

# CONFORT TÉRMICO Y EL DISEÑO ARQUITECTÓNICO DE VIVIENDAS MULTIFAMILIARES

*THERMAL COMFORT AND THE ARCHITECTURAL DESIGN OF MULTI-FAMILY HOMES*

Carlos Guillermo Vargas Febres <sup>1</sup>, Jannette Delgado Ovando

Recibido: 29/08/2022 y Aceptado: 19/01/2023  
ENERLAC. Volumen VI. Número 2. Diciembre, 2022 (8 - 27)  
ISSN: 2602-8042 (impreso) / 2631-2522 (digital)



Foto de T.H. Chia de Unsplash.

1 Universidad Andina de Cusco. Perú  
[cvargasfebres@hotmail.com](mailto:cvargasfebres@hotmail.com)  
<http://orcid.org/0000-0001-7532-2993>

## RESUMEN

Se buscó establecer la relación entre el bajo confort térmico y el diseño arquitectónico de viviendas multifamiliares en la provincia de Cusco, se aplicó en una primera etapa la estadística descriptiva aplicando los métodos de confort de Fanger y el adaptativo. En la segunda etapa, se analizaron los datos a través de la *t* de *student*. La población de estudio estuvo determinada por las viviendas multifamiliares tipo flat, del muestreo no probabilístico accidental, se evaluó a 64 viviendas en un rango de 65m<sup>2</sup> a 120m<sup>2</sup>, a través de fichas de registro y encuestas aplicadas a los habitantes de las viviendas durante los meses de junio a diciembre.

La temperatura promedio del aire es de 13.81°C muy por debajo del rango admisible, así como la velocidad relativa del aire con 0.81 m/s; finalmente el índice PMV llegó a - 1.70 y PPD de 62% traducido como un bajo confort térmico al interior de la vivienda. Por otro lado, la correlación entre las dimensiones de las variables, arrojó un “*p*” valor de 0.95, Con lo cual concluimos que el diseño arquitectónico de las viviendas se relaciona directamente con el bajo confort térmico de las mismas.

**Palabras clave:** Balance térmico, Diseño arquitectónico, Vivienda

## ABSTRACT

*The aim was to establish the relationship between low thermal comfort and the architectural design of multifamily homes in the province of Cusco. Descriptive statistics were applied in a first stage, applying Fanger's comfort and adaptive methods. In the second stage, the data was analyzed using the student's t. The study population was determined by the flat-type multifamily dwellings, from the accidental non-*



*probability sampling, 64 dwellings in a range of 65m<sup>2</sup> to 120m<sup>2</sup> were evaluated, through registration cards and surveys applied to the inhabitants of the dwellings during the months from June to December. The average air temperature is 13.81°C well below the admissible range, as well as the relative air speed with 0.81 m/s; finally, the PMV index reached - 1.70 and PPD of 62% translated as low thermal comfort inside the home. On the other hand, the correlation between the dimensions of the variables yielded a "p" value of 0.95, with which we conclude that the architectural design of the houses is directly related to their low thermal comfort.*

**Keywords:** *Thermal balance, Architectural design, Housing.*

## INTRODUCCIÓN

Vigo (2017) infiere que el desarrollo individual y social se relaciona significativamente con el nivel de confort que brinda una edificación donde se reside. El hábitat es el espacio que brinda condiciones adecuadas para que viva un individuo y su sociedad. Muchas investigaciones muestran la ventaja en la evolución de los individuos, debida a la fuerte vinculación con su espacio de residencia, también denominado hábitat.

Para el autor, la vivienda, el uso del suelo, la infraestructura y el equipamiento, conforman una estructura indivisible, por lo tanto, define al confort como el estado de bienestar físico, mental y social, variando dependiendo de su edad, sexo, estado físico, aspectos culturales, modos de vida, prácticas cotidianas, etc. Por tanto, una de las necesidades fisiológicas más

preponderantes en los usuarios, es lograr el balance entre el calor producido o ganado y el expulsado por el cuerpo humano que se encuentra en el rango de 36.5 y 37°C de temperatura.

Para (Barrionuevo & Espinoza, 2005) plantea que las principales ciudades del Perú son poblaciones costeras, en tal sentido no poseen climas extremos, razón por la cual no observan al confort térmico como una necesidad para las viviendas proyectadas en la actualidad, sin embargo existen ciudades peruanas como el Cusco que se han hecho más visible los efectos de los cambios climáticos como el friaje extremo en comunidades alto andinas.

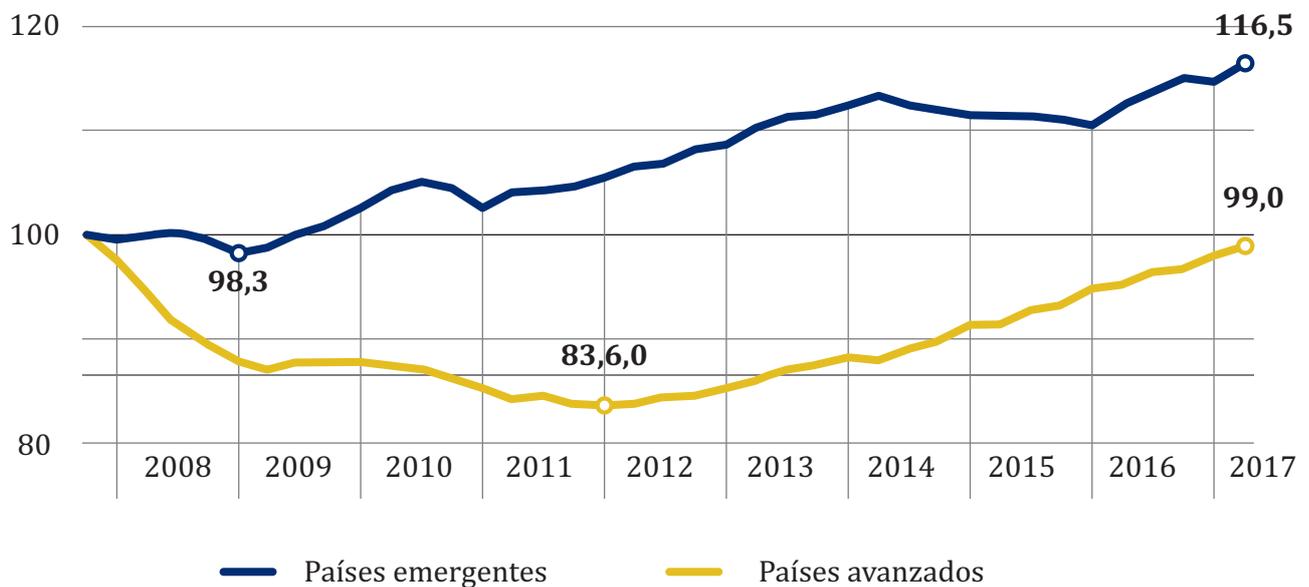
La carencia de estudios adecuados sobre el confort en las viviendas, determina la falta de conocimiento de los problemas que genera vivir en climas extremadamente fríos como el del Cusco, estos problemas producen mortandad por enfermedades respiratorias, restricción de actividades nocturnas, depresión, etc.

