuentran perpendiculares a la dirección del viento, cambia radicalmente su velocidad de 0 a 1 m/s.

De lo anterior se concluye la efectividad de una estrategia simple como la ubicación de aperturas opuestas, dicho método se utilizó en todos los espacios para garantizar el flujo constante de aire limpio y extracción de aire viciado.

Con los datos obtenidos en las simulaciones anteriores, también fue posible calcular los caudales de renovación de aire necesarios y los que actualmente son proporcionados con los diseños de las aperturas del prototipo, en la primera, se ratifican los 6 l/s por persona como el mínimo admisible en tasa de renovación de aire para garantizar el uso adecuado de la vivienda sin riesgo de contaminantes, dicha cifra es producto del promedio entre las tres líneas de referencia consultadas, el caudal también se expresa en m³/h y número de renovaciones necesarias según el volumen de los recintos para que ese mínimo sea viable, así, los resultados muestran la necesidad de renovar 1 vez el total del volumen de aire cada hora de la cocina, depósito, baño y habitaciones y 3 veces el del cuarto técnico.

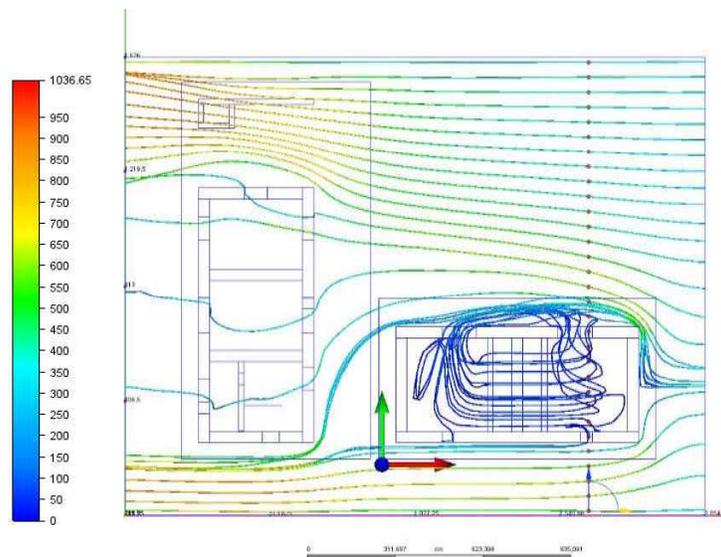


Figura 6. Temperatura media radiante, propuesta VISR

Se concluye que todos los espacios superan en gran cantidad el número de renovaciones de aire y la tasa de intercambio de volumen, los mínimos exigidos por las normas consultadas, teóricamente se puede afirmar que la propuesta VISR no tiene inconvenientes con la acumulación de aire nocivo al interior, sin embargo, si hay cabida para recomendaciones de mejora en cuanto a la velocidad del aire alcanzada en los espacios de servicios que si bien aseguran una adecuada ventilación, puede llegar a ser incómoda para los ocupantes.

5 CONSIDERACIONES FINALES

Se propuso abordar el proceso para llegar a cumplir los objetivos expuestos mediante una metodología de procedimientos compuestos por entradas, instrumentos y salidas, las primeras serían datos e insumos vitales para desarrollar el proceso, los instrumentos, serían herramientas principalmente software especializado que colaborara con la transformación de datos en resultados, estos últimos como salidas del proceso.

El resultado entonces fue el diseño de una unidad de dos módulos, uno de servicios y otro habitacional con posibilidades de repetición que subsanara el crecimiento en el tiempo de las familias, esto se viabiliza empleando un sistema constructivo tradicional en tierra conocido por los habitantes de la región, el adobe, la unidad sería de un total de 145,40 m².

Para demostrar la aplicación de la tierra como material no convencional y el adobe como sistema constructivo eficiente para el contexto rural, no solo se realizó el diseño constructivo de la vivienda al detalle, sino que también se sometió a simulaciones para determinar su comportamiento frente a las condiciones planteadas para evaluar sus resultados.

