

CALCULADOR INTEGRAL DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LA ENVOLVENTE ARQUITECTÓNICA: CIDEE-EA

David Elsinger, Amalita Fernández, Beatriz Garzón

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICET)
Facultad de Arquitectura y Urbanismo (FAU) Universidad Nacional de Tucumán (UNT)
Av. Néstor Kirchner 1900, S.M. de Tucumán, CP 4000, Tucumán
delsinger@herrera.unt.edu.ar; amalitaf93@gmail.com; bgarzon06@gmail.com

RESUMEN: La eficiencia energética y el confort térmico son importantes conceptos a tener en cuenta por diseñadores y constructores de edificaciones. Con el objetivo de fomentar su aplicación, se desarrolla una herramienta gratuita de fácil manejo y rápida respuesta: El calculador integral de eficiencia energética de la envolvente arquitectónica (CIDEE-EA). A través de un soporte MS-Excel, para la zona bioclimática II (cálida) de IRAM 11603, permite calcular: transmitancia térmica, transmitancia media ponderada, ganancias-pérdidas de calor y coeficientes volumétricos de calefacción y refrigeración. Por medio de su aplicación en un caso de estudio, se prueban sus principales prestaciones: brinda rápida respuesta a la carga de datos, no requiere de un usuario con conocimientos específicos y genera gráficos útiles para cuantificar las pérdidas y ganancias de calor, como así también la incidencia de los diferentes elementos constructivos en la eficiencia energética de la envolvente arquitectónica.

Palabras clave: arquitectura sustentable, eficiencia energética, rehabilitación energética.

INTRODUCCIÓN

En un contexto energético donde los recursos consumidos por las edificaciones suponen un mayor estudio (Greenpeace, 2011), es necesario proveer a diseñadores-constructores de herramientas útiles para abordar su tarea. El equipo de trabajo Hábitat Sustentable y Saludable (GHABSS) de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de la Universidad Nacional de Tucumán (FAU-UNT) y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), cuyos autores de este trabajo son integrantes y directora respectivamente, se propone desarrollar herramientas asequibles, útiles y gratuitas para los actores de la práctica constructiva de la provincia de Tucumán, Argentina.

El sector residencial se enmarca en el sector de la construcción, que supone el 32 % de consumo de energía a nivel mundial y una cuarta parte de las emisiones globales de CO₂ (Becqué, *et al.*, 2016). Por su parte, en Argentina, los valores del sector alcanzan el 30,48 % del consumo de energía primaria, 22,26 % de energía eléctrica y 8,56 % de combustibles fósiles (MINEM, 2017). Según el Censo del año 2010 (INDEC), en la provincia de Tucumán se registra 148.773 hogares. Según las estimaciones de Casado, Assaf y Ayub, una vivienda promedio en Tucumán consume en torno a los 177 kWh/mes de energía eléctrica y 55 m³/mes de gas natural (2000). Esto nos permite establecer la importancia del sector residencial a nivel provincial con relación al consumo energético.

A escala de gobiernos locales, promover la rehabilitación energética de edificaciones existentes como así también la construcción de nuevas edificaciones eficientes, son acciones necesarias para no truncar un posible desarrollo sostenible (Becqué, *et al.*, 2016). A nivel edilicio, para lograr el ahorro energético

sin comprometer el confort térmico de los usuarios, es necesario considerar las estrategias pasivas de diseño (Torres, *et al.*, 2019). Los sistemas pasivos de eficiencia energética son esenciales para adecuar una edificación al ambiente y lograr una arquitectura eficaz y confortable. Entre ellos, el que incide mayormente es la composición de la envolvente arquitectónica, ya que su adecuado diseño reduce de manera considerable los consumos de energía (Vásquez y Molina-Prieto, 2017).

ANTECEDENTES

Desarrollados en Argentina para su uso tanto en el ámbito científico-tecnológico como en el ámbito profesional, existen numerosos programas/calculadores que pueden ser utilizados para abordar estudios relacionados con la eficiencia energética de una edificación. Los mismos se pueden clasificar en cinco grupos diferentes según su especificidad. Algunos de ellos son:

1. Estudio del clima: Base de datos meteorológicos para 54 localidades de la República Argentina (Gonzalo, 2010 a); Programa para el cálculo de situación de confort, evaluación de necesidades de enfriamiento o calefacción y determinación de necesidades de sombra (Gonzalo, 2010 b); Geosol: una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria (Hernández, 2003).
2. Determinación de estrategias y pautas de diseño bioclimático: Método de Mahoney para determinación de pautas de diseño bioclimático, para climas templado-húmedo y cálido-seco (Gonzalo, 2012 a); Programa para la determinación de estrategias bioclimáticas para localidades con altura sobre el nivel del mar cercanas a 0-500-1000-2000-3000 m (Gonzalo, 2012 b); Programa para la determinación de estrategias bioclimáticas y diagrama de Olgyay (Gonzalo, 2013);
3. Calculadores sobre las prestaciones de la envolvente y coeficientes volumétricos: Comportamiento Higrotérmico (Pilar de Zalazar y Jacobo, 2001); Programa para el cálculo de transmitancia térmica y verificación de condensación superficial e intersticial (Gonzalo, 2002); Programa para el cálculo de transmitancia térmica (K medio ponderado), retardo y amortiguamiento (Gonzalo, 1989); Programa para el cálculo de la carga térmica simplificada en régimen periódico (Ledesma, Nota y Gonzalo, 2018); Trans-Q-E (Garzón y Mendonca, 2012); Estrategias Bioclimáticas de Diseño Arquitectónica: C-EBioDA (Fernández y Garzón, 2019).
4. Calculadores sobre etiquetas energéticas: Ahorro de energía en refrigeración. Etiqueta de eficiencia energética de calefacción (Yakimchuk y Alías, 2014), EtiquEARq (Garzón y Giuliano, 2015).
5. Calculadores sobre energías renovables: FotovArq: Programa de Cálculo de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos Simples y su integración Arquitectónica (Giuliano y Garzón, 2017 a); Calculador Solar. Versión 3.3 (MINEM, 2018); AC-SolArq: Programa de Cálculo de Sistema de Agua Caliente Solar con Integración Arquitectónica (Giuliano y Garzón, 2019).