## Descripción del problema

La habitabilidad de la vivienda, posee una relación proporcional con la calidad de la misma; ésta deberá de poseer un conjunto de condiciones físicas y no físicas velen por la vida humana en condiciones de dignidad dentro de las edificaciones proyectadas. Por ende, la búsqueda del confort térmico en las viviendas debe ser un objetivo importante al momento de diseñar viviendas multifamiliares en ciudades de climas extremos como la del Cusco.

La década del 2002 al 2012 a nivel internacional el sector construcción desarrollo el llamado "Bum de la construcción" sustentado por el bum inmobiliario que en países desarrollados se vio menguado por la crisis internacional; sin embargo, los precios de las viviendas vienen recuperando como se observa en la figura 1. Los precios de las viviendas en las economías desarrolladas alcanzaban apenas el 1% por debajo de su valor real a finales del 2007.

Figura 1. El precio de la vivienda el mundo



Fuente: Banco de pagos internacionales 2017

Para (Blazquez, 2018), expone que los expertos del sector construcción establecen que la compraventa de viviendas subió en abril al 29.7% respecto al mismo mes de 2017, considerando 42014 compraventas. El diario a través de Ismael Clemente establece que los activos inmobiliarios españoles son altos para atraer la inversión internacional y que aún se pronostica beneficios para los años 2019 y 2020.

Sin embargo, después de la crisis económica europea, países como España muestran cifras positivas de recuperación, la evidencia es el incremento de la inversión pública y privada en el sector vivienda, en la que programas de viviendas sociales, así como el mercado inmobiliario presentan movientes en cifras azules.

Para el (Diario Gestión, 2015), el bum inmobiliario en el Perú se desarrolló desde el año 2000 impulsado por el Fondo Mi Vivienda, quien puso al alcance de la clase media peruana créditos hipotecarios para la compra de viviendas tipo departamentos. Este sistema se sustenta mediante el subsidio del estado que desembolsa a los bancos con una menor tasa que se viera

reflejada directamente en una menor tasa a los beneficiarios.

Zubiarte (2015) menciona que hasta el 2002, la venta de viviendas en Lima y Callao solo alcanzó a las 3000 viviendas al año y que para el 2012 crecieron hasta 22000 anualmente. Deduciendo un crecimiento acumulado promedio de 19% durante 10 años. Para el año 2008 y 2009 se presenta la crisis financiera internacional por lo cual se comienza hablar de la creciente burbuja inmobiliaria ocurridas sobre todo en España y Estados Unidos.

Este término se encuentra ligado al crecimiento de las ventas y sobre todo los precios de las viviendas en corto tiempo, en tal sentido llega un momento en que dichos precios caen abruptamente. Sin embargo, el autor menciona que dicha burbuja inmobiliaria no es del todo cierta en el Perú ya que los precios de las viviendas vienen creciendo después de décadas de depreciación del suelo e inmuebles, según se aprecia en la figura 3. Es decir que, pese a la desaceleración en las ventas de departamentos, los precios no han bajado

sustancialmente, debido a la alta demanda insatisfecha que responde al déficit cercano a los dos millones de viviendas, y que por año solo son construidas 50.000 de éstas.

Del mismo modo (Lozano, 2018), analiza el mercado inmobiliario encontrando que para enero de este año los créditos hipotecarios llegaron a los S/. 41.342 millones marcando un crecimiento de 8.17% comparado al año 2017. Un indicador favorable es que solo en enero se registraron 900 unidades de departamentos vendidas en lima metropolitana, y queda como oferta 17.218 departamentos disponibles.

**El cemento es uno de los material más utilizados para los pisos de viviendas y con menos coeficiente de retención calorífica. En climas como el del Cusco no colabora al confort térmico interior, sino por el contrario, incrementa la sensación de frío de los habitantes.**

Tal como se aprecia la evolución del mercado inmobiliario se viene recuperando en el Perú, sin embargo, de la mala experiencia de la crisis no se aprendió la lección en la que no solo el mercado, sino que la sociedad viene exigiendo mayor calidad de las viviendas que las inmobiliarias vienen ofreciendo.

Se continúa ofreciendo la misma tipología de multifamiliares, con los mismos tipos de acabados, el mismo sistema constructivo y lo que es el centro de nuestra investigación, es la

cantidad y principalmente la calidad de los acabados interiores que se vinculan directamente con el confort térmico de los habitantes. Tan es así que de la encuesta que realizamos para el involucramiento del problema, se determinó que más del 80% de usuarios se encuentra disconforme con la sensación térmica y acústica de sus departamentos que habitan.