Entonces se concluyó un ambiente luminoso tanto artificial como natural satisfactorio, también en el ambiente acústico al elevar la capacidad aislante de los muros y la cubierta, por último, en la calidad del aire también se obtuvieron resultados óptimos, puesto que el número de renovaciones del volumen del recinto fueron aceptables.

Como conclusiones, es pertinente precisar, que el mayor aporte de este desarrollo es la metodología en sí que se ideó para llegar a cumplir los objetivos planteados, es decir, cualquier profesional puede aplicar la misma metodología de análisis, en otros climas y con otros prototipos, el resultado puede ser distinto, pero igual de óptimo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alcaldía de Bogotá (2019). Guía de vivienda rural para Bogotá. Secretaria distrital de planeación, Dirección de ambiente y ruralidad.

https://issuu.com/alcinalaura/docs/viru_definitivo_version_digital_paginas

ANSI/ASHRAE (2022). Ventilation and acceptable indoor air quality in residential buildings.

Aravena, A. (2014). Alejandro Aravena: ¿Mi filosofía arquitectónica? Incluir a la comunidad en el proceso. [Video]. <https://www.youtube.com/watch?v=o0l0Poe3qlg>

Blondet, M.; Vargas, J.; Torrealva, D.; Rubiños, Á. (2010). Manual de construcción con adobe reforzado con geomallas de viviendas de bajo costo saludables y seguras. Lima: PUC del Perú

Contraloría General de la República (2016). Vivienda de interés social rural: un derecho sin una política eficiente y eficaz. Boletín Macro Fiscal 2(14).

DNP (2017). Proyectos Tipo. Soluciones ágiles para un nuevo país. Construcción de vivienda de interés social rural. Bogotá: Departamento Nacional de Planeación. Disponible en: <https://proyectostipo.dnp.gov.co/images/pdf/viviendainteresrural/PTviviendarural.pdf>

Fonseca, L.; Saldarriaga, A. (1984). La arquitectura de la vivienda rural en Colombia. Bogotá, Colciencias.

FP Arquitectura (2019). Prototipo de vivienda rural. <https://fparquitectura.com.co/web/page/4/Proyectos>

Guerrero, L. F. (comp.) (2019). Bioconstrucción a detalle: una experiencia compartida. Oaxaca: Instituto de bóvedas mexicanas y tecnologías regionales

IDEAM (n.d.-b). Atlas climatológico de Colombia 1981-2010.
<http://atlas.ideam.gov.co/visorAtlasClimatologico.html>

Minke, G. (2005). Manual de construcción en tierra Montevideo: Editorial Fin de Siglo.

Neila, J. (2004). Arquitectura bioclimática en un entorno sostenible. Bogotá: Editorial Munillaloría.

NTC 4595 (2020). Planeamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares. Bogotá: Incontec

NTC 4944 (2010). Acústica. Evaluación del aislamiento acústico en los edificios y de los elementos de construcción. Bogotá: Incontec

Pecha, C. (2011). Programa de vivienda de interés social de Colombia: una evaluación.
<http://idbdocs.iadb.org/wsdocs/getdocument.aspx?docnum=35833454>

Project Management Institute (2017). Guía del Pmbok. In: Guía de los fundamentos para la dirección de Proyectos Sexta Edición. www.pmi.org

Resolución 0627 (2006). Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. Ministerio de Ambiente-Vivienda y Desarrollo Territorial

RITE (2017). Reglamento técnico de instalaciones térmicas en edificaciones. Asociación colombiana de acondicionamiento de air y del air y de la refrigeración.

AGRADECIMIENTOS

El autor agradece a la Maestría en Construcción de la Universidad Nacional de Colombia quien incentivo la realización de la investigación titulada “solución de vivienda de adobe, proyecto tipo para la construcción sostenible en la ruralidad de Bogotá” de la cual hace parte el presente artículo.

AUTORES

Alejandro García Peñuela, magister en construcción, especialista en coordinación BIM, arquitecto.