El equipo de trabajo GHABSS posee diversos calculadores desarrollados anteriormente que permitían verificar normas IRAM de confort térmico en edificios. El antecedente específico del calculador CIDEE-EA presentado en este trabajo, es el paquete de calculadores TRANS-Q-E (Garzón y Mendonca, 2012). El mismo permite obtener: la transmitancia térmica K en elementos opacos y compararla con valores normados (IRAM 11605); el ahorro de energía para calefacción (IRAM 11604) y el ahorro de energía para refrigeración (IRAM 11659-2). A través de dichos calculadores, se puede analizar la eficiencia energética de un edificio considerando el diseño pasivo. TRANS-Q-E es una herramienta de muchísima utilidad para el análisis del comportamiento higrotérmico de diversas edificaciones como así también de sus propuestas de mejora de manera dinámica. Se publicaron numerosos artículos científicos en los cuales se emplea el calculador, como los trabajos de Giuliano y Garzón (2016; 2017 b; 2017 c).

Uno de los aspectos a mejorar de TRANS-Q-E, es la necesidad de volcar los mismos datos en distintos calculadores para obtener los resultados, procedimiento que se torna muy repetitivo. Del calculador de transmitancia térmica K, se obtienen valores que son datos necesarios que deben introducirse en los otros calculadores, pero no hay manera de exportarlos, por lo que los valores deben ser copiados

aumentándose así el margen de error tanto por redondeo como por error humano. Por otro lado, el calculador de K solo puede ser utilizado para cerramientos opacos, debiendo buscar la norma IRAM correspondiente para obtener los valores K de cerramientos transparentes que deberán necesariamente ser utilizados para calcular coeficiente volumétrico de calefacción y refrigeración. Otro aspecto a mejorar que se detecta es que no permite la introducción de cámaras de aire como está expresado en la norma IRAM 11601.

OBJETIVOS Y ALCANCES

En primera instancia, el objetivo de este trabajo es presentar un calculador integral de eficiencia energética de la envolvente arquitectónica. El mismo es desarrollado para posibilitar una rápida respuesta a la carga de datos, para no requerir de un usuario con conocimientos específicos y para generar gráficos útiles para cuantificar la incidencia de las pérdidas y ganancias de calor, como así también la incidencia de los diferentes elementos constructivos en la eficiencia energética de la envolvente arquitectónica. En segunda instancia, el objetivo es demostrar las prestaciones de la herramienta a través de una posible aplicación en un caso de estudio.

En líneas generales, se podrían plantear dos problemas en el uso de programas/calculadores: por un lado, la necesidad de utilizar más de un programa para obtener los datos necesarios para realizar un análisis de la envolvente de un edificio; por otro lado, la necesidad de contar con un usuario/a que posea conocimientos específicos para manipular las herramientas y entender las variables involucradas. Por tales motivos, los objetivos de este trabajo procuran obtener una posible solución en la integración de varios programas/calculadores en uno solo, con una interfaz gráfica/numérica adecuada para un usuario no especialista.

El aporte significativo del presente trabajo, es la difusión de una herramienta simple para abordar estudios sobre la envolvente de una edificación, en torno a la eficiencia energética y el confort térmico de la misma. La herramienta, orientada para un usuario no especializado y basada en las normativas IRAM 11601; 11605; 11604 y 11659-2, se suma a los calculadores/programas existentes, a partir del estudio de las limitaciones de sus antecesores.

METODOLOGÍA

La metodología del trabajo comprende en un primer momento una descripción detallada del calculador CIDEE-EA. En la misma se enuncian las normativas que implementa, se exhiben las fórmulas matemáticas y las funciones de MS-Excel utilizadas, se caracteriza la estructura interna del calculador y se define la información de entrada necesaria para su funcionamiento como así también la información de salida que proporciona. En un segundo momento, se realiza una prueba de la herramienta y sus prestaciones por medio de su aplicación en un caso de estudio. Se exhibe el funcionamiento de la herramienta con un trabajo de investigación que utiliza el CIDEE-EA en su versión inicial, para el rediseño de la envolvente de una vivienda (Elsinger y Garzón, 2019).

DESCRIPCIÓN DEL CALCULADOR

IRAM plantea una serie de normativas a partir de las cuales se puede evaluar el comportamiento térmico energético edilicio considerando como variable principal la composición de la envolvente. Dichas normas presentan procedimientos de cálculos en los cuales se detectan diversos elementos en común. A través de la herramienta presentada, se busca optimizar el volcado de datos y los procesos para permitir calcular sistemáticamente, sin necesidad de repetir valores y sin que el proceso se convierta en un proceso tedioso.

El programa desarrollado incorpora los cálculos expresados en las normas IRAM 11601; 11605; 11604 y 11659-2. Para efectuar dichos cálculos se cargan valores presentes en las normas IRAM 11603 y

11659-1, como así también datos climáticos locales provistos por la Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC, s.f.). La propuesta de desarrollo de una nueva herramienta surge por la necesidad de unificar todos estos valores en y simplificar los diferentes procesos de cálculo. CIDEE-EA es diseñado para la zona bioclimática II, sub-zona a o b en su totalidad, pero puede servir, de manera parcial, para el resto de las zonas de la República Argentina.

En el proceso de desarrollo, se sistematizan valores comunes a las cuatro normativas. Existen dos sistematizaciones principales: por un lado el coeficiente de transmitancia térmica K, y por otro lado los cálculos de G_{cal} (IRAM 11604) y G_R (IRAM 11659-2), ya que implican el producto de la superficie del elemento constructivo de la envolvente con su coeficiente de transmitancia térmica. Por su parte, las bases de datos de niveles de confort higrotérmico (IRAM 11605), valores de K de superficies vidriadas y valores de resistencia térmica (IRAM 11601), fueron cargadas manualmente.