Existen algunos esfuerzos por contrarrestar las malas estadísticas de satisfacción de viviendas multifamiliares, así en Arequipa se ofertó este año 300 departamentos eco sostenibles que ahorran agua y energía eléctrica. Las denominadas viviendas verdes incorporan criterios de sostenibilidad en su diseño y construcción, reduciendo el impacto al medioambiente son la consecuente reducción de costos de consumo de luz y agua de por lo menos 30%, El área de los departamentos oscila entre los 83 m<sup>2</sup> y 184 m<sup>2</sup> tipo dúplex. (Mercados & Regiones, 2018)

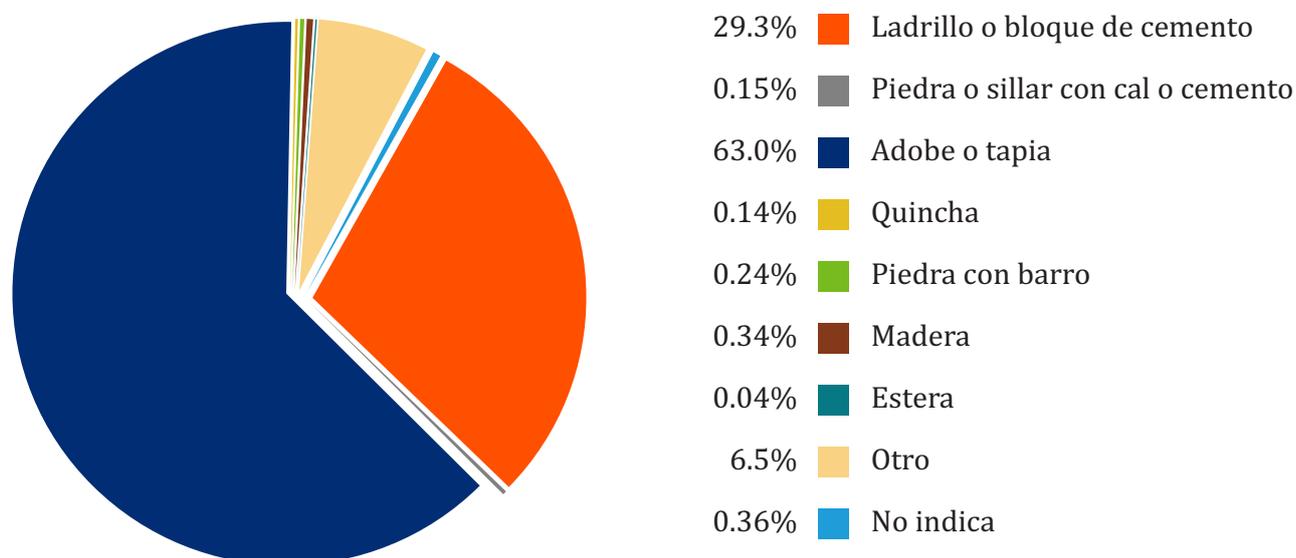
De igual forma (Mercados & Regiones, 2016), expone que Arequipa necesitará en los próximos tres años por lo menos 20 mil viviendas nuevas, dicha cifra se extrae de lo manifestado por la directora comercial de Adondevivir, Gisella Postigo.

El programa arquitectónico para el diseño de estas viviendas, contempla espacios en los que se establecen variaciones ambientales térmicas, luminosas y acústicas, y en condiciones inadecuadas, los usuarios de éstos, pueden desarrollar estrés en sus sistema de percepción, llegando a alterar el ciclo de sueño e incluso desestabilizar el sistema nervioso (Chavez del Valle, 2002). Estos desequilibrios los podemos encontrar en espacios en donde se dan condiciones extremas como los ambientes de las viviendas multifamiliares que debido al bum inmobiliario y la búsqueda de la optimización de espacios se traducen en áreas mínimas en las que el contacto con el exterior es mínimo, por lo que la iluminación artificial, así como sistema de calefacción en zonas de sierra como la del Cusco es un denominador común.

Para (Diario Gestión, 2013), afirma se ha pasado de un boom de inversiones hoteleras a uno en el sector inmobiliario, para la fecha de la publicación no había nuevos proyectos hoteleros en Cusco en las categorías de tres, cuatro o cinco estrellas. Menciona que existen más de 70 proyectos de vivienda que están ejecutando en este momento; la ubicación de los proyectos radica en zonas residenciales como Santa Mónica, Magisterio, Manuel Prado y Larapa en donde el valor del departamento se da en el rango de los US\$ 200 mil a US\$ 250mil.

Sin embargo, el lado oscuro de estas cifras, se encuentra en que solo el 25% de estos proyectos inmobiliarios se encuentra a cargo de empresas formales de capitales cusqueños y arequipeños. Según (Fondo Mi Vivienda, 2010), en su informe referido al mercado inmobiliario en la ciudad de Cusco, encuentra que los materiales más utilizados a nivel general de las viviendas es el adobe y el ladrillo o bloque de cemento (bloqueta); sin embargo para el caso de departamentos multifamiliares, las paredes tiene la exclusividad de ser edificadas con ladrillos o bloquetas.

Figura 2. Materiales de paredes (Suma 100.07%)



Fuente: Censos Nacionales XI de Población y VI de Vivienda 2007 – INEI.

Un fenómeno muy parecido pero que evidencia de mejor manera la problemática demuestra investigación es que el material más usado para los pisos de viviendas en general es el de cemento el cual es uno de los materiales con menos coeficiente de retención calorífica y en climas como el del Cusco no colabora al confort térmico interior, sino por el contrario, incrementa la sensación de frío de los habitantes.

**El hábitat es el espacio que brinda condiciones adecuadas para que viva un individuo y su sociedad.**

Figura 3. Ejemplos de viviendas multifamiliares en la ciudad de Cusco



Fuente: Elaboración propia.

