

INCIDENCIA DEL USUARIO EN EL CONSUMO ENERGÉTICO DE VIVIENDAS: EL CASO DE LAS CASAS GEMELAS

David Elsinger, Beatriz Silvia Garzón

RESUMEN

La incidencia del usuario en el consumo energético de una vivienda urbana, se presenta como una importante variable a tener en cuenta en la búsqueda de la eficiencia energética. Por esto, el presente trabajo analiza dicha incidencia en dos viviendas idénticas, “casas gemelas”, ubicadas en la ciudad de San Miguel de Tucumán – Argentina, con el objetivo de demostrar por medio de una metodología sencilla, las variaciones en el consumo energético que puede generar un usuario en la etapa de funcionamiento de una vivienda. Para esto, en un primer momento se realiza el análisis de las viviendas: paquete normativo IRAM, etiquetado energético y mediciones de temperaturas interiores-exteriores en verano e invierno. En un segundo momento se analizan a los cuatro usuarios (dos por vivienda), por medio del modelo y metodología del indicador “Nivel de Eficiencia del Usuario” (NEU) y de los consumos históricos de gas natural y energía eléctrica. Las conclusiones del trabajo están referidas a las bajas prestaciones térmicas de las “casas gemelas” (etiquetado energético “G”) y a una diferencia de 12 % en el NEU resultante de los usuarios, que representan una diferencia de 36.3 % en consumo de energía eléctrica y 63.9 % en consumo de gas natural.

PALABRAS CLAVES

vivienda sustentable; confort térmico; eficiencia energética; influencia del usuario.

USER INCIDENCE ON HOUSING ENERGY CONSUMPTION: THE CASE OF THE TWIN HOUSES

ABSTRACT

The user's impact on the energy consumption of an urban dwelling is presented as an important variable to be taken into account in the search for energy efficiency. Therefore, this paper analyzes this incidence in two identical houses (“twin houses”) located in the city of San Miguel de Tucumán – Argentina, with the aim of demonstrating through a simple methodology, the energy consumption variations that a user can generate in the operation stage of a house. For this, in a first moment, the housing analysis is carried out: IRAM normative package, energy labeling and indoor-outdoor temperature measurements in summer and winter. In a second moment, the four users (two per home) are analyzed, through the application of the model and methodology of the “User Efficiency Level” indicator (NEU) and historical consumption of natural gas and electricity. The conclusions of the work are related to the low thermal performance of the “twin houses” (energy labeling “G”) and to a difference of 12 % in the NEU resulting from the users, which represent a difference of 36.3 % in electricity consumption and 63.9 % in gas consumption.

KEYWORDS

sustainable housing; thermal comfort; energy efficiency; influence of the user.

1. Introducción

A partir del concepto de “desarrollo sostenible” (United Nations [UN], 1987) podemos decir que la Arquitectura Sustentable (AS) es el modo de concebir el diseño arquitectónico de manera racional, buscando optimizar recursos naturales y sistemas de edificación, de tal modo que minimicen el impacto ambiental de los edificios sobre el medio ambiente y sus habitantes. En concordancia con esto, el concepto de Arquitectura Bioambiental se define desde una visión más integral en tanto que incluye no solo las condiciones climáticas y recursos naturales disponibles, sino además los recursos culturales del lugar, buscando minimizar el impacto ambiental de los edificios sobre el ambiente y el hombre, buscando restablecer las interrelaciones entre ambos de forma sostenible (Garzón, 2010).

Posterior al informe Brundtland de las Naciones Unidas, la incorporación del concepto de AS creció paulatinamente en los países desarrollados con el apoyo de los gobiernos para su difusión e investigación en el ámbito académico, así como para la construcción de normas energéticas obligatorias (Gonzalo, 1998).

En la actualidad, en un delicado contexto energético global que posee una creciente demanda de energías, la AS junto con los usuarios-habitantes de la misma, se está convirtiendo en el medio fundamental para concebir un futuro energético sostenible. El uso racional de la energía (URE) se torna así en políticas públicas para numerosos países europeos en vías de concebir maneras de habitar compatibles con una “eficiencia energética” (EE) y al mismo tiempo con una paulatina disminución de CO₂ del ambiente. La AS tiene un papel importante en el diseño de este futuro, así lo expresa Becqué, et al:

“... si se implementan globalmente, las medidas de eficiencia energética en el sector de la construcción podrían dar como resultado ahorros en las emisiones de CO₂ de hasta 5800 millones de toneladas (Gt) para el año 2050, reduciendo las emisiones de gas de efecto invernadero en un 83 por ciento por debajo del escenario de desarrollo normal de las actividades.” (2016, p.4)

Es importante resaltar que la transformación de la arquitectura y de los equipamientos electro-dependientes debe manifestarse como una evolución en conjunto con los usuarios-habitantes, ya que cada una de estas partes posee un porcentaje importante en la búsqueda de la EE del sector de la construcción. Haciendo foco en dichos usuarios, si bien las políticas sobre EE y URE significan un avance importante, no alcanzan a resolver la problemática energética de manera integral, puesto que, si bien mayores niveles de eficiencia dependen de estrategias aplicadas al edificio, los usuarios-habitantes, que participan decisivamente a través de sus hábitos afectando el consumo de energía en más de un 30 %, no son considerados (Alonso-Frank, Kuchen, 2017).

Situados en la provincia de Tucumán (Argentina) y transitando el año 2020, el mercado inmobiliario urbano local escasamente consume alguna forma de arquitectura sustentable. Tampoco premia el uso de la misma. La calidad ambiental, el confort térmico, el consumo energético, la producción de energías limpias, entre otros, aún no son parámetros de valor cuantitativo ni cualitativo para un inmueble. La falta de conocimiento, la comodidad de usar tecnologías existentes, la escasa promoción o regulación política para utilizar la construcción sustentable son, tal vez, algunas de las causas que explican el estado actual de las ciudades de la provincia de Tucumán como así también las que ilustran un usuario-habitante desprovisto de herramientas y conocimientos, inmerso en una manera de habitar que está, necesariamente, en vías de extinción.

1.1. *Objetivos y alcances*

A la fecha, las primeras aproximaciones para medir el grado de eficiencia/ineficiencia que provoca el usuario sobre las estrategias de ahorro energético en edificios, están presentes en los estudios de Kuchen, Plessner y Fisch (2011), en donde se muestra que el usuario es responsable del 30 % del consumo energético no previsto en la etapa de funcionamiento del edificio. También existen estudios de Alonso-Frank, Kuchen y Alaminó Naranjo (2015), que indica que el comportamiento del usuario afecta hasta un 33 % la EE.

El objetivo principal del presente trabajo es demostrar la incidencia del usuario en el consumo energético de una vivienda a través de un caso de estudio. El mismo es realizado a través del análisis comparativo de los usuarios de

dos edificaciones idénticas situadas en la misma parcela urbana. La tipología analizada son viviendas unifamiliares tipo “duplex” de una propiedad horizontal. Para esto, por un lado, se verifica que ambas viviendas presenten idénticas disposiciones y condiciones edilicias como así también de equipamiento. Por otro lado, se verifica que en cada vivienda residan la misma cantidad de usuarios, de una franja etaria y rutina similar, de modo que todas las variables puedan ser comparables.

El aporte significativo del presente trabajo es, por medio de la aplicación del modelo y metodología del indicador NEU (Alonso-Frank y Kuchen, 2017) en conjunto con análisis cuantitativos de energía eléctrica y gas natural, la cuantificación de las variaciones en el consumo energético que puede generar un usuario. Esto permite visibilizar los grados de eficiencia/ineficiencia provocados por el usuario en la etapa de funcionamiento del edificio. La generación de antecedentes sobre la temática en diferentes tipologías de viviendas es determinante para aportar datos específicos al campo de conocimientos sobre el estudio del usuario de una edificación. Por otro lado, la metodología propuesta puede servir de referencia para otros investigadores o técnicos que deseen analizar el impacto en el consumo energético en diferentes condiciones edilicias de una manera rápida y sencilla.