Todas las fórmulas matemáticas involucradas en las normas constan de operaciones aritméticas simples. Estas, son reproducidas con las herramientas de cálculo de MS-Excel. A través de la interrelación de celdas dentro de la misma y de distintas hojas, se obtienen los mismos resultados que en un cálculo analítico. Además, se emplea la función de relación lógica "SI", para obtener valores cualitativos a partir de datos numéricos, como así también para anular operaciones matemáticas cuando no se cuenta con algún valor definido. La figura 1 exhibe un esquema de interrelaciones de la información procesada por CIDEE-EA. Dichas interrelaciones entre las hojas son múltiples, de ida y vuelta:

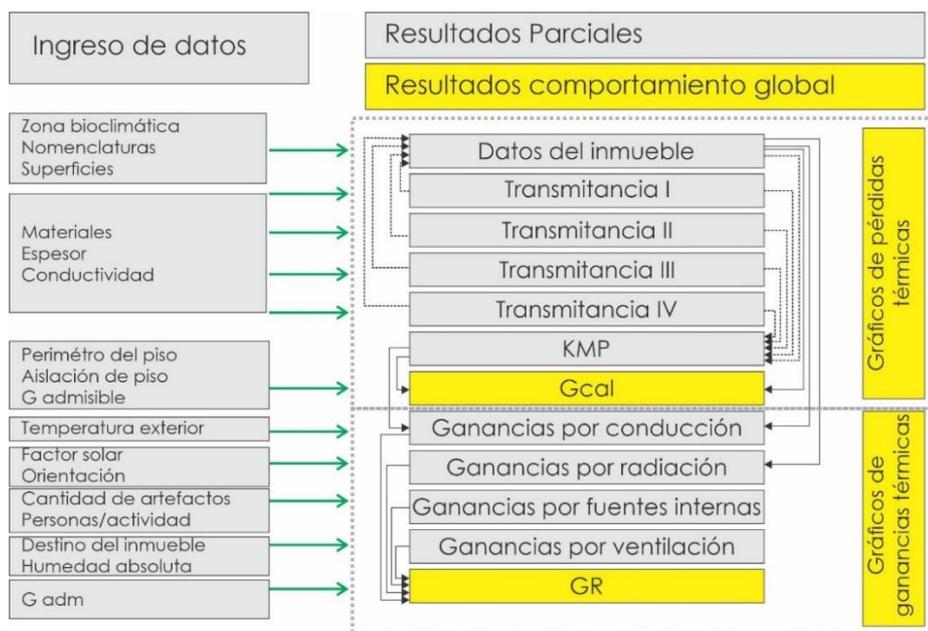


Figura 1: Esquema de inter-relaciones de la información. Fuente: elaboración propia.

Debido al grado de complejidad que puede presentar el calculador para un usuario en una primera implementación y a la cantidad de datos que intervienen, se presenta como archivo anexo un instructivo sencillo donde se detalla el paso a paso y se brindan tablas para obtener algunos valores.

Valores normados (IRAM) que se obtienen a partir de CIDEE-EA: El calculador desarrollado permite obtener los siguientes valores numéricos expresados en IRAM:

- Coeficiente de transmitancia térmica K: Definida como “flujo de calor a través de la unidad de superficie de un elemento constructivo sujeto a una diferencia de temperatura del aire a ambos lados del elemento de 1 °C” (IRAM, 2002). El calculador permite obtener el coeficiente K de: cerramientos opacos horizontales y verticales lindantes con el exterior y con locales

calefaccionados, a partir del procedimiento de cálculo expresado en IRAM 11601(2002), como así también el de carpinterías IRAM 11507-4 (2010). Además de efectuarse el cálculo del valor, se realiza la verificación de los niveles de confort higrotérmico expresados en IRAM 11601 (2002).

- Coeficiente volumétrico de pérdidas de calor, G_{cal} , valor expresado en IRAM 11604 (2001).
- Coeficiente volumétrico de refrigeración, G_R , expresado en IRAM 11659-2 (2007).

Información gráfica brindada por CIDEE-EA: Además de expresar valores numéricos, la herramienta presenta información gráfica para una mejor interpretación de los resultados arrojados. Por un lado, se obtiene un análisis gráfico de las pérdidas de calor a través de la envolvente. Consiste en un conjunto de gráficos de barras donde se comparan las pérdidas térmicas de los distintos elementos, lo que permite determinar rápidamente que elemento resulta más desfavorable. Por otro lado, se presentan gráficos de ganancias de calor, donde se comparan los valores de los distintos factores que intervienen en las ganancias térmicas (conducción, radiación, ventilación y fuentes internas) como así también las ganancias por conducción a través de los distintos elementos de la envolvente. Este último, permite identificar el elemento de la envolvente que resulte más desfavorable o crítico.

Estructura del calculador CIDEE-EA: El calculador se constituye a partir de una serie de hojas de cálculos sistematizadas entre sí. Las hojas que lo componen son:

- Hoja 1: “Introducción”. Consiste en una carátula de presentación del calculador.
- Hoja 2: “Datos del inmueble”. Presenta los datos generales del edificio a evaluar. En esta hoja se cargan valores de superficie total y volumen interior del edificio. Además, se identifican todos los elementos constructivos de la envolvente y se determina su superficie en m^2 . En el caso de las carpinterías, además de la superficie se determina por medio de un menú desplegable el tipo de vidrio, el cual le atribuye un K determinado según IRAM 11507-4 (2010).
- Hoja 3: “Transmitancia (K) I”. Cálculo de los coeficientes de transmitancia térmica para cerramientos verticales exteriores (CVE). Para cada muro declarado en la Hoja 2, se detallan los materiales de sus capas, el espesor y conductividad térmica correspondiente. Existe un menú desplegable para determinar el espesor de una cámara de aire en caso de que fuese necesario.
- Hoja 4: “Transmitancia (K) II”. Cálculo de los coeficientes de transmitancia térmica de cubierta. Para cada techo declarado en la Hoja 2, se detallan los materiales de sus capas, el espesor y conductividad térmica correspondiente. Existe un menú desplegable que determina la dirección del flujo de calor y el espesor de una cámara de aire en caso de que fuese necesario.
- Hoja 5: “Transmitancia (K) III”. Cálculo de los coeficientes de transmitancia térmica para CVE opacos lindantes con locales calefaccionados. Para cada muro declarado en la Hoja 2 en esta condición, se detallan los materiales de sus capas, el espesor y conductividad térmica correspondiente. Existe un menú desplegable para determinar el espesor de una cámara de aire en caso de que fuese necesario.
- Hoja 6: “Transmitancia (K) IV”. Cálculo de los coeficientes de transmitancia térmica para cerramientos horizontales lindantes con locales calefaccionados. Para cada cerramiento declarado en la Hoja 2 bajo esta condición, se detallan los materiales de sus capas, el espesor y conductividad térmica correspondiente. Existe un menú desplegable que determina la dirección del flujo de calor.
- Hoja 7: “KMP”. Cálculo del K medio ponderado de CVE. Para cada muro declarado en la Hoja 2, se determinan las carpinterías que posee por medio de un menú desplegable. Asimismo, se establece la cantidad de unidades por cada carpintería seleccionada.
- Hoja 8: “G cal”. Cálculo del coeficiente volumétrico de pérdidas de calor. Se determina el perímetro del piso en contacto con el terreno. A partir de un menú desplegable se escoge el tipo de piso. Se establece el G admisible y automáticamente se establece el G de cálculo, determinando si verifica o no el valor de referencia.