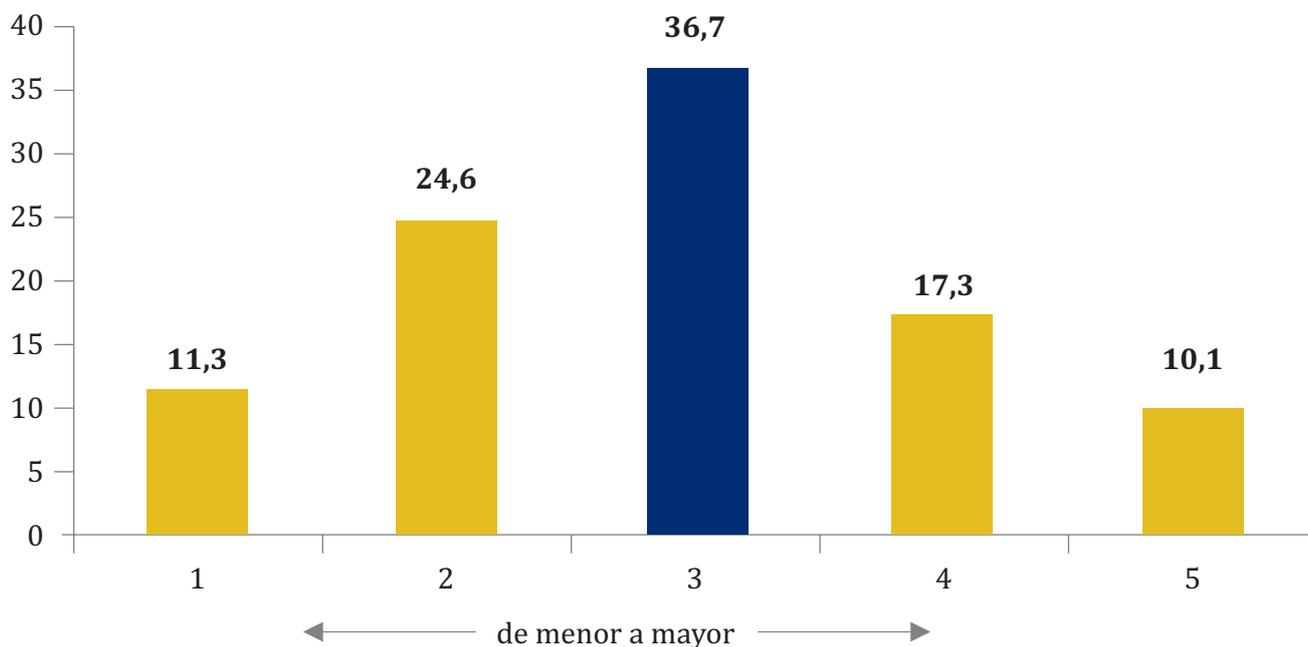
Adicionalmente se desprende de la información que en las viviendas tipo departamentos (multifamiliares) el material de piso más utilizado es losetas, terrazos o similares (cerámicos y porcelanato), dichos materiales en la última década han cobrado gran importancia al ser elegidos por su funcionalidad al momento de hacer limpieza del hogar, el precio accesible por la procedencia china de fabricación, y por la estética que brindan dichos proyectos.

Las inmobiliarias en el Cusco tienen estandarizados los acabados tanto en pisos, muros, cubiertas y envolventes, en tal sentido el diagnóstico de la problemática es una característica común de estas edificaciones. Nuestra investigación busca relacionar el espacio arquitectónico proyectado y el nivel de confort de sus habitantes, por ende, nuestra población de estudio estará determinada por los departamentos construidos dentro de edificios residenciales multifamiliares.

Por otro lado, el informe nos brinda valiosa información referida al promedio de conformación de miembros de una familia cusqueña en donde el 27% de hogares posee 015 habitantes entendiéndolos como padre, madre e hijos, en algunos casos se registra la presencia

La principal fuente de nuestra investigación radica en la estadística referida a la satisfacción de los usuarios con sus departamentos, donde el 36.7% de familias declaran sentirse medianamente satisfecha mientras que el 35.9% se encuentra insatisfecha con su actual departamento; es decir que más del 50% de familias no recibe el producto inmobiliario que esperaba. Sin embargo, las causas de la insatisfacción de estas viviendas son diversas, el precio por metro cuadrado, la ubicación, los vecinos del edificio, pero de singular manera es el inadecuado confort térmico y acústico que sienten al interior de sus viviendas.

Figura 4. Nivel de satisfacción con la vivienda actual



Fuente: Oficina de Estudios Económicos, Planeamiento y Presupuesto – Fondo MIVIVIENDA S.A.

### Estado del arte

Solis Villafaña (2015), en su tesis de pos grado para la obtención de datos, su diseño metodológico partió por el desarrollo de formatos para la obtención de datos, diseño de hoja de cálculo en software Excel, el análisis estadístico de las temperaturas neutras obtenidas, el cálculo de la temperatura neutral y rangos de confort de la vivienda rural sustentable, comparación de los resultados obtenidos del modelo holístico utilizando la ecuación de A. Auliciems. De las conclusiones a las que llegó el investigador se desprende que la temperatura neutral de las mujeres externas a la comunidad de estudio, no hay una diferencia significativa con aquellas mujeres locales; ésta diferencia se encuentra en el rango de 0.31978 a 3.7387°C en el mes más cálido y para el mes más frío es de -0.101 y 4.385°C. Finalmente, el resultado más sobresaliente radica en que la habitación, el vestíbulo y los servicios higiénicos son los espacios que presentan mejor confort térmico.

Según Hernández & Lesino (2014), desarrollan la simulación de un prototipo de vivienda liviana utilizando una metodología a seguir que incorporen ganancias auxiliares de calor (estufas o luminarias); dentro de la validación del modelo mediante valores medidos en un mes. De los resultados se destaca la necesidad de recurrir en calefacción auxiliar en los locales habitables ya que, de las temperaturas medias, las viviendas se encuentran por debajo del rango de confort térmico teórico de invierno. El modelo permite predecir el confort en temporada de verano utilizando datos meteorológicos.

Henriquez Cortez (2014), en su investigación encuentra que las características de aislamiento son mínimas en viviendas sociales, e incluso por debajo del costo de viviendas promedio; de la experimentación, concluye que al agregar superficie de ventana orientada al norte descende el consumo por calefacción en un rango de 20 kwh/m<sup>2</sup>.