2. Metodología

La metodología del trabajo consiste en el estudio de dos viviendas idénticas con usuarios de similares características. Se realiza una descripción detallada de las edificaciones por medio del análisis de los planos de proyecto municipal y un relevamiento fotográfico de las viviendas. Luego, se utilizan los datos del estudio normativo IRAM (Instituto Argentino de Normalización y Certificación) desarrollado en estudios previos, en el que se analizan las normas IRAM 11507-4, 11601, 11603, 11604, 11605 y 11659-2 (Elsinger y Garzón, 2019). Finalmente, se realiza la determinación de las estrategias pasivas para diseño arquitectónico por medio del calculador EBioDa (Fernandez y Garzón, 2019) y se calcula el índice de prestación energética (IPE) para construir un valor comparativo con el etiquetado energético de las edificaciones. De esta manera, se establece de manera objetiva las características cualitativas y cuantitativas de las viviendas. La información previa se complementa con un levantamiento de datos térmicos efectuados en un día de verano y un día de invierno. A continuación, se lleva a cabo el análisis de los usuarios a través de la aplicación del modelo y metodología del indicador NEU desarrollado por Alonso-Frank y Kuchen (2016). En paralelo a la determinación del NEU, se realiza una encuesta a los mismos para determinar sus valoraciones sobre el confort ambiental de la vivienda tanto para el periodo de verano como para el de invierno. Finalmente, para obtener un indicador cuantitativo de la incidencia del NEU sobre las viviendas, se efectúa un análisis de los consumos de gas natural y energía eléctrica en ambas viviendas por un periodo de catorce y veinticuatro meses respectivamente.

2.1. Especificaciones sobre EBioDA

Según la MODIFICACIÓN N°1 A LA NORMA IRAM 11900:2017-12 (2019), se define a las estrategias pasivas para diseño arquitectónico (EPDA) como “Características del diseño arquitectónico y de los elementos constructivos que adecuan al edificio a las condiciones climáticas y ambientales, y permiten mejorar la sensación de confort higrotérmico y reducir la demanda de energía convencional” (IRAM 11900, 2019, p.2). Para determinar la ponderación de las mismas, se identifican una serie de parámetros característicos denominados recursos arquitectónico-constructivos (RAC). Dichos parámetros son aquellos que reducen la demanda de energía y optimizan el confort higrotérmico mediante el acondicionamiento natural del edificio en los periodos de verano e invierno. La relevancia de cada RAC varía en función de la caracterización climática de la zona analizada y su interacción con el resto de los RAC aplicados. El calculador EBioDA determina de forma sencilla y rápida el porcentaje EPDA para la ciudad de San Miguel de Tucumán, y discrimina los valores porcentuales de cada RAC, entre los que se registran: la aislación térmica, la inercia térmica, la protección solar, la ventilación natural, la captación solar, la humidificación y el entorno.

2.2. Especificaciones sobre el IPE y el Etiquetado Energético

Por su parte, el aplicativo informático nacional es una herramienta on-line que permite a los profesionales que se desempeñan en el campo de las construcciones civiles, realizar la evaluación de eficiencia energética de una vivienda en cualquier lugar del país a partir de un relevamiento de la misma y obtener la etiqueta correspondiente, conforme los lineamientos establecidos a nivel nacional. Asimismo, permite realizar recomendaciones de mejora y cuantificar el impacto de estas en términos de potenciales ahorros (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2019). Este aplicativo clasifica la EE de la vivienda en siete categorías a través del IPE, un valor característico del inmueble, expresado en kWh/m²año. El mismo representa el requerimiento teórico de energía primaria para satisfacer las necesidades de calefacción en invierno, refrigeración en verano, calentamiento de agua sanitaria e iluminación, durante un año y por metro cuadrado de superficie, bajo condiciones normalizadas de uso (Secretaría de Energía, 2018). En el valor IPE inciden distintas variables de diseño. Ellas son: orientaciones, materialización de la envolvente, características de las aberturas, terminación de superficies exteriores e interiores, altura piso-techo, elementos de sombreado, artefactos de iluminación y tipo de accionamiento, características de los equipos de climatización, sistema de calentamiento de ACS, uso de energía fotovoltaica y calentamiento de agua con energía solar.

2.3. Especificaciones sobre las mediciones de temperatura.

Las mediciones de temperatura ambiente y humedad se realizan en tres ambientes de cada unidad habitacional, con el objetivo de comparar la temperatura y humedad exterior con la interior. El estudio pretende demostrar la similitud de comportamiento de ambas viviendas y la baja calidad de la envolvente en términos de confort térmico. Las mediciones en ambas viviendas se realizan con un termómetro digital: Termohigrómetro digital marca TFA, modelo Qualitäts-Erzeugnis / Germany. El mismo permite la medición simultánea de temperatura y humedad interior y exterior, con rangos de temperatura interior de -10 °C a 60 °C y temperatura exterior de -50 °C a 70 °C, y humedad de 10 % a 99 %. La precisión para temperatura es de ±1 °C y para humedad ±5 %.

2.4. Especificaciones sobre el indicador NEU

Para determinar en qué medida afecta el usuario al consumo energético de las viviendas en estudio y para entender qué valoración tiene el mismo sobre el confort térmico de su vivienda, se realiza una encuesta en octubre de 2018 a las cuatro personas habitantes de las unidades analizadas (dos usuarios por cada edificación). Se aplica el modelo y metodología del indicador NEU a través de una encuesta que combina hábitos/estrategias de tipo pasivas (apertura de ventanas/puertas/cortinas, etc.) y de tipo activas (aire acondicionado, calventor, etc.), que posibilita valorarlas de manera inversamente proporcional. Separados en dos grandes grupos: a. VERANO y b. INVIERNO, cada una de las estrategias permite seleccionar una respuesta con valores de 1 a 5 (Figura 1) en función de la frecuencia de uso.

| FRECUENCIA | ESTRATEGIA TIPO | | | | | | | |
|---------------|-----------------------------|----------------------|----------------------|--------|--------------------------|----------------------|----------------------|--------|
| | Pasiva (no consume energía) | | | | Activa (consume energía) | | | |
| | Significado | Intervalo puntuación | Equivalente numérico | Calif. | Significado | Intervalo puntuación | Equivalente numérico | Calif. |
| Siempre | M u y eficiente | ≥ 4,5 a 5 | 5 | A | Muy poco eficiente | <1,5 | 1 | E |
| A menudo | Eficiente | ≥ 3,5 a <4,5 | 4 | B | P o c o eficiente | ≥ 1,5 a <2,5 | 2 | D |
| Rara vez | Término medio | ≥ 2,5 a <3,5 | 3 | C | Término medio | ≥ 2,5 a <3,5 | 3 | C |
| Nunca | P o c o eficiente | ≥ 1,5 a <2,5 | 2 | D | Eficiente | ≥ 3,5 a <4,5 | 4 | B |
| No es posible | Muy poco eficiente | <1,5 | 1 | E | M u y eficiente | ≥ 4,5 a 5 | 5 | A |

Figura 1. Escala de 5 puntos con calificación, rangos y equivalentes numéricos de evaluación de la frecuencia pasiva y activa. Elaboración: Alonso-Frank y Kuchen (2016).

El valor de la muestra de 4 personas, reside en la posibilidad de comparar los resultados de consumos producidos en dos edificaciones idénticas con usuarios similares en términos de su edad y actividades. El objetivo de la muestra no es estadístico, sino que se configura como una acción necesaria para comparar el NEU resultante con los consumos energéticos finales, y poder visibilizar las diferencias de ambas variables, siendo esto el objetivo principal del trabajo.

3. Descripción de las “casas gemelas”

3.1. Sobre el inmueble y su implantación

Las viviendas analizadas forman parte de una propiedad horizontal (PH) que tiene domicilio en el Pasaje Peñalosa 478 de la ciudad de San Miguel de Tucumán. El PH está constituido por tres unidades tipo “dúplex” desarrolladas en planta baja y planta alta y una unidad en planta alta con formato de un departamento de dos ambientes. Además, posee un acceso común, una servidumbre de paso para llegar a todas las unidades y un garaje para dos vehículos (Figura 2).