- Hoja 9: “Gráficos”. Análisis gráfico de las pérdidas de calor. Incluye un gráfico de barras con todos los elementos de la envolvente y otros cuatro con los elementos específicos de cada clasificación: CVE (con carpintería incluida), cubiertas, carpinterías y CVE lindantes con locales calefaccionados.
- Hoja 10: “Ganancias por conducción”. Carga térmica por conducción total Q_c expresada en Watts. Presenta un listado detallado de los elementos incluidos en CVE opaco (lindante con el exterior) y cubiertas. Los valores expuestos son la superficie en m^2 , coeficiente de transmitancia térmica K (Wm^2K), temperatura exterior (T_e) en $^{\circ}C$ y temperatura interior de diseño (T_i) en $^{\circ}C$.
- Hoja 11: “Ganancias por radiación”. Presenta un listado detallado de la carga térmica por radiación de los elementos vidriados. En la misma, se debe seleccionar la orientación de cada elemento (entre 8 puntos cardinales) y la cantidad de unidades de cada elemento. El resultado de la hoja es la carga térmica por radiación total, Q_s .
- Hoja 12: “Ganancias por fuentes internas”. La carga térmica por fuentes internas Q_o , se determina por medio de tres variables de calor interno: personas, luminarias y equipamiento (eléctricos y a gas). En el primero se determina la cantidad de personas y a través de un menú desplegable el tipo de actividad. En el segundo, se selecciona un tipo de luminaria de tres opciones posibles y se determina el área en m^2 . Por último, se selecciona el tipo de artefacto a partir de un menú desplegable y la cantidad de los mismos. Existe un listado con 21 artefactos eléctricos y a gas.
- Hoja 13: “Ganancias por ventilación”. La carga térmica por ventilación se determina a través de la selección del destino del inmueble. Un menú desplegable muestra las 7 opciones entre las que se encuentran: vivienda, oficina, comercios, industrias, bares, salas de operación y cines/teatros.
- Hoja 14: “GR”. Cálculo del coeficiente volumétrico de refrigeración G_R . Automáticamente, establece el G_R admisible y el G_R de cálculo, determinando si verifica o no el valor de referencia.
- Hoja 15: “Gráficos 2”. Análisis gráfico de las cargas térmicas. Incluye un gráfico de barras con todas las cargas térmicas y otros tres gráficos con los elementos específicos de cada clasificación: por conducción a través de la envolvente, por radiación y por fuentes internas.

DESCRIPCIÓN DEL CASO DE ESTUDIO

El trabajo: Rediseño de la envolvente de una vivienda y la verificación de la incidencia en la etiqueta energética (Elsinger y Garzón, 2019), utiliza CIDEE-EA tanto para el análisis de la situación existente de una vivienda, como para la revisión de las mejoras planteadas. La misma forma parte de una propiedad horizontal con domicilio en el Pasaje Peñalosa 478, San Miguel de Tucumán (subzona IIb según IRAM 11603). La unidad analizada corresponde al Dúplex #1 (Figura 2) y posee en planta baja: 1. Estar-Comedor; 2. Cocina-Lavadero; 3. Toilete; 4. Escalera. En planta alta: 1. Espacio de usos múltiples; 2. Baño completo; 3. Habitación principal y 4. Habitación secundaria. La vivienda presenta $30,8 m^2$ de superficie cubierta en planta baja y $36,5 m^2$ en planta alta, con un total de $67,3 m^2$ cubiertos y $33,5 m^2$ de superficie al aire libre (Figura 3).

El caso de estudio, construido en el año 2012, fue realizada luego de la demolición de una vivienda, por lo tanto las medianeras se conforman en mampostería de 30 cm de espesor de ladrillo macizo con al menos una cara revocada (cara interior). El resto de la envolvente vertical (caras norte y sur) se conforma en mampostería de 20 cm de bloques cerámicos huecos ($18 \times 18 \times 33$ cm) con ambas caras revocadas. La edificación posee una estructura de hormigón armado independiente y una cubierta de chapa sinusoidal calibre 24, con estructura de perfiles metálicos “C” y 5 cm de lana de vidrio (con una cara de aluminio) colocada en contacto con las chapas. La cubierta se conforma en un único faldón con pendiente hacia el norte, que posee un voladizo de 0,90 m hacia el patio interno de cada una de las propiedades. La estructura de hormigón armado se vincula a las medianeras existentes (con cimientos) por medio de encadenados sismo-resistentes en planta baja, entepiso y cubierta. Los cielorrasos son de yeso aplicados sobre losa en planta baja y suspendido sobre perfiles de chapa galvanizada y cierres en placa de yeso cartón en planta alta. Las superficies verticales exteriores poseen un revoque grueso con terminación “salpicado”, que posee color propio, en este caso símil “beige claro”.