Iturre Campiño (2013), en su tesis analizó el confort térmico mediante la integración de dos principios de interpretación térmica; el “adaptativo” considerando a la física y la fisiología, trabajando con la percepción térmica del individuo, geográficas y culturales y el “estático”, donde la persona es vista como receptor pasivo de estímulos térmicos tomando en cuenta la lógica del balance térmico. En los resultados obtenidos se midió la humedad relativa, velocidad del viento y temperatura. Estos datos se correlacionaron con temperaturas promedios mensuales del aire mediante el índice de Fanger. De las conclusiones de la tesis se desprende que las viviendas estudiadas presentan un alto porcentaje de desconfort térmico.

Castañeda Nolasco & Ruiz Torres (2013), estudian el comportamiento y confort térmico en la vivienda de la ciudad rural en el que, para la variable de comportamiento térmico, se tomaron las dimensiones de temperatura de Bulbo Seco (TBS) y Temperatura Superficial Interior (TSI); y para el estudio del confort térmico se utilizó el enfoque adaptativo aplicando el cuestionario diseñado con la norma ISO 10551 como instrumentos de recolección de datos.

(Mercado, Esteves, & Filippin, 2010), manifiesta que el estado argentino entrega el 30% de viviendas en la ciudad de Mendoza, por lo que esta investigación evalúa la calidad térmico – energética, el requerimiento energético necesario por medio de un balance, la simulación de la vivienda en el software SIMEDIF, y el sondeo cualitativo de las sensaciones térmicas. Del análisis se desprende que la edificación presenta un déficit en su rendimiento térmico energético que se diferencia con lo calculado por el programa y que las simulaciones de mejoras obtienen un 35.6% de ahorro de energía auxiliar.

Filippin & Flores (2005), describe la tecnología y el comportamiento térmico y energético de una vivienda convencional que se ubica en la ciudad Santa Rosa en un ambiente de baja densidad de edificación; los resultados del monitoreo térmico que fue realizado utilizando el software

SIMEDIF para Windows, tomando muestras antes de la mejora e envolventes y mayor superficie de ganancia directa y se encontró que la resistencia térmica permite incrementar en 4.6°C a temperatura media interior de la vivienda demostrando un ahorro de 66% del consumo de gas para la calefacción.

Gelardi D. (2003), expone el contenido y desarrollo del programa de optimización de viviendas fundado en el balance térmico invierno/verano, dicha propuesta viene siendo utilizada en los talleres de Tesis de Grado por los alumnos de Arquitectura en el Instituto de Estudios para el Medio Ambiente de Mendoza, Argentina. El programa utiliza el software Excel que le permite elegir desde el proyecto, los valores previamente establecido o en su defecto solicita el valor calculado en base a un conocimiento específico. Este programa permite a los proyectistas prever el confort térmico que se encontrará en las edificaciones de vivienda previas a su construcción.

Del mismo lado, Bravo & Gonzalez - Cruz (2003) realizan el estudio referente al confort térmico en viviendas ventiladas naturalmente y con la característica de construcción ligera, considerando clima cálido y húmedo, diferentes al de nuestro estudio pero que servirán como referencia metodológica. El objetivo del estudio fue buscar los estándares locales sobre confort térmico para el diseño y materialización de edificaciones. Al igual que el anterior antecedente, este estudio utiliza la metodología adaptativa que establece las temperaturas térmicas comfortable; estos resultados fueron correlacionados con las temperaturas promedios mensuales del aire exterior de los últimos 4 años y las temperaturas promedios del globo.

Hernandez Córdova (2011), estudian el confort térmico en viviendas sociales en las que encuentran que éstas no se encuentran diseñadas de manera adecuada ya que los materiales con las que fueron construidas y los criterios de diseño como el asoleamiento, orientación y ubicación, los cuales inciden de manera significativa

en la ganancia de calor. Para la temperatura más alta se registró el día 21 de julio a las 19:00 horas con 51°C, por otro lado, el porcentaje de humedad interior; registro sus datos más altos en la época de invierno, específicamente en los meses de junio, julio y agosto; para el confort térmico, existe meses como julio en los que arrojo cero horas de confort; finalmente el consumo de energía se da en los meses de verano por el uso del aire acondicionado.

Cabrerizo Barrientos (2012), realiza el estudio en la ciudad de Cochabamba, muy similar a las condiciones climatológicas del Cusco, se buscó evaluar el confort térmico de viviendas construidas con ladrillos cerámicos identificando sus características. Se tomó en cuenta las dimensiones externas medioambientales, internas (envolventes), parámetros arquitectónicos y al hombre como usuario; del análisis se determina que los cerramientos opacos (acristalamientos) son fuentes excesivas de pérdidas de calor. La ganancia de calor vía radiación solar es mínima, los muros orientados al sur deben reducir la pérdida calorífica, la humedad relativa es muy baja y la ventilación cruzada debe mejorar en épocas de verano.

Ruiz Torres (2007) en la investigación relacional de confort térmico encontró que la correlación de datos de sensación térmica del ambiente y la temperatura de bulbo seco (TBS), es decir mientras esta temperatura se eleva, también crece la sensación térmica de las personas, teniendo una temperatura neutral de 26.2°C tal como se puede apreciar en el cuadro.

## MARCO TEÓRICO

### Confort Térmico

Para la Norma ISO 7730 lo define como “La condición de la mente en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” esto significa que el ser humano evalúa un espacio confortable cuando no exista ninguna incomodidad térmica; es decir la neutralidad térmica.

A un inicio la visión positivista del conocimiento, empujó a estudiar desde un enfoque cuantitativo, con la medición de indicadores físicos, por otro lado, el término de sensación térmica es introducido en la discusión debido a la falta de claridad de la información numérica del problema y a la diversidad de sujetos o usuarios que responden a diferentes estímulos y cuyo proceso de equilibrio térmico se da de diferentes maneras. Esta búsqueda tuvo resultados altamente exitosos en sistemas con pocas variables y dimensiones que buscan la generalización de los resultados y principios universalmente aceptados.