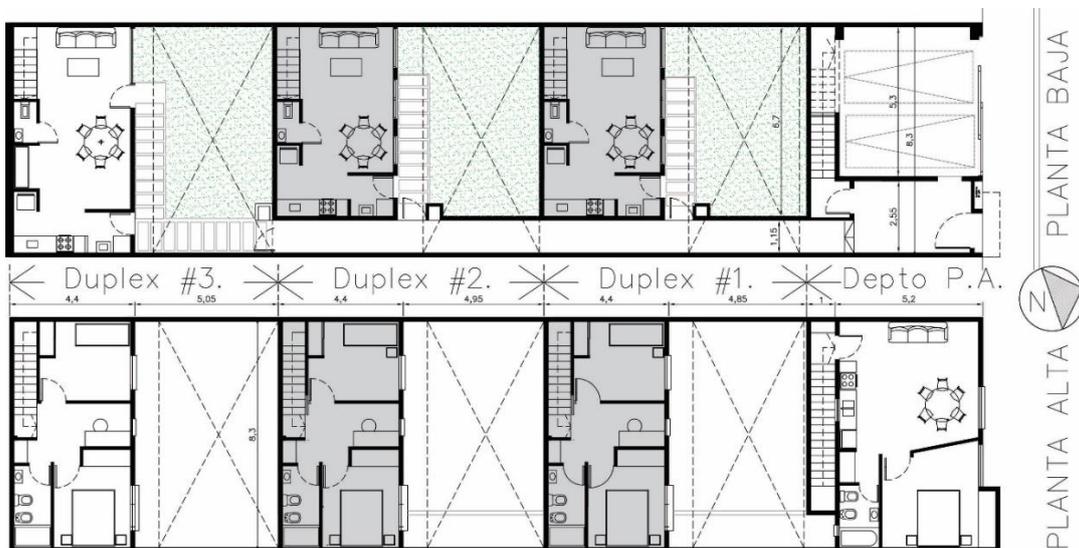


Figura 2. Planta baja y planta alta del PH. Las casas gemelas corresponden a los Dúplex #1 y Dúplex #2. Fuente: elaboración propia.

La propiedad horizontal tiene un formato lineal de viviendas, donde se sucede vivienda-patio interior. A su vez, las viviendas estudiadas tienen un formato rectangular, donde sus lados mayores están orientados a Norte y Sur, siendo sus caras menores (medianeras) los lados Este y Oeste (Figura 3). Todos los aventanamientos de las viviendas abren únicamente hacia el Norte.



Figura 3. Vista satelital de propiedad. Fuente: Google Maps.

3.2. Sobre las “casas gemelas”

Se accede a los dúplex#1 y dúplex#2 (casas gemelas), por la servidumbre de paso. Poseen un acceso semi-cubierto hacia un patio interno de 5,00 m x 6,70 m. Desde el patio, se puede ingresar a la propiedad por una puerta-ventana (acceso principal – “PV1”) y por una puerta de chapa plegada (acceso secundario – “P1”).

Las unidades poseen 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. Las viviendas en cada caso poseen 30,8 m² de superficie cubierta en planta baja y 36,5 m² en planta alta, sumando un total de 67,3 m² cubiertos/unidad y 33,5 m² de superficie al aire libre (patio) disponibles para cada uno de los dúplex. (Figura 4).



Figura 4. Planta baja y planta alta del dúplex#1 con identificación de elementos. Fuente: Elaboración propia.

La construcción existente, finalizada en el año 2012, fue realizada luego de la demolición de una vivienda unifamiliar previa, por lo tanto, las medianeras (laterales este y oeste) se conforman en mampostería de 30 cm de espesor de ladrillo macizo común con al menos una cara revocada (cara interior de la propiedad en análisis). El resto de la envolvente vertical (caras norte y sur) se conforma en mampostería de 20 cm de bloques cerámicos huecos (18 x 18 x 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”. La cubierta se conforma en un único faldón con pendiente hacia el norte, que posee un voladizo de 90 cm 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, entrepiso y cubierta. Las divisiones interiores están realizadas de múltiples maneras: mampostería de 15 cm de ladrillo común en planta baja, mampostería de 8 cm de bloques huecos y también tabiques de placa de yeso-cartón con estructura de perfiles metálicos de chapa galvanizada de 70 mm de espesor en planta alta. Ambas plantas poseen pisos y zócalos cerámicos. Las superficies interiores tienen revoque fino más pinturas en colores claros y 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 similar “beige claro”. (Figura 5)



Figura 5. Fachadas e interiores de los dúplex #1 y #2 respectivamente. Fuente: elaboración propia.

En relación con las carpinterías, todas las ventanas y la puerta ventana se resuelven en perfiles blancos de aluminio en un formato de dos hojas corredizas con vidrios tipo float de 4 mm de espesor. Sus medidas son: “V1”: 1,00 x 1,00 m; “V2”: 1,40 x 1,60 m; “V3”: 1,20 x 1,20 m, y “PV1”: 1,40 x 2,05 m. Sólo el baño posee un ventiluz (0,40 x 0,20 m) con marco de chapa plegada. La puerta exterior es de chapa plegada, marco y una hoja de abrir con espuma de poliuretano interior. Las puertas interiores son de tipo “puerta-placa”, marco y hoja de madera. En lo relativo a aislaciones, la cubierta posee 5 cm de lana de vidrio con aluminio, colocado en contacto con las chapas sinusoidales, mientras que las envolventes verticales no poseen aislación térmica, solo las aislaciones hidrófugas correspondientes.

Por su parte, en lo que respecta a los servicios, las unidades están dotadas de agua corriente de red, la PH posee dos tanques cisternas de 1.100 litros cada uno, con una bomba presurizadora que alimenta a las 4 unidades. La energía eléctrica es provista por el distribuidor local y cada unidad cuenta con su medidor respectivo. Así también, todas las unidades poseen gas natural con medidor propio. Por último, el equipamiento de base de ambas unidades es: a) Un calefón de 14 litros; b) Una cocina con horno y cuatro hornallas a gas; c) Una heladera con freezer; d) Un aire acondicionado de 2.750 frigorías. Las luminarias de ambas casas poseen lámparas de bajo consumo con formato de espiral y lámparas LED.

4. Evaluación cuantitativa

4.1. Análisis con normativa IRAM

La propiedad se encuentra en la Zona Bioambiental II: Cálida, subzona IIb:

“...En esta zona, es el verano la estación crítica, con valores de temperatura media mayores que 24 °C y temperatura máxima mayor que 30 °C. Las mayores amplitudes térmicas se dan en esta época del año con valores que no superan los 16°C. Por su parte, el invierno es más seco, con bajas amplitudes térmicas y temperaturas medias comprendidas entre 8 °C y 12 °C.” (IRAM, 2012, p. 6)

Esta zona se subdivide en 2 subzonas “a” y “b” en función de las amplitudes térmicas. La subzona en análisis “IIb” es la que posee amplitudes térmicas menores que 14 °C.” (IRAM, 2012).

De esta manera, la zona mencionada queda bajo recomendaciones generales donde se citan:

- a. colores claros en paredes exteriores y techos;
- b. gran aislación térmica en los techos y en las paredes orientadas al este y al oeste;
- c. el eje mayor de la vivienda, preferentemente, orientado al Este-Oeste.
- d. proteger las superficies de la incidencia de la radiación solar. Para las ventanas, si es posible, no orientarlas al Este o al Oeste, y minimizar su superficie.
- e. un diseño que permita la ventilación cruzada de la vivienda, dada la influencia benéfica del movimiento sensible del aire, para disminuir la falta de confort higrotérmico, es por ello que se recomienda contemplar la necesidad de aprovechar los vientos dominantes y la creación de zonas de alta y baja presión que aumenten la circulación de aire.
- f. si bien en esta zona, el invierno reviste limitada importancia, se deja a criterio del proyectista las condiciones de diseño que se deben adoptar. (IRAM, 2012, p.24).