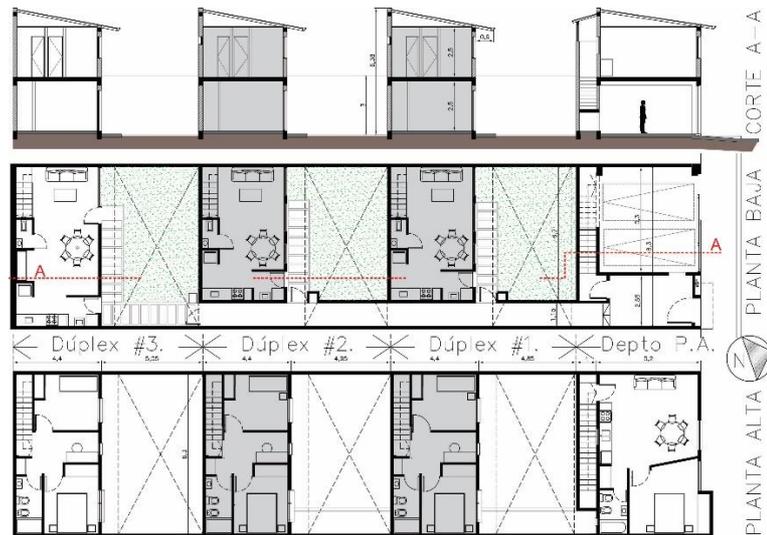


Figura 2: Planta baja, planta alta y corte longitudinal de la propiedad horizontal de la vivienda en análisis. Fuente: elaboración propia.

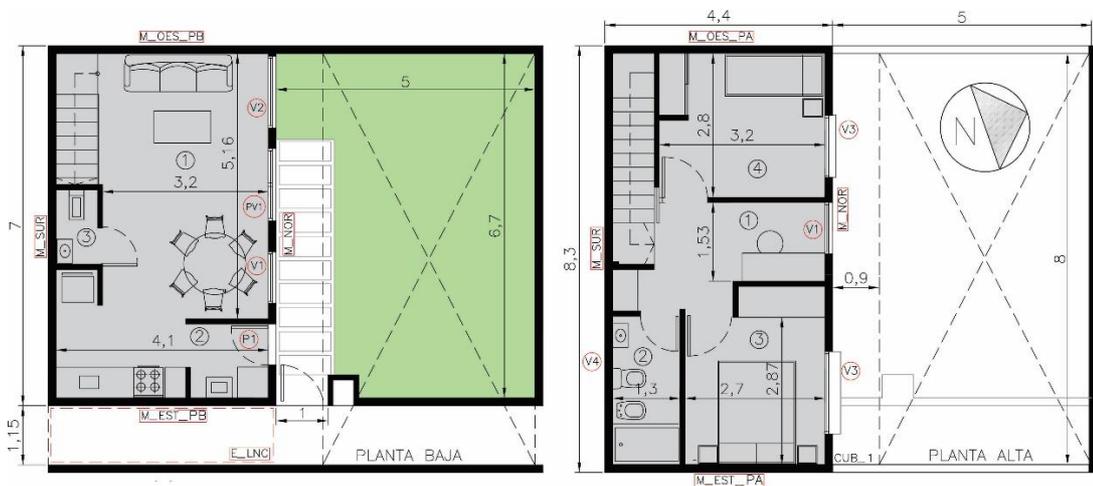


Figura 3: Planta baja y planta alta de la vivienda con codificación de elementos constructivos. Fuente: elaboración propia.

Proyecto de rehabilitación térmico-energético: La propuesta de mejoras para la envolvente analizada tiene como base la utilización de materiales del mercado local y las revisiones realizadas en el análisis de la envolvente arquitectónica existente. De esta forma, las consignas principales en base a las posibilidades son: aumentar el aislamiento de la envolvente (muros, techo y entrepiso en contacto con el exterior), mejorar las carpinterías exteriores de la envolvente, quitar una ventana para disminuir la superficie vidriada y generar una nueva ventana en el muro sur para obtener la ventilación cruzada en planta baja y planta alta.

Los aumentos de aislaciones se subdividen en cuatro partes:

- Primera: se añade sobre el muro norte, sur y la planta baja del muro este, siendo los dos primeros los más desfavorables. Consta de la incorporación de aislante en la cara exterior de los muros involucrados. Con un entramado de perfiles de chapa galvanizada de 70 mm, se agregan a las paredes 7 cm de poliestireno expandido y un cierre de placas cementicias de 10 mm "superboard".
- Segunda: aplicación a los muros que no se tiene acceso desde el exterior (oeste y este planta alta). A través de un entramado de perfiles de chapa galvanizada de 35 mm ubicado en las caras interiores, instalado con una tolerancia de 1 a 2 cm entre estructura y muro, se incorporan 5 cm de lana de vidrio con una cara aluminizada más una placa de cierre de yeso cartón de 12 mm.

- Tercera: aumento de 5 cm adicionales de lana de vidrio en la cubierta. Este trabajo requiere el desmontaje de las chapas, debido a que el aislante existente se encuentra en contacto con las mismas. La disposición del aislante en el proyecto de mejoras es sobre el cielorraso. Se suma, en contacto con las chapas, una espuma de polietileno expandido de 10 mm con la cara superior aluminizada.
- Cuarta: agregado de 5 cm de lana de vidrio con una cara aluminizada en la superficie del entrepiso que está en contacto con el exterior (zona de la servidumbre de paso). La materialización de esta intervención es la colocación de un cielorraso suspendido de perfiles de chapa galvanizada de 35 mm y placas de yeso cartón para exterior de 12 mm.

En lo relativo a las carpinterías, como propuesta de mejora se plantea una solución constructiva de doble vidriado hermético (DVH) compuesto por 2 vidrios comunes incoloros de 3 mm cada uno y una cámara de aire de 6 mm. Además, se cambia el tipo de apertura de las ventanas V3 (habitaciones) pasando de 2 hojas corredizas a dos hojas de abrir, y se suma una celosía exterior corrediza para su protección. Por último, para generar la ventilación cruzada, se abre una nueva abertura en el muro sur (en la llegada de la escalera) de 0,60 x 1,40 m y se coloca una carpintería con el mismo DVH que el resto de la propuesta, pero en la configuración de apertura “oscilante hacia el exterior”. Al mismo tiempo, se sustituye la V1 de planta baja (debido a la gran cantidad de superficie transparente del muro norte) y se cierra la abertura utilizando las mismas características que dicho muro.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

La prueba de CIDEE-EA en un caso de estudio arroja resultados sobre el análisis de una vivienda existente y su proyecto de rehabilitación térmico-energético. La tabla 1 exhibe los valores obtenidos con el calculador sobre los coeficientes K y niveles de confort higrotérmico para verano según IRAM 11900 (2019), tanto para la situación existente como para el proyecto de mejoras.