Para esto diferentes bioclimatólogos han utilizado modelos matemáticos que buscan alcanzar estándares de condiciones climáticas admitidas como confortables por los habitantes. Así para (Mondelo, 2001) el balance térmico se determina cuando el valor cero representa la condición del cuerpo cuando no gana ni cede calor; esta definición se pone de manifiesto mediante la siguiente ecuación:

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

*M* = Energía metabólica producida por el organismo.

*C<sub>res</sub>* = Intercambio de calor por convección respiratoria.

*W* = Trabajo mecánico desarrollado.

*E<sub>d</sub>* = Pérdida de calor por difusión del calor.

*R* = Intercambio de calor por radiación.

*C<sub>cond</sub>* = Intercambio de calor por conducción.

*C* = Intercambio de calor por convección.

*C<sub>cond.clo</sub>* = Conducción a través del vestido.

*E* = Pérdida de calor por evaporación de sudor.

*A* = Pérdida o ganancia de calor por el cuerpo.

Si el resultado se aleja del cero y se acerca a cifras negativas, la persona manifiesta sensación objetiva de incomodidad, considerada como balance negativo o sensación térmica de frío; mientras que si el valor se aleja del cero hacia el margen positivo se considerará como sensación térmica de calor. Es decir, la manifestación de insatisfacción se da sólo a través de la medición cuantitativa y a través de instrumentos y modelos matemáticos pre establecidos, sin considerar la opinión o sentir de las personas que habitan las edificaciones.

Al ser una postura biológica y físico química, uniformiza y equipara a todos los seres humanos y determina patrones de confort térmico, por lo que se le denomina “enfoque de aproximación racional” que establece índices de aplicación global. (Houghton & Miller, 1925)

Para Martínez García (2016), define al confort térmico como una exposición relativa de la conformidad o satisfacción de los usuarios con el ambiente térmico predominante. La también llamada satisfacción neutra radica cuando los habitantes no manifiestan sensación de calor o frío; todo esto enmarcado a las cifras de temperatura, humedad velocidad del aire.

**Nuestra investigación radica en la estadística referida a la satisfacción de los usuarios con sus departamentos: 36.7% - medianamente satisfechos, 35.9% - insatisfechos con su actual departamento. Es decir más del 50% de familias no recibe el producto inmobiliario que esperaba.**

El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático IPCC por sus siglas en inglés, evidencia que el sector construcción es una de las áreas fundamentales donde se deben impulsar innovaciones en el corto plazo, con la estrategia final del diseño solar pasivo y activo, como elemento fundamental para la calefacción y enfriamiento de las edificaciones (Gómez Azpeitia, Bojórquez Morales, & Ruiz Torres, 2007).

Una vez que se abandona el paradigma positivista, surge un enfoque que cobija lo cuantitativo y lo cualitativo, donde se deja de lado la medición solo de las condiciones del ambiente térmico y se traslada al concepto del estado físico de las personas donde el valor del confort térmico no solo se expresa en cifras numéricas, sino que se considera unidades adimensionales que pronostica lo que una persona con vestimenta promedio y actividades físicas determinadas.

### **Teoría del Balance Térmico o Método de Fanger**

También llamado modelo estático o constante, se entrelaza con la teoría fisiológica y la termorregulación estableciendo rangos de temperatura de confort.

Esta ecuación plantea la conversión de la carga térmica acumulada en el cuerpo por una intención de voto, denominado Voto Medio Previsto (Predicted Mean Vote PMV), cuya ecuación es:

$$PMV = (0.303e - 0.036M + 0.025) Lo, \text{ donde:}$$

$PMV$  = Voto medio previsto.

$Lo$  = Acumulación de calor en el cuerpo.

$M$  = Tasa metabólica.

De igual forma plantea un segundo índice de medición denominado “Porcentaje Previsto de Personas Insatisfechas” (*Predicted percentage dissatisfied*, PPD) obteniendo la relación

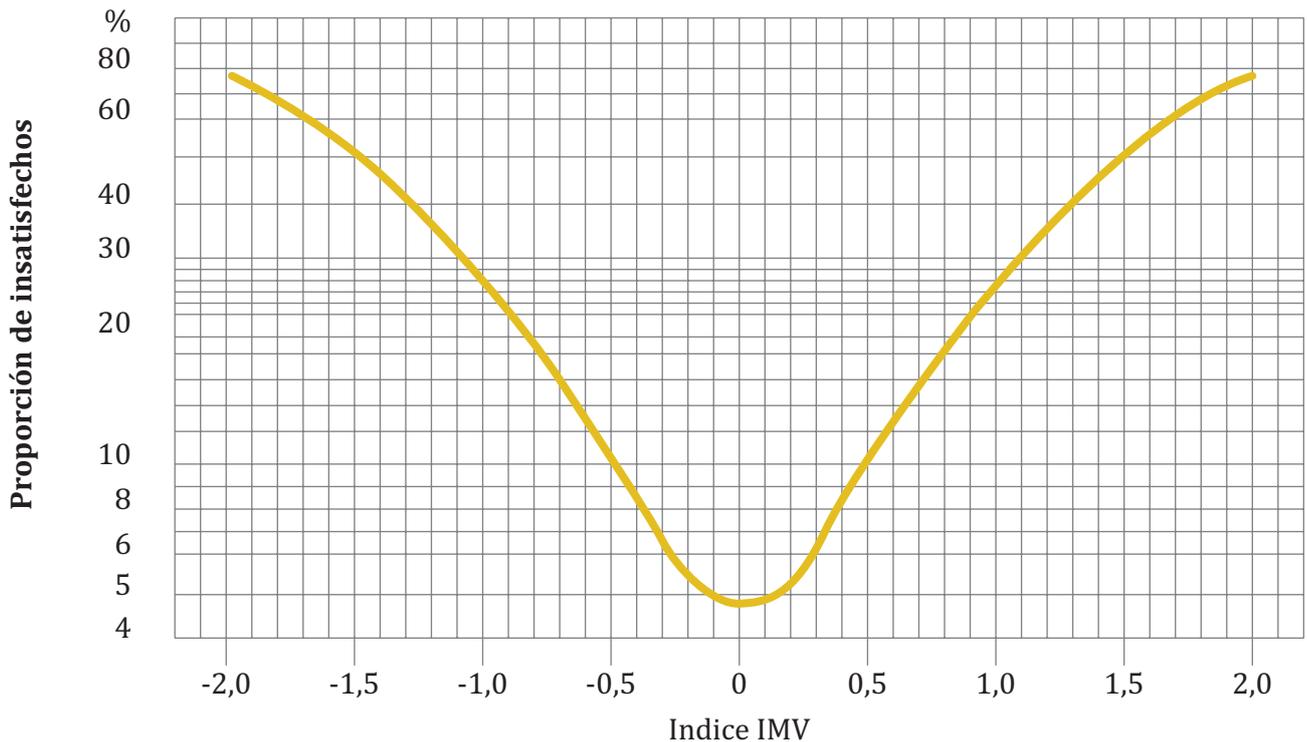
que: mientras el PMV se aleja del valor neutral, el PPD se incrementa. Por tanto, la adición de la subjetividad de la opinión personal en conjunto con la transferencia de calor del cuerpo y el ambiente. Para esto se define en la siguiente ecuación:

$$PPD = 100 - 95e^{-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)}$$

*PPD* = Porcentaje previsto de personas insatisfechas.

*PMV* = Voto medio previsto.

Figura 5. Proporción prevista de personas insatisfechas en función del valor del índice IMV



Fuente: (Fanger, 1972)

Si bien es cierto este modelo es aceptado internacionalmente para medir el confort térmico en interiores, sin embargo, la estructura del modelo es estacionario, por lo que no se toman en cuenta las variaciones de temperatura en el transcurrir del día. Por esta razón es que en la actualidad se cuestiona o por lo menos se plantean modelos alternativos que engloben de mejor manera la medición del confort térmico real en ambientes interiores.

Según Schiavon & Melijov (2008) las investigaciones desarrolladas en cámaras climáticas (método Fanger), no permiten los seres humanos la denominada “experiencia de realismo”, esto a partir de que los ambientes son cambian-

tes, no controlables a diferencia de los experimentados en estudios de laboratorios.

### Método Adaptativo

Para Dear (2010), proviene de estudios de campo cuya finalidad fue examinar la real aceptabilidad de ambientes térmicos cuya dependencia directa con el contexto, el comportamiento de los habitantes y sus expectativas son información primordial para éste método. Por ende, la definición de adaptación deberá entenderse, como la disminución gradual de la respuesta del cuerpo humano a una estimulación repetida del ambiente.

Este método se basa en el estudio denominado ASHRAE RP – 884 donde se analizaron 210000 muestras de 160 edificaciones con sistemas de ventilación natural, es decir, similares a las viviendas multifamiliares objeto de nuestro estudio. De la investigación se concluye que existe una relación a que la temperatura de neutralidad térmica se incrementa a medida que incrementa la temperatura exterior. Por tanto, la experiencia térmica identifica inconscientemente que en espacios exteriores o interiores que se relacionan con el exterior, el ambiente denota modificaciones térmicas frecuentes.

Se entiende este modelo como un enfoque estático, un parámetro psicofísico en las edificaciones con ventilación natural como las que se presentan en los departamentos multifamiliares en Latinoamérica y puntualmente en regiones frías como la de Cusco. Este método se plasma en el Reglamento de Instalaciones Térmicas de Edificios (RITE) y precisada en la UNE-EN ISO 7730 donde se establece la evaluación de las condiciones térmicas interiores en edificios.

Se introduce nuevas dimensiones en la medición del confort térmico, que a través del confort estático mide la temperatura operativa y humedad relativa se establecen en base a la actividad metabólica, aislamiento de la vestimenta y el porcentaje previsto de insatisfacción.

El modelo de adaptación fisiológica UTCI es un índice concertado por expertos en la *Action COST 730* bajo el amparo de la Comisión de Climatología de la Organización Mundial de Meteorología, WMO. Esto se resume en la siguiente ecuación:

$$T_{comf} = 0.31 * T_{a, out} + 17.8$$

De aquí se obtuvieron los límites de confort para una aceptabilidad del 90 y 80%; éstos se valida parte de la teoría de Fanger en la que establece que la sensación térmica media (PMV) entre -0.85 y +0.85 se relaciona direc-

tamente con el porcentaje de insatisfechos previsto (PPD) del 20% y a su vez un PMV entre -0.5 y +0.5 se relaciona con un PPD del 10%.

## METODOLOGÍA

La investigación se desarrolló siguiendo las siguientes etapas establecidas por el método de Fanger (1972)

Recopilación de datos: Esto se da a través del registro de datos cuantitativos y cualitativos levantados a partir de la ficha de registro y la encuesta. La información relevante en el estudio se basa en: a) Aislamiento de la ropa de los habitantes en el entorno, b) tasa metabólica de la actividad desarrollada y c) Características ambientales del entorno como la temperatura del aire, la temperatura radiante, humedad relativa o presión parcial de agua y la velocidad relativa del aire.

Cálculo del Voto medio Estimado (PMV)

Cálculo del porcentaje estimado de insatisfechos (PPD) a partir del valor PMV

Análisis de resultados determinando la valoración de la situación (satisfactoria o no adecuada) éste análisis de comparar con el balance térmico correspondiente a las condiciones evaluadas.

Para entender que los resultados son admisibles, se deberá comparar con los niveles establecidos en la norma ISO 7730 "Ergonomía del ambiente térmico". De la norma se desprende que el Voto medio estimado (PMV) evaluará los ambientes térmicos siempre y cuando se encuentren dentro de los siguientes rangos.