La caracterización de la zona y las recomendaciones para la misma ilustran un medio de bajo confort higrotérmico. Esto supone un elevado consumo energético de fuentes convencionales en los meses de verano, como así también en los días críticos de invierno, para obtener los niveles óptimos del confort. La tabla 1 muestra la verificación de los casos de estudio en relación a las recomendaciones generales de la normativa:

| <i>Rec.</i> | <i>Verifica</i> | <i>Observaciones</i> |
|-------------|-----------------|--|
| a) | SI | Los colores de las paredes exteriores son claros. La cubierta es de chapa sinusoidal de aluminio sin pintura. |
| b) | NO | La aislación térmica de la cubierta posee 5 cm de lana de vidrio. Las paredes este y oeste no poseen ningún tipo de aislación térmica |
| c) | SI | El eje mayor de la vivienda es el este-oeste |
| d) | PARCIAL MENTE | La edificación verifica la protección de la cara norte mediante el alero de la cubierta, permitiendo el ingreso completo de radiación por aventanamientos en invierno -altitud solar 40°, 21. Jun. 12 h-, parcialmente –solo aventanamientos de planta baja- en otoño y primavera -altitud solar 63°, 21. Mar/Sep. 12 h- y protegiendo íntegramente el muro norte en verano -altitud solar 86°, 21. Dic. 12 h- (UO Solar Radiation Monitoring Laboratory, 2019). Los muros este y oeste al ser medianeros no pueden protegerse de la radiación. Con respecto a las ventanas, las mismas no están orientadas al este y oeste. Por último, la reducción de superficie no se verifica en el muro norte, ya que posee en planta baja un exceso de aventanamientos. |
| e) | NO | Ningún local de la edificación posee ventilación cruzada |
| f) | - | Sin consideraciones |

Tabla 1. Verificación de recomendaciones de diseño IRAM 11603. Fuente: elaboración propia.

Para asegurar las condiciones mínimas de habitabilidad, IRAM 11605 (1996), establece los valores máximos de transmitancia térmica (K) aplicables a muros y techos destinados a viviendas, además de establecer los criterios de evaluación de puentes térmicos. De esta manera se determinan tres niveles, los cuales corresponden en grado decreciente a condiciones de confort higrotérmico: nivel A (Recomendado), nivel B (Medio) y nivel C (Mínimo). Es importante resaltar que existe una modificación de dichos niveles en IRAM 11900 (2019), en donde se incluye el nivel “A/B”, como una categoría intermedia entre los niveles A y B.

Ambas viviendas contienen cuatro ítems diferentes en su envolvente. En muros, el primero es una mampostería no portante de ladrillo hueco de 18 x 18 x 33 cm con ambas caras revocadas asentado en mortero a base de cemento de albañilería (espesor total 22 cm). El segundo, solo utilizado en el muro oeste de planta baja, es una mampostería de ladrillo común de 30 cm con, al menos, la cara interior revocada (espesor total 30 cm). La PH, al tener una servidumbre de paso, genera una superficie del entepiso (E_LNC) que está en contacto directo con un local no calefaccionado. Esta parte de la envolvente es una losa de viguetas pretensadas con bovedillas cerámicas de 12 cm de alto, una capa de compresión de hormigón estructural de 5 cm de alto, una carpeta cementicia niveladora de 2 cm y un solado cerámico adherido con pegamento de 1,5 cm (espesor total igual a 21 cm). Por último, la cubierta de chapa galvanizada posee 5 cm de lana de vidrio con una cara aluminizada en contacto con la misma, una cámara de aire estanca con un promedio de 20 cm de alto y un cielorraso suspendido de placas de yeso-cartón de 9 mm. Los valores de transmitancia térmica para cada una de las envolventes se expresan en la tabla 2.

| <i>Elemento</i> | <i>Coficiente K [W/m²°K]</i> | <i>Nivel de confort higrotérmico</i> |
|------------------|------------------------------|--------------------------------------|
| Muro 22 cm | 1,82 | NO CUMPLE |
| Muro 30 cm | 1,68 | NIVEL C |
| Entepiso (E_LNC) | 1,62 | NIVEL C |
| Cubierta | 0,64 | NIVEL C |

Tabla 2. Transmitancia térmica y nivel de confort para elementos de la envolvente existente según norma IRAM 11605. Fuente: elaboración propia.

El cálculo del K medio ponderado (KMP) de la vivienda se contempla solo para los muros norte y sur, siendo los únicos que contienen aberturas. De esta forma, la ponderación actúa, en cada caso, sobre el muro de planta baja y alta en conjunto, contemplando las puertas y ventanas, como así también la estructura de hormigón armado. Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3.

| <i>Elemento</i> | <i>KMP situación existente</i> |
|---------------------------------|--------------------------------|
| Muro norte (planta baja y alta) | 2,82 |
| Muro sur (planta baja y alta) | 1,81 |

Tabla 3. K medio ponderado de la envolvente existente. Fuente: elaboración propia.

Las carpinterías exteriores de la vivienda (PV1, V1, V2, V3 y V4) están materializadas con aluminio y vidrio común de 3 mm en su totalidad. A excepción de V4 (oscilante) el resto son corredizas y en todos los casos no cuentan con ningún tipo de protección solar. El coeficiente K determinado por la norma IRAM 11601 (2002) para este tipo de ventanas es de 5,82 W/m²K (tabla A.5 - Transmitancia térmica de ventanas -en posición vertical-).

La clasificación de ventanas según sus características de transmitancia térmica de la norma IRAM 11507-4 (2010) presenta seis posibles clasificaciones. Las categorías son: K₁, K₂, K₃, K₄, K₅ y “No clasificable”. Las carpinterías del caso de estudio revisten la categoría “No clasificable” con una transmitancia térmica K superior a 4,0 W/m²K.

El cumplimiento de las transmitancias térmicas máximas admisibles de la envolvente de la edificación puede no ser suficiente para controlar las pérdidas de calor totales del conjunto. A partir de esto surge la necesidad de definir un parámetro global que pondere todos los elementos. Por ello, la norma IRAM 11604 (2001), establece el método de cálculo del coeficiente volumétrico de pérdida de calor (G_{cal}), el cual permite evaluar el ahorro de energía en calefacción de una vivienda. El mismo, tiene en cuenta las pérdidas de calor a través de los cerramientos que componen la envolvente (opacos, no opacos y en contacto con el terreno), más las pérdidas por renovación de aire de los locales de la vivienda. En función del volumen (m³) y los grados días de calefacción (°C) para el caso de estudio, se determina el G_{adm}, siendo el mismo 1,80 W/m³K. Las pérdidas de calor a través de la envolvente de la vivienda (figura 6) dan como resultado un G_{cal} de 3,01 W/m³K, valor que no verifica la norma al incumplir con la condición de que G_{cal} sea igual o menor a G_{adm}.

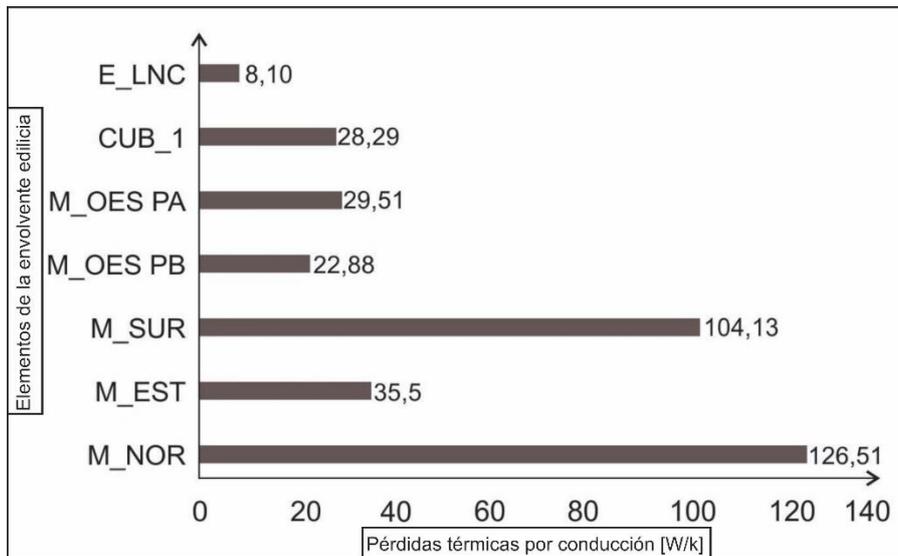


Figura 6: Pérdidas térmicas por conducción a través de la envolvente [W/k]. Fuente: Elaboración propia.