Código	Elemento	K [W/m ² K]	Nivel de confort higrotérmico verano	Mejora de elemento	K [W/m ² K]	Nivel de confort higrotérmico verano
M_NOR; M_EST_PB; M_SUR	Muro 22 cm	1,54	NIVEL C	7 cm aislación exterior + placa cementicia	0,36	NIVEL A
M_OES_PA	Muro 22 cm	1,54	NIVEL C	5 cm de aislación interior + placa yeso-cartón	0,58	NIVEL A/B
M_OES_PB; M_EST_PA	Muro 30 cm	1,98	NO CUMPLE	5 cm de aislación interior + placa yeso-cartón	0,55	NIVEL A/B
-	Cubierta	0,67	NIVEL C	5 cm de aislante adicional	0,38	NIVEL B
E_LNC	Entrepiso	2,27	NO CLASIFICABLE	5 cm de aislante exterior + placa de yeso-cartón	0,54	NO CLASIFICABLE

Tabla 1: Transmitancia térmica y nivel de confort para la envolvente existente y del proyecto de mejoras. Fuente: elaboración propia.

Asimismo, el calculador permite obtener los valores exhibidos en la tabla 2, que presenta el K medio ponderado para ambas situaciones, existente y mejorada. Cabe destacar que solo se realiza este estudio para los muros norte y sur, ya que son los únicos que poseen aventanamientos.

Elemento	KMP situación existente	KMP situación mejorada
Muro norte (planta baja y alta)	2,47	1,71
Muro sur (planta baja y alta)	1,57	0,38

Tabla 2: K medio ponderado de la envolvente. Fuente: elaboración propia.

Por su parte, la figura 4 muestra la verificación del coeficiente volumétrico de calefacción para ambas situaciones. En función del volumen (m^3) y los grados días de calefacción ($^{\circ}C$) para el caso de estudio, se determina un G_{adm} , de $2,17 W/m^3 \cdot K$. Las pérdidas de calor a través de la envolvente de la vivienda en su situación existente determina un G_{cal} de $2,63 W/m^3 \cdot K$ (no verifica), mientras que en la propuesta de rehabilitación se obtiene como resultado un G_{cal} de $1,45 W/m^3 \cdot K$, valor que verifica la norma al ser menor que G_{adm} . Por su parte, el coeficiente G_{radm} es $28,98 W/m^3$, mientras que la propuesta de rehabilitación consigue un G_r $27,74 W/m^3$, valor que verifica la norma al ser menor que G_{radm} .

CIDEE-EA		Arq. Amalita Fernandez Dra. Arq. Beatriz Garzón Arq. David Elsinger		CONICET FAL	
Cálculo de coeficiente volumétrico de pérdidas de calor					
Edificio	PH - Pasaje Peñaloza 478				
Características de la envolvente	0				
Superficie interior	67.3			[m ²]	
Volumen interior	168.25			[m ³]	
Sumatoria Σ	0.00				
Pérdidas de calor por el piso e contacto con el terreno					
Piso en contacto con terreno	Perímetro	Pp	Pérdida P		
	22.8	Piso sin aislación 1.28	29.184		
Pérdidas por transmisión [W/K]			324.99		
Pérdidas volumétricas por transmisión [W/m³K]			1.93		
Pérdidas volumétricas por infiltraciones de aire	n	Cap. Esp. Del aire [Wh/m3]	Pérdida n		
	2	0.35	0.7		
Pérdidas volumétricas globales			G calculo		2.63
			G admisible*		2.17
			Verifica		NO
Cálculo de coeficiente volumétrico de pérdidas de calor					
Edificio	PH - Pasaje Peñaloza 478				
Características de la envolvente	0				
Superficie interior	67.3			[m ²]	
Volumen interior	168.25			[m ³]	
Sumatoria Σ	0.00				
Pérdidas de calor por el piso e contacto con el terreno					
Piso en contacto con terreno	Perímetro	Pp	Pérdida P		
	22.8	Piso sin aislación 1.28	29.184		
Pérdidas por transmisión [W/K]			125.99		
Pérdidas volumétricas por transmisión [W/m³K]			0.75		
Pérdidas volumétricas por infiltraciones de aire	n	Cap. Esp. Del aire [Wh/m3]	Pérdida n		
	2	0.35	0.7		
Pérdidas volumétricas globales			G calculo		1.449
			G admisible*		2.17
			Verifica		SÍ

Figura 4: Verificación del coeficiente volumétrico de calefacción. Izquierda: situación existente; derecha: proyecto de mejoras. Fuente: elaborado a partir de CIDEE-EA.

El formato de los gráficos que se obtienen en la herramienta CIDEE-EA se exhibe en la figura 5. En la misma, se observa un ejemplo de análisis de cargas térmicas (por conducción, radiación, fuentes internas y ventilación), por medio de un gráfico de barras.

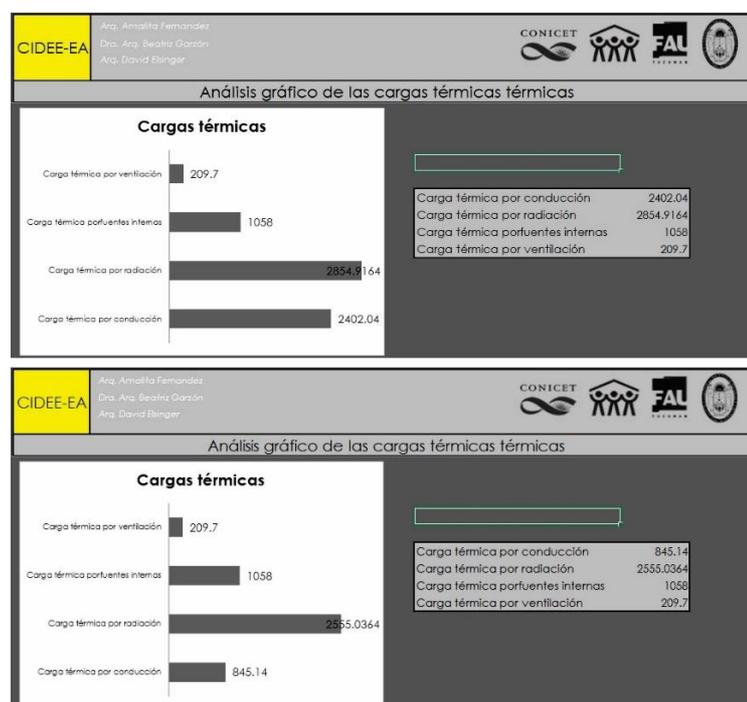


Figura 5: Gráfico de cargas térmicas. Arriba: situación existente; abajo: proyecto de mejoras. Fuente: elaborado a partir de CIDEE-EA

Discusiones: Al tratarse de una primera presentación del calculador, se espera evaluar en futuras investigaciones la experiencia de nuevos usuarios por medio de encuestas y/o entrevistas. Las mismas podrán otorgar datos cualitativos y cuantitativos que validen los aspectos positivos mencionados en este trabajo. Asimismo, la utilización de la herramienta en otros casos de estudio por nuevos usuarios, puede generar datos sobre posibles aspectos positivos/negativos no contemplados en el presente estudio. Todos ellos serán de gran valor para continuar con el desarrollo del CIDEE-EA u otros calculadores similares que atiendan a las crecientes necesidades de evaluar la eficiencia energética y el confort térmico en edificaciones.

CONCLUSIONES

En la provincia de Tucumán, tanto Arquitectos/as, Ingenieros/as civiles, como Maestras y Maestros Mayor de Obra, están habilitados para proyectar y construir edificaciones de baja complejidad y son los que ponen en marcha toda obra nueva, ampliación o refacción del ámbito privado. El calculador CIDEE-EA se diseña en base a estos usuarios y sus conocimientos técnicos, facilitando que cualquiera de ellos pueda utilizar la herramienta en su labor. Por tal motivo, el presente trabajo se permite inferir que la utilización de la herramienta podría generar un valor agregado respecto de la eficiencia energética de la envolvente arquitectónica en el medio tucumano.

El caso de estudio utilizado para probar la herramienta, demuestra que el CIDEE-EA permite abordar un proyecto de rehabilitación térmico-energético en la ciudad de San Miguel de Tucumán. En el mismo, se realiza en primera instancia una evaluación crítica de la situación existente, la cual permite comprobar las bajas prestaciones térmicas de la envolvente en estudio, el incumplimiento de las verificaciones de G_{cal} y G_R , como así también la disponibilidad de gráficos que orientan al diseñador/a sobre los puntos críticos de la envolvente. Estos resultados posibilitan el diseño de mejoras que pueden ser rápidamente examinadas, lo cual otorga una mayor rigurosidad al proyecto de rehabilitación.

A través de la prueba del calculador, se puede decir que los aspectos favorables del CIDEE-EA incluyen la facilidad de uso, la rapidez en la carga de datos y el formato automático de salida de gráficos. Todos estos aspectos permiten una fácil lectura del comportamiento térmico-energético de la envolvente arquitectónica en estudio. Además, se destaca su factibilidad de uso tanto en la etapa de proyecto - construcción aún no edificada-, como en la utilización de proyectos de rehabilitación térmica-energética para edificaciones existentes. En ambos casos, no se necesita de un usuario especialista.

Se puede entender como una limitación el hecho que el calculador está programado para realizar estudios para la zona bioclimática II “cálida” de IRAM 11603. No obstante, la plataforma puede ser editada para cargar datos climáticos de otras zonas bioclimáticas. Asimismo, esta plataforma posibilita evaluar edificaciones con otros destinos además de “vivienda”, y tiene la particularidad que permite estudiar partes de la edificación y no está limitada a su totalidad. De esta forma, el desarrollo del CIDEE-EA se presenta como un aporte a la variedad de herramientas, necesario para las tareas de las y los diseñadores-constructores en la actualidad; también, como un instrumento que fomenta la implementación de normas IRAM que al día de la fecha, no son de uso obligatorio en la provincia de Tucumán para el sector privado de la construcción.

REFERENCIAS

- Becqué, R., et al. (2016). *Como acelerar la eficiencia en la edificación. Ocho medidas para los líderes urbanos*. World Resources Institute.
- Casado, J.C., Assaf, L.O. y Ayub, F. (2000). Valores medios del consumo de gas y energía eléctrica en viviendas de San Miguel de Tucumán según el nivel económico de los usuarios. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4, 41-46.
- EEAOC (s.f.). Datos meteorológicos por localidad. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombes (EEAOC). Tucumán, Argentina. Recuperado de <http://www.eeaoc.org.ar/agromet/index.php>