Al igual que en IRAM 11604, el concepto sobre el cumplimiento de las transmitancias térmicas máximas admisibles de la envolvente de la edificación y su relatividad para controlar las pérdidas de calor totales del conjunto, también se aplica en la norma IRAM 11659-2 (2007) para el control de las ganancias de calor totales del conjunto. El parámetro global aquí definido que pondera todos los elementos que intervienen en el proceso, es la carga térmica admisible en refrigeración (Q_{adm}) y el coeficiente volumétrico de refrigeración admisible (G_{adm}). Además, esta norma pone de manifiesto que el concepto de aislamiento térmico, desde el punto de vista de condiciones de habitabilidad y consumo de energía, no solo incluye una mejor calidad de aislamiento de la envolvente, sino además una adecuada selección de la orientación, de las protecciones solares, cuando sea posible.

Para la edificación en estudio, el coeficiente $G_{r,adm}$ es $19,35 \text{ W/m}^3$. La vivienda da como resultado un G_r $29,03 \text{ W/m}^3$, valor que no verifica la norma al incumplir con la condición de que G_r sea igual o menor a $G_{r,adm}$. Dentro de las ganancias térmicas a través de la envolvente, incluidas en el cálculo, la figura 7 muestra las situaciones más críticas de la misma (muro norte y muro sur).

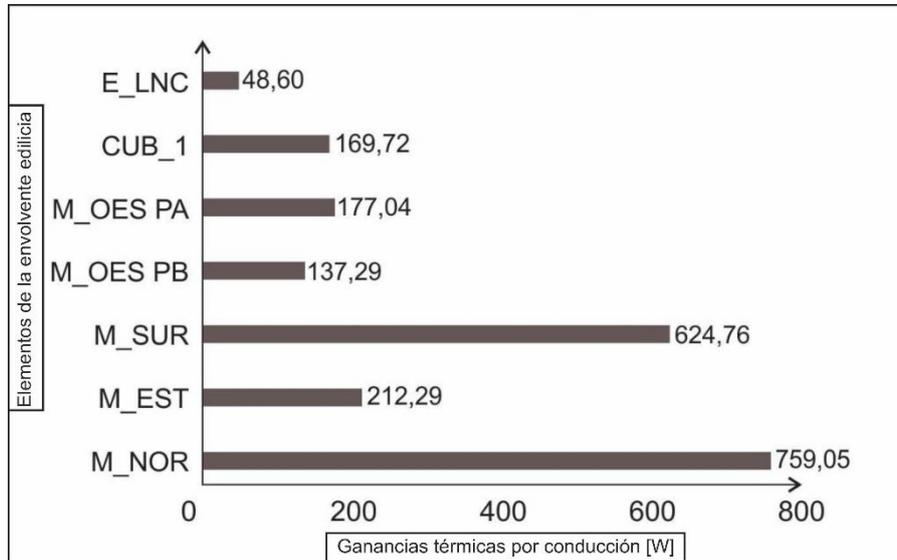


Figura 7: Ganancias térmicas por conducción a través de la envolvente [W]. Fuente: elaboración propia.

Por último, el análisis de las estrategias pasivas para diseño arquitectónico (EPDA), se realiza mediante la metodología propuesta por la modificación IRAM 11900 (2019), en donde se realiza la ponderación de siete estrategias. Se define a las mismas como las características del diseño arquitectónico y de los elementos constructivos que adecuan al edificio a las condiciones climáticas y ambientales, y permiten mejorar la sensación de confort higrotérmico y reducir la demanda de energía convencional. La evaluación de las viviendas se realiza contrastándolas con un modelo teórico del edificio. Con base en la norma mencionada y utilizando el calculador C-EBioDA (Fernandez y Garzón, 2019), se obtienen los porcentajes de estrategias expresados en la figura 8, con una valoración final del nivel de aprovechamiento EPDA del 24,37 % para ambas viviendas, ya que los valores evaluados son idénticos. El valor obtenido es esperado, teniendo en cuenta las bajas prestaciones térmicas de la envolvente edilicia, como así también la disposición de las ventanas en relación a la ventilación natural y la protección solar.

| EBioDA < | |
|---------------------|----------------|
| % EPDA | 24.37 % |
| Aislación térmica | 24.38 % |
| Inercia térmica | 24.90 % |
| Protección solar | 33.20 % |
| Ventilación natural | 2.50 % |
| Captación solar | 14.70 % |
| Humidificación | 35.00 % |
| Entorno | 42.50 % |

Figura 8. EPDA resultante para ambas viviendas. Fuente: elaboración propia.

4.2. Cálculo del Índice de Prestaciones Energéticas (IPE) y Etiquetado Energético

La herramienta de cálculo utilizada en este trabajo es el Aplicativo Informático Nacional (Ministerio de Desarrollo Productivo, 2019). El resultado del IPE es de 253 kWh/m²año para ambas viviendas, correspondiente a una Etiquetado Energético “F” en la escala de valores perteneciente a la ciudad de San Miguel de Tucumán. La figura 9 ilustra la escala de valores y los resultados obtenidos.

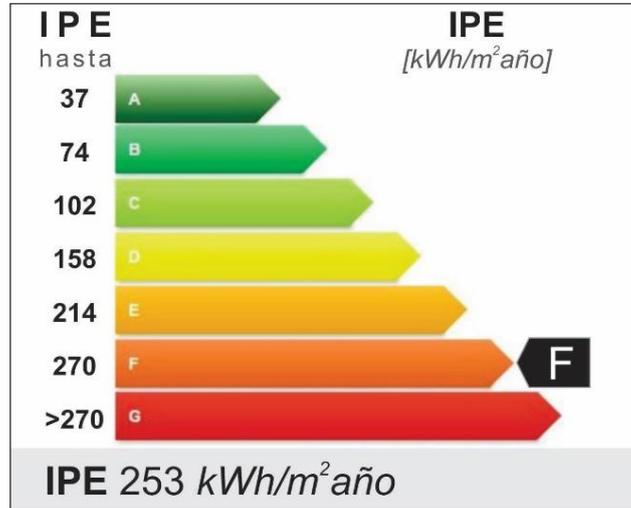


Figura 9. IPE y Etiqueta Energética resultante para ambas viviendas. Fuente: elaboración propia.

4.3. Análisis comparativo de temperatura ambiente y humedad.

El análisis fue realizado a las 19 h del día 19.02.2019 (situación de verano) y a las 8 h del día 21.08.2019 (situación de invierno). Los valores de referencia de dichos días se toman de la estación meteorológica “El Colmenar” situada a 3 km al norte del domicilio de las casas gemelas, en los límites de la mancha urbana de la ciudad de San Miguel de Tucumán. La tabla 4 exhibe los valores para ambos días:

| Información meteorológica | 19 feb. | 21 ago. |
|--------------------------------------|---------|---------|
| Temperatura máxima absoluta (°C) | 33,9 | 22,8 |
| Temperatura media (°C) | 27,3 | 13,8 |
| Temperatura mínima absoluta (°C) | 20,6 | 4,7 |
| Humedad relativa máxima absoluta (%) | 92 | 92 |
| Humedad relativa media (%) | 70 | 63 |
| Humedad relativa mínima absoluta (%) | 48 | 33 |

Tabla 4: Valores de la estación meteorológica “El Colmenar” (EEAOC, 2019). Fuente: elaboración propia.

Cabe destacar que la amplitud térmica del 19 de febrero es 13,3 °C mientras que la del 21 de agosto es 18,1 °C. Este último valor supera la amplitud térmica establecida por IRAM 11603 (2012) de 14 °C para la Zona Bioclimática “Iib”, en la que se encuentra el caso de estudio.

Por su parte, la tabla 5 contiene los valores de temperatura (°C) y humedad (%) medidos en tres ambientes idénticos en cada una de las viviendas. El primer ambiente es el patio interno, el segundo es el estar-comedor y el tercero es la habitación principal en la planta alta (Figura 4: ambiente N°3). Los valores obtenidos en ambas viviendas son idénticos, solo muestran variaciones mínimas, que no sobrepasa la desviación estándar para cada caso.

| AMBIENTE | VERANO | | INVIERNO | |
|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | Dúplex #1 | Dúplex #2 | Dúplex #1 | Dúplex #2 |
| <i>Patio interno propio</i> | 31,2°C 57 %H | 32,2°C 59 %H | 9,5°C 53 %H | 9,9°C 54 %H |
| <i>Planta baja: estar comedor</i> | 30,8°C 61 %H | 31,9°C 59 %H | 18,8°C 48 %H | 18,1°C 47 %H |
| <i>Planta alta: habitación ppal.</i> | 31,5°C 60 %H | 32,3°C 59 %H | 19,0°C 47 %H | 18,4°C 47 %H |

Tabla 5. Valores de temperatura ambiente y humedad. Fuente: elaboración propia.

5. Evaluación cualitativa

La evaluación cualitativa se realiza en el mes de septiembre de 2018 a cuatro personas, ya que cada dúplex cuenta con dos usuarios, que configura un factor de ocupación de 0,03 habitantes/m². Las cuatro personas poseen características y rutinas similares.

Dúplex #1: La primera persona, de 30 años, declara un trabajo de tiempo completo con horarios móviles con días de mucha permanencia en la vivienda y otros en los que se encuentra fuera la mayor parte del día. La segunda persona, también de 30 años, declara un trabajo de medio tiempo de horarios fijos en la mañana, con permanencia el resto del día en la vivienda.

Dúplex #2: La primera persona, de 28 años, declara un trabajo de tiempo completo con horarios comerciales cortados, cuatro horas en la mañana y cuatro horas en la tarde. El resto del día declara permanecer en la vivienda. La segunda persona, de 22 años de edad, declara ser estudiante universitario y tener horarios móviles con días de permanencia absoluta en la vivienda y otros en que realiza sus actividades fuera de ella la mayor parte del día.

5.1. Encuesta a los usuarios y resultados del NEU

La tabla 6 muestra las 12 preguntas relacionadas con el comportamiento del usuario en relación a estrategias pasivas y activas en situación de verano y las 10 preguntas correspondientes en situación de invierno. Las respuestas de las mismas se organizan según el dúplex (D#1 para el primero y D#2 para el segundo), percibiendo dos valores para cada vivienda (una por usuario). El gradiente de valores obtenidos en las respuestas abarca del 1 al 5, representando cada número una frecuencia de uso, un significado y una calificación (Figura 1, apartado 2.2).

| SITUACIÓN DE VERANO | | Respuestas | | | |
|---------------------|--|------------|---|-----|---|
| N° | Pregunta | D#1 | | D#2 | |
| 1 | ¿Utiliza la apertura y cierre de ventanas? | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 2 | ¿Utiliza la apertura y cierre de puertas? | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 3 | ¿Utiliza el cierre de cortinas para evitar el ingreso del sol? | 5 | 3 | 5 | 5 |
| 4 | ¿Utiliza la apertura de celosías o parasoles? | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | ¿Adapta/cambia su ropa? | 5 | 4 | 5 | 5 |
| 6 | ¿Toma duchas para refrescarse? | 5 | 3 | 5 | 5 |
| 7 | ¿Ingiere bebidas para refrescarse? | 5 | 4 | 5 | 5 |

| | | | | | |
|------------------------------|--|-------------------|---|------------|---|
| 8 | ¿Utiliza el ventilador (de pie o techo)? | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | ¿Utiliza el aire acondicionado? | 5 | 3 | 3 | 5 |
| 10 | En caso de utilizar el AA ¿en qué temperatura lo utiliza? | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 11 | ¿Apaga el piloto del calefón cuando no lo está usado? | 5 | 5 | 1 | 1 |
| 12 | ¿Usa el agua caliente para lavar la vajilla? | 5 | 5 | 1 | 1 |
| <i>SITUACIÓN DE INVIERNO</i> | | <i>Respuestas</i> | | | |
| <i>Nº</i> | <i>Pregunta</i> | <i>D#1</i> | | <i>D#2</i> | |
| 1 | ¿Utiliza la apertura y cierre de ventanas? | 5 | 5 | 4 | 2 |
| 2 | ¿Utiliza la apertura y cierre de puertas? | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 3 | ¿Utiliza la apertura de cortinas para dejar ingresar el sol? | 5 | 3 | 4 | 3 |
| 4 | ¿Utiliza la apertura de celosías o parasoles? | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | ¿Adapta/cambia su ropa? | 5 | 4 | 5 | 5 |
| 6 | ¿Ingiere bebidas para calentar el cuerpo? | 5 | 3 | 3 | 4 |
| 7 | ¿Utiliza el calefactor o aire acondicionado en modo calefacción? | 3 | 2 | 4 | 5 |
| 8 | ¿En qué niveles de temperatura usa el Calefón para bañarse? | 5 | 5 | 1 | 1 |
| 9 | ¿Apaga el piloto del calefón cuando no lo está usado? | 5 | 1 | 1 | 5 |
| 10 | ¿Usa el agua caliente para lavar la vajilla? | 5 | 5 | 4 | 2 |

Tabla 6. Preguntas para verano e invierno y resumen de resultados. Fuente: elaboración propia.

Los resultados numéricos de la Tabla 6 se ponderan según la abstracción matemática de la fórmula [1], dando lugar a la obtención del indicador del Nivel de Eficiencia del Usuario NEU (Alonso-Frank y Kuchen, 2017).

$$NEU = \left(\frac{5 * \sum_{i=0}^n vA + 4 * \sum_{i=0}^n vB + 3 * \sum_{i=0}^n vC + 2 * \sum_{i=0}^n vD + 1 * \sum_{i=0}^n vE}{\sum_{i=0}^n vt} \right)$$

Los NEU resultantes para cada una de las viviendas son los siguientes: DÚPLEX N°1 (Unidad #02) – NEU = 3,88, y DÚPLEX N°2 (Unidad #03) – NEU = 3,45. Los mismos se expresan gráficamente en la figura 10. Se determina de esta manera que para los valores evaluados, los usuarios del dúplex #1 utilizan de manera más eficiente su vivienda que los usuarios del dúplex #2.

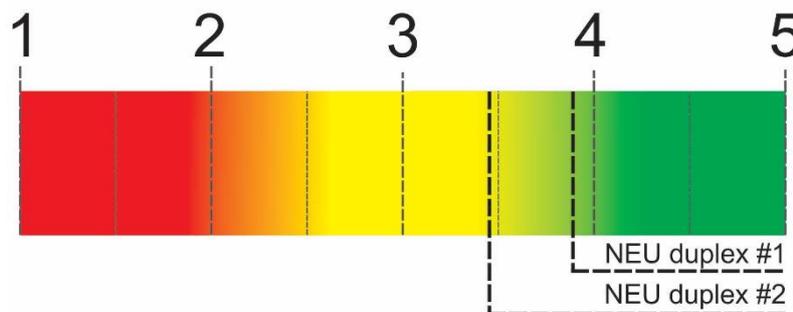


Figura 10. NEU resultantes. Fuente: elaboración propia.

5.2. Análisis de consumos energéticos

Los consumos de gas natural y energía eléctrica fueron realizados mediante la lectura de las facturas bimestrales emitidas por el proveedor local en cada una de las viviendas. Los periodos analizados se delimitaron por la disposición de la documentación provista por los usuarios. Se registraron 14 meses de gas natural y 24 meses de energía eléctrica.

Los resultados de la tabla 6 permiten visibilizar un mayor grado de eficiencia por parte del dúplex #1 sobre el #2 en el consumo de gas natural. Los valores en los periodos mencionados (14 meses), para una igual cantidad y tipo de artefactos (calefón y cocina), permiten entender la magnitud de dicha diferencia: un total de 113 m³ consumidos por el dúplex #1 y 313 m³ consumidos por el dúplex #2. El consumo de los usuarios del dúplex #2 es un 177 % más elevado que el consumo de los usuarios del dúplex #1.