- Elsinger, D. y Garzón, S.B. (2019). Incidencia del rediseño de envolvente en la etiqueta de eficiencia energética de una vivienda existente. Acta de la XLII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Medio Ambiente, 7, 01.249-01.258.
- Fernández, A. y Garzón, B. (2019). C-EBioDA: Calculador de Estrategias Bioclimáticas de Diseño Arquitectónico, según NORMA IRAM 11900. Obra inédita no musical inscrita en Dirección Nacional de Derechos del Autor (DNDA), expediente: EX-2019-89171618- -APN-DNDA#MJ. Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) octubre de 2019.
- Garzón, B. y Mendonca, C. (2012). TRANS-Q-E: Programa calculador de transmitancia, cargas térmicas de calefacción y refrigeración y consumos energéticos, según Normas IRAM 11601:2002, 11605:1996; 11604:2001, 11659.
- Garzón, B. y Giuliano G. (2015). "EtiquEArq": Programa de Cálculo del Etiquetado de Edificios. Determinación del Nivel de Eficiencia Energética de Calefacción según normas IRAM 11.900". Tipo de Obra: Inédita-Software. Inscripta en la Dirección Nacional de Derechos del Autor (DNDA). Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA). Formulario N° 16441, Febrero 2016.
- Giuliano, G. y Garzón, B. (2016). Prototipo rural de educación inicial en Santiago del Estero, Argentina: análisis, simulación y etiquetado térmico-energético para su adecuación bioclimática. *Estudios del hábitat*, 14(1), 92-105. <https://revistas.unlp.edu.ar/Habitat/article/view/2066>
- Giuliano, G. y Garzón, B. (2017 a). "FotovArq": Programa de Cálculo de Sistemas Fotovoltaicos Autónomos Simples y su integración Arquitectónica. Obra inédita-software. Inscripta en la Dirección Nacional de Derechos del Autor (DNDA). N° RE-2017-28661504-APN-DNA#MJ. Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA) 16 de noviembre de 2017.
- Giuliano, G. Garzón, B. (2017 b). Eficiencia Térmica- Energética y Adecuación Bioambiental en Escuela Rural De Santiago del Estero - Argentina. Reunión Anual ASADES XL. San Juan 2017.
- Giuliano, G y Garzón, B. (2017 c). Rural School in Santiago Del Estero- Argentina, Bioclimatic Conditioning and Evaluation of Thermal, Energy and Economic Efficiency', Materials Research Proceedings, Vol. 7, 234-246. <http://dx.doi.org/10.21741/9781945291838-21>
- Giuliano, G. y Garzón, B. (2019). "AC-SolArq": Programa de Cálculo de Sistema de Agua Caliente Solar con Integración Arquitectónica. Obra inédita-software. Inscripta en la Dirección Nacional de Derechos del Autor (DNDA) N° RE-2019-65293310-APN-DNDA#MJ.
- Gonzalo, G.E. (1989). Programa para el cálculo de transmitancia térmica (K medio ponderado), retardo y amortiguamiento. Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán.
- Gonzalo, G.E. (2002). Programa para el cálculo de transmitancia térmica y verificación de condensación superficial e intersticial. Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán.
- Gonzalo, G.E. (2010 a). Base de datos meteorológicos para 54 localidades de la República Argentina. Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán.
- Gonzalo, G.E. (2010 b). Programa para el cálculo de situación de confort, evaluación de necesidades de enfriamiento o calefacción y determinación de necesidades de sombra. Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán.
- Gonzalo, G.E. (2012 a). Método de Mahoney para determinación de pautas de diseño bioclimático, para climas templado-húmedo y cálido-seco. Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán.
- Gonzalo, G.E. (2012 b). Programa para la determinación de estrategias bioclimáticas para localidades con altura sobre el nivel del mar cercanas a 0-500-1000-2000-3000 m. Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán.
- Greenpeace (2011). Energía 3.0. Un sistema energético basado en inteligencia, eficiencia y renovables 100%.
- Hernández, A.L. (2003). Geosol: una herramienta computacional para el cálculo de coordenadas solares y la estimación de irradiación solar horaria. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 7(2), 11.19-11.24.
- Ledesma, S.L., Nota, V. y Gonzalo, G.E. (2018). Programa para el cálculo de la carga térmica simplificada en régimen periódico. Centro de Estudios Energía, Habitabilidad y Arquitectura Sustentable. Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional de Tucumán.
- IRAM 11601 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2002). Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario.

- IRAM 11603 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2012). Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina.
- IRAM 11604 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2001). Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en calefacción. Coeficiente volumétrico G de pérdidas de calor. Cálculo y valores límites. 2ª edición.
- IRAM 11659-2 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2007). Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2. Edificios para viviendas.
- IRAM 11900 - Instituto Argentino de Normalización y Certificación (2019). Modificación N°1 a la Norma IRAM 11900:2017-12.
- MINEM (2017). *Escenarios Energéticos 2030*. Dirección Nacional de Escenarios y Evaluación de Proyectos, Subsecretaría de Escenarios y Evaluación de Proyectos, Secretaría de Planeamiento Energético Estratégico.
- MINEM (2018). Calculador Solar. Versión 3.3. Ministerio de Hacienda. Secretaría de Energía. Subsecretaría de Coordinación Administrativa. Dirección General de Informática. Hipólito Yrigoyen 250, CABA, República Argentina.
- Ministerio de Desarrollo Productivo (2019). Aplicativo informático nacional. Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas. Gobierno de la República Argentina. Recuperado de <https://etiquetadoviviendas.energia.gob.ar/>
- Pilar de Zalazar, C.A. y Jacobo, G.J. (2001). Diseño y desarrollo de una aplicación informática para el estudio del comportamiento higrotérmico de techos. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*, 4, 08.97-08.102.
- Torres, B., Viñachi, J., Cusquillo, J., Pazmiño, C., y Segarra, M. (2019). Aprovechamiento de la arquitectura pasiva para la reducción de carga térmica por ganancia solar en un edificio de la Facultad de Arquitectura de la Universidad de Guayaquil. *Extensionismo, Innovación y Transferencia Tecnológica*, 5, 378-388. <http://dx.doi.org/10.30972/eitt.503775>
- Vásquez, M.R.G. y Molina-Prieto, L.F. (2018). Envoltante arquitectónica: un espacio para la sostenibilidad. *Arkiteturax Visión FUA*, 1(1), 49-61.
- Yakimchuk, T. y Alías, H.M. (2014). Ahorro de energía en refrigeración. Etiqueta de eficiencia energética de calefacción. Cátedra Estructuras II, Área de la Tecnología y la Producción, Facultad de Arquitectura y Urbanismo, Universidad Nacional del Nordeste.

ABSTRACT: In the construction sector, energy efficiency and thermal comfort are important concepts to take into account by both designers and builders. At this work, is developed a free, easy-to-use and quick-response tool to promote the insertion of these concepts, an integral calculator for the energy efficiency of the architectural envelope (CIDEE-EA). Using the data of the bioclimatic zone II (warm), according to the IRAM 11603 Standard, the tool allows calculating the thermal transmittance, weighted average transmittance, heat gains-losses and volumetric coefficients of heating and cooling. Through its application in a study case, its main features are tested showing a quick response to data loading, not requiring a user with specific knowledge, an easy generation of useful graphs to quantify heat gains and losses and the impact of the different construction elements on the energy efficiency of the architectural envelope.

KEYWORDS: sustainable architecture, energy efficiency, energy rehabilitation.