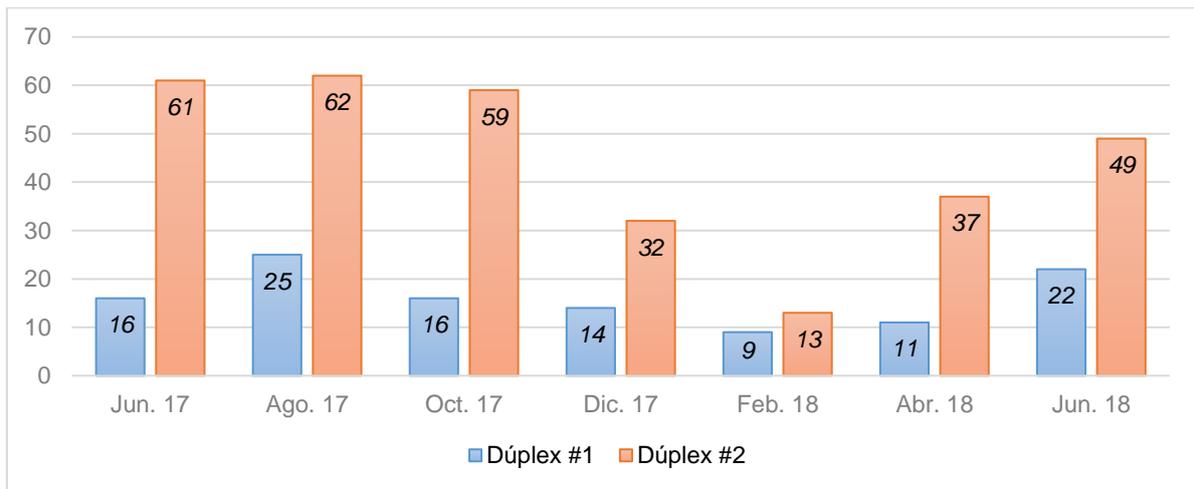


Tabla 6. Histórico del consumo de gas natural para los dúplex #1 y #2 en m³. Fuente: elaboración propia.

Nuevamente, los gráficos de la tabla 7 permiten visibilizar un mayor grado de eficiencia por parte del dúplex #1 sobre el #2. Los consumos en los periodos mencionados (24 meses), para similares cantidades y tipo de artefactos, suman un total de 2261 kW consumidos por el dúplex #1 y 4035 kW consumidos por el dúplex #2. El consumo de los usuarios del dúplex #2 es un 78% más elevado que el consumo de los usuarios del dúplex #1.

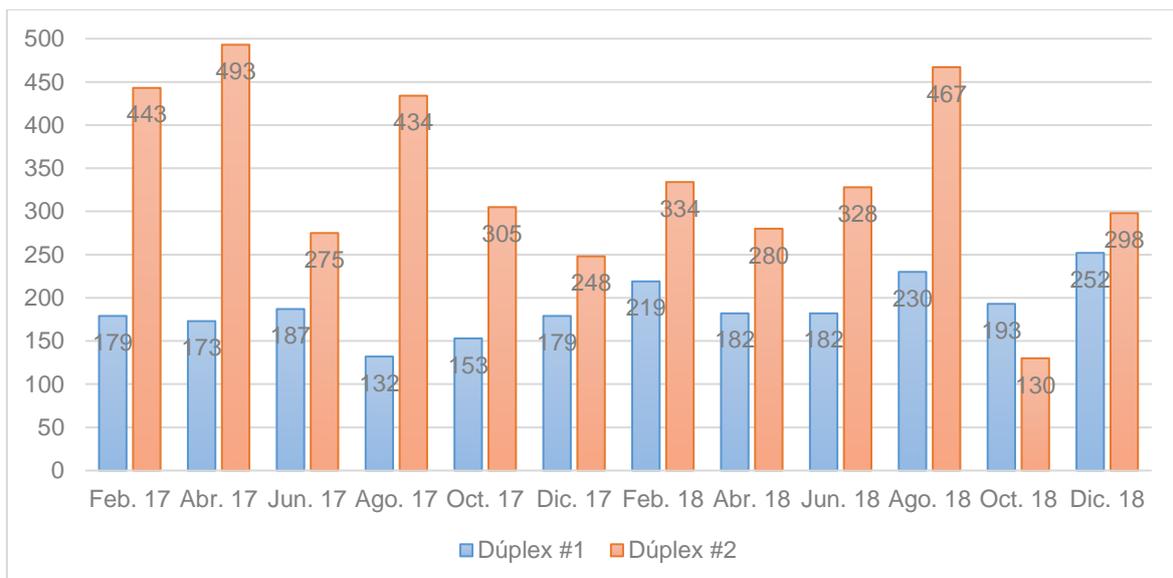


Tabla 7. Histórico del consumo eléctrico de los dúplex #1 y #2 en kW. Fuente: elaboración propia.

5.3. Valoración final de los usuarios

Al tratarse de una muestra de solo cuatro personas, el objetivo de este análisis es producir una apreciación cualitativa de los usuarios sobre sus hogares. Entendiendo que el local analizado es una vivienda unifamiliar donde los usuarios tienen la posibilidad de accionar a su gusto las estrategias pasivas disponibles, la importancia de la valoración reside en la relación con las conductas del usuario relevadas en el análisis del NEU.

A través de una encuesta adicional, los usuarios escogen su valoración sobre el nivel de confort térmico de sus viviendas en una escala de cinco valores: 1. Malo; 2. Bajo; 3. Medio; 4. Bueno; 5. Excelente. La pregunta formulada se centra en la opinión sobre el “confort térmico” que le proporciona la vivienda al usuario en situación de verano e invierno. En este estudio se toma el concepto de confort térmico para una persona como:

“... “aquella condición de pensamiento que expresa satisfacción con el ambiente térmico”. Si un grupo de personas son sometidas al mismo clima de una habitación, no será posible, debido a las variaciones biológicas, satisfacer a todos al mismo tiempo.” (Fanger, 1970, p.13).

La tabla 8 expone los resultados de la encuesta para el periodo de verano e invierno:

| PREGUNTA | Dúplex #1 | | Dúplex #2 | |
|--|------------|------------|------------|------------|
| | Usuario #1 | Usuario #2 | Usuario #1 | Usuario #2 |
| Según su criterio ¿Cuál es el nivel de confort térmico de su vivienda en verano? | 1. MALO | 1. MALO | 1. MALO | 4. BUENO |
| Según su criterio ¿Cuál es el nivel de confort térmico de su vivienda en invierno? | 1. MALO | 1. MALO | 2. BAJO | 4. BUENO |

Tabla 8. Niveles de confort según el usuario. Fuente: elaboración propia.

6. Análisis de resultados

Las viviendas, desarrolladas en dos plantas y perteneciente a una propiedad horizontal, cumplen solo con 2 de las 5 recomendaciones calificables realizadas por IRAM 11603. En el caso específico de su envolvente, sus paredes no llegan a alcanzar el nivel más bajo de confort higrotérmico según norma (a excepción del muro macizo oeste que solo tiene 12,32 m²), y tanto la cubierta como el entrepiso en contacto con el exterior, apenas cumplen el nivel mínimo C de IRAM 11605. Por su parte, las carpinterías exteriores de la vivienda no alcanzan la clasificación más baja de Categorías de Aislación K de IRAM 11507-4 y se sitúan un 46 % por encima de esta última. En cuanto a los valores de G_{adm} y Q_{adm} de IRAM 11604 y 11659-2 respectivamente, no verifica ninguno de ellos y ambos dejan en evidencia las bajas prestaciones de la envolvente, siendo sus elementos más críticos el muro norte, el muro sur y las carpinterías. La valoración global de la envolvente provista por C-EBioDA, complementa a los valores mencionados, solo con un 24,37 % de aprovechamiento de las estrategias pasivas de diseño arquitectónico contempladas por IRAM 11900.

Los resultados obtenidos en los análisis de temperaturas que verifican la similitud de comportamiento de las casas gemelas, se alinean con los resultados del análisis normativo antes descripto. Tal es así que, para el caso de verano, con una temperatura exterior de 31,2 °C, la variación de temperatura en el interior es mínima (hasta 1,3 °C menor en planta baja y 0,3 °C mayor en planta alta). Por su parte, para el caso de invierno, con una temperatura exterior de 9,5 °C, las temperaturas interiores tampoco llegan a niveles de confort (18,8 °C en planta baja y 19 °C en planta alta). En última instancia de esta etapa, y reflejando lo antes descripto, las casas gemelas obtienen una clasificación en el etiquetado energético “F”, situándose en la penúltima categoría con un IPE de 253 kWh/m²año.

Por su parte, en una escala del NEU de 1 a 5, los usuarios del dúplex #1 obtienen una clasificación de 3,88, mientras que los del dúplex #2 un valor de 3,45, siendo más eficiente los primeros. En concordancia con la clasificación NEU obtenida, para los meses analizados, los consumos del dúplex #2 son mayores: un 36,3 % en energía eléctrica y un 63,9 % en gas natural. Finalmente, la opinión de los usuarios (en una escala de 1 a 5) sobre el nivel del confort

térmico de sus viviendas varía. En el caso del dúplex #1 es 1 (mala) siendo constante para invierno y verano, mientras que en el caso del dúplex #2, en invierno se obtienen los resultados 2 (Bajo) y 4 (Bueno) y para el caso de verano 1 (mala) y 4 (Bueno).

7. Conclusiones

El presente trabajo evidencia una importante incidencia del usuario en el consumo energético de una vivienda unifamiliar tipo “duplex” perteneciente a una propiedad horizontal. Para el caso de estudio, se verifica que el “Nivel de Eficiencia del Usuario” calculado, es diferente para los residentes de las casas gemelas y guarda total correspondencia con las diferencias en los consumos energéticos analizados. De esta forma, el estudio demuestra que, para dos edificaciones idénticas y contiguas con la misma cantidad de usuarios, un 12 % de diferencia en el indicador NEU representa una marcada diferencia del 36,3 % en consumo de energía eléctrica y un 63,9 % en consumo de gas natural. Con dichos valores, se resalta que la incidencia del usuario en el consumo energético de la vivienda es un importante factor a tener en cuenta en el diseño de estrategias para el URE y la EE.

Además, se verifica las ínfimas prestaciones térmicas de las viviendas, con un IPE de 253 kWh/m²año y el etiquetado energético con un nivel “F”. Al tratarse de edificaciones construidas en el año 2012 con mano de obra local y materiales de construcción provistos por el mercado tucumano, las casas gemelas ponen de manifiesto el posible estado de gran parte del parque inmobiliario de la ciudad de San Miguel de Tucumán, donde habitan 548.866 personas y se registran 148.773 hogares para el departamento capital (INDEC, 2010).

La eficiencia energética entendida como una relación dialéctica entre “edificación y usuario”, necesita ser un objetivo de nuestra generación y una realidad en un futuro a corto plazo en Argentina. Desarrollar mejoras en la producción de arquitectura debe tener una correspondencia con concientizar y capacitar a los usuarios en maneras eficientes de habitar. Herramientas como el indicador NEU permite visualizar la situación real de grupos de usuarios, estimar su incidencia en el consumo energético y definir estrategias para poder trabajar activamente sobre los mismos. Por tal motivo, se resalta la importancia de la incorporación de la herramienta NEU en políticas nacionales de URE y de EE, permitiendo abordar y aplicar la temática en forma local y/o regional, y poder determinar sistemas constructivos más eficientes en cuanto a la incidencia de los usuarios.

8. Referencias

- Alonso-Frank, A.; Kuchen, E. y Alamino-Naranjo, Y. (2015) Developing an energy efficiency assessment tool for buildings according to user behavior indoors. En: The 31° International PLEA Conference Passive Low Energy Architecture: Architecture in (R) Evolution. Bologna, Italia. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/285594366_DEVELOPING_AN_ENERGY_EFFICIENCY_A_SSESSMENT_TOOL_FOR_BUILDINGS_ACCORDING_TO_USER_BEHAVIOUR_INDOORS
- Alonso-Frank, A., y Kuchen, E. (2016). Desarrollo de una herramienta para validar la influencia del comportamiento del usuario sobre la eficiencia energética en edificios públicos de oficina. Revista Hábitat Sustentable Vol. 6, N°. 2. Recuperado de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2502>
- Alonso-Frank, A., y Kuchen, E. (2017). Validación de la herramienta metodológica del Alonso-Frank & Kuchen para determinar el indicador de nivel de eficiencia energética del usuario de un edificio residencial en altura, en San Juan - Argentina. Revista Hábitat Sustentable Vol. 7, N°. 1. Recuperado de <http://revistas.ubiobio.cl/index.php/RHS/article/view/2740>
- Beccuqué, R., et al (2016). Como acelerar la eficiencia en la edificación. Ocho medidas para los líderes urbanos. World Resources Institute.
- EEAOC (21 de agosto de 2019). Datos meteorológicos por localidad. Estación Experimental Agroindustrial Obispo Colombres (EEAOC). Tucumán, Argentina. Recuperado de <http://www.eeaoc.org.ar/agromet/index.php>
- Elsinger, D., y Garzón, B. (2019). Incidencia del rediseño de envolvente en la etiqueta de eficiencia energética de una vivienda existente. Trabajo presentado en la XLII Reunión de Trabajo de la Asociación Argentina de Energías Renovables y Ambiente, Jujuy, Argentina. Disponible en <http://www.exporenovables.com.ar/2019/descargas/actas/tema1/2528.pdf>
- Fanger, P.O. (1970). Thermal Comfort. Analysis and Applications in Environmental Engineering. Denmark. Aarhus Stifsbogtrykkerie A/S 7677.70
- Fernandez, A. y Garzón, B. S. (2019). Calculador de las Estrategias Bioclimáticas de Diseño Arquitectónico (C-EBioDA). Tucumán. Patente pendiente.
- Garzón, B. S. (2010). Arquitectura Bioclimática. Buenos Aires. Editorial Nobuko.
- Gonzalo, G. E. (1998). Manual de Arquitectura Bioclimática. Buenos Aires. Editorial Nobuko.
- INDEC (19 de abril de 2019). Censo 2010. Instituto Nacional de Estadística y Censos (INDEC). República Argentina. Recuperado de <http://www.indec.gob.ar/indec/web/Nivel4-Tema-2-41-135>
- IRAM 11603 (2012). Clasificación Bioambiental de la República Argentina. 3ª edición. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- IRAM 11605 (1996). Acondicionamiento térmico de edificios. Condiciones de habitabilidad en edificios. Valores máximos de transmitancia térmica en cerramientos opacos. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- IRAM 11601 (2002). Aislamiento térmico de edificios. Métodos de cálculo. Propiedades térmicas de los componentes y elementos de construcción en régimen estacionario. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- IRAM 11507-4 (2010). Carpintería de obra y fachadas integrales livianas. Ventanas exteriores. Parte 4 - Requisitos complementarios. Aislación térmica. 2ª Edición. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).

- IRAM 11604 (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. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- IRAM 11659-2 (2007). Acondicionamiento térmico de edificios. Verificación de sus condiciones higrotérmicas. Ahorro de energía en refrigeración. Parte 2. Edificios para viviendas. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- IRAM 11900 (2017). Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo y etiquetado de eficiencia energética. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- IRAM 11900 (2019). Modificación N°1 a la Norma IRAM 1900:2017-12. Prestaciones energéticas en viviendas. Método de cálculo. Instituto Argentino de Normalización y Certificación (IRAM).
- Kuchen, E.; Plesser, S. y Fisch, M. N. (2011). Eficiencia Energética y Confort en Edificios de Oficina. En: XI ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construido. Rio de Janeiro, Brasil.
- Ministerio de Desarrollo Productivo (22 de marzo de 2019). Aplicativo informático nacional. Programa Nacional de Etiquetado de Viviendas. Gobierno de la República Argentina. Recuperado de <https://etiquetadoviviendas.energia.gob.ar/>
- Secretaría de Gobierno de Energía (5 de agosto de 2019). Etiquetado de viviendas. Secretaría de Gobierno de Energía, Subsecretaría de Energías Renovables y Eficiencia Energética. Recuperado de https://www.argentina.gob.ar/sites/default/files/2019-11_ev2019_informe_tecnico.pdf
- United Nations [UN] (1987). Informe de la Comisión Mundial sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo: Nuestro futuro común. Documentos de las Naciones, Recolección de un Consejo de Administración de Acuerdos Globales. Garzón, B. S. (2010). Arquitectura Bioclimática. Buenos Aires. Editorial NOBUKO
- University of Oregon [UO] (9 de agosto de 2019). Solar Radiation Monitoring Laboratory. Sun path chart program. Recuperado de <http://solardat.uoregon.edu/SunChartProgram.html>