Tasa metabólica: 46 y 232 W/m<sup>2</sup> (entre 0,8 met. Y 4 met). Instrumento a utilizar: Encuesta

Aislamiento de la ropa entre 0 y 0,31 m<sup>2</sup> K/W (0 clo. Y 2 clo). Instrumento a utilizar: Encuesta

Temperatura del aire entre 10°C y 30°C.  
 Instrumento a utilizar: Termómetro

Temperatura Radiante media entre 10°C y 40°C.  
 Instrumento a utilizar: Termómetro de Globo

Velocidad del aire entre 0 m/s y 1 m/s. Instru-  
 mento a utilizar: Anemómetro

Humedad Relativa entre el 30% y 70%.  
 Instrumento a utilizar: Anemómetro

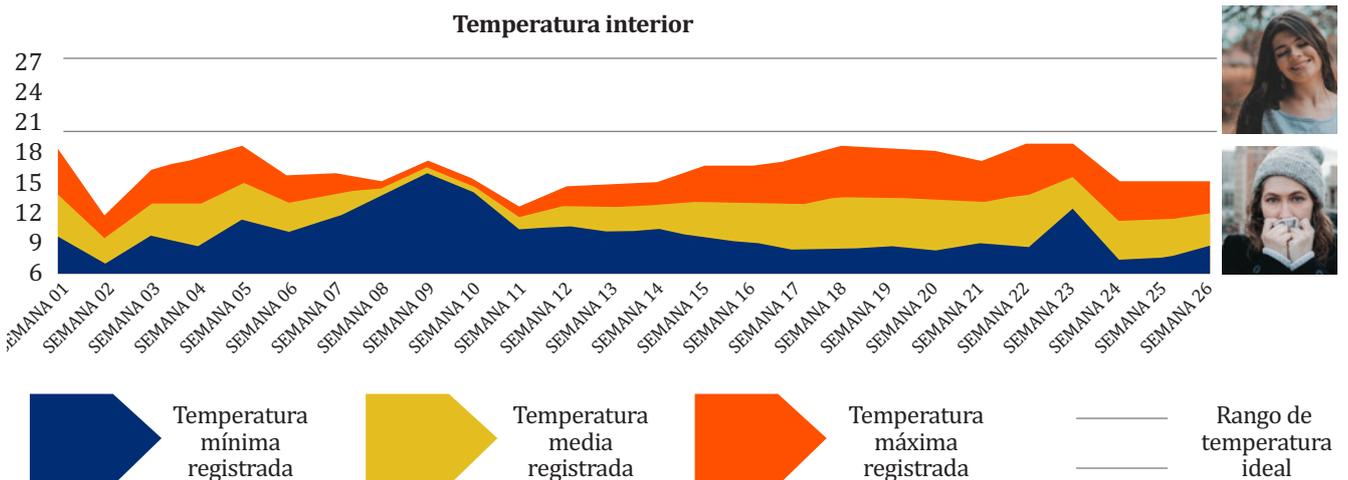
El análisis de datos se realizó mediante el soft-  
 ware SPSS, en la que teniendo en cuenta que  
 se tienen la variable independiente “diseño  
 arquitectónico” (cualitativa) y la dependiente

“confort térmico”, (cuantitativa); es que se optó  
 por la t de Student, mediante la comparación  
 de medias, con un intervalo de confianza del  
 95% y un error de significancia del 5% como  
 prueba de hipótesis más adecuada.

## RESULTADOS

La presentación de resultados se ofrece a través  
 de gráficos en la línea de tiempo donde se realizó  
 la investigación, cabe mencionar que en todas las  
 dimensiones se tomará las medidas máximas,  
 mínimas, la media y comparadas con las míni-  
 mas y máximas permitidas. Esto dará luces  
 del grado de confort en cada una de las dimen-  
 siones de estudio.

Figura 6. Temperatura del aire

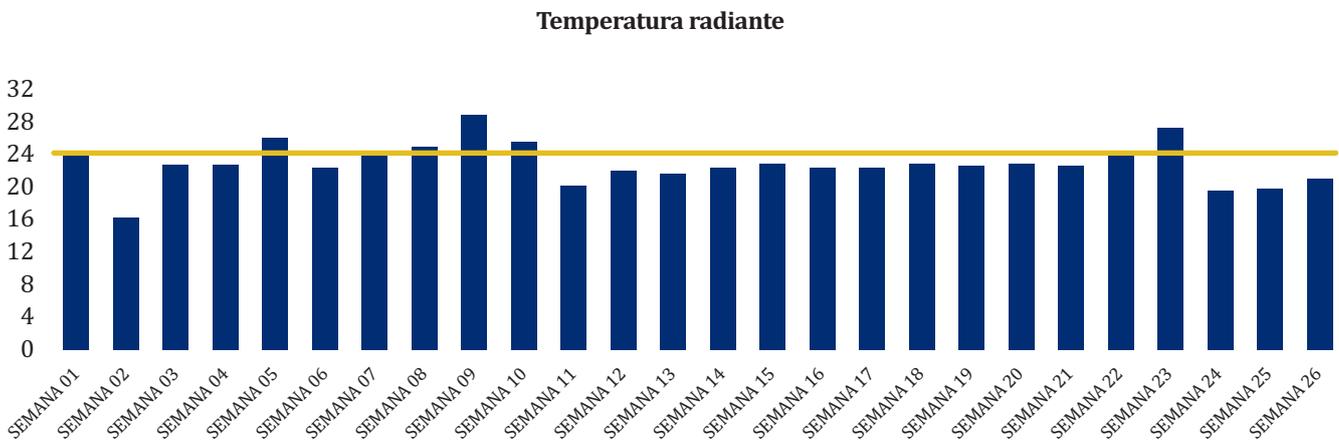


Fuente: Elaboración propia.

Los límites permisibles referidos a la tempe-  
 ratura del aire en espacios interiores (vivienda)  
 se encuentran en el rango de los 17°C y los  
 27°C para ser considerado como adecuado, sin  
 embargo, de los datos encontrados se puede  
 apreciar que la temperatura media del aire  
 se encuentra por debajo de los 15°C, es decir  
 fuera del límite inferior requerido.

**Ambos métodos  
 confirman la hipótesis  
 investigativa en la que  
 el diseño arquitectónico de  
 dichos departamentos,  
 no permite alcanzar el  
 nivel de Confort Térmico  
 adecuado para sus  
 habitantes.**

Figura 7. Temperatura Radiante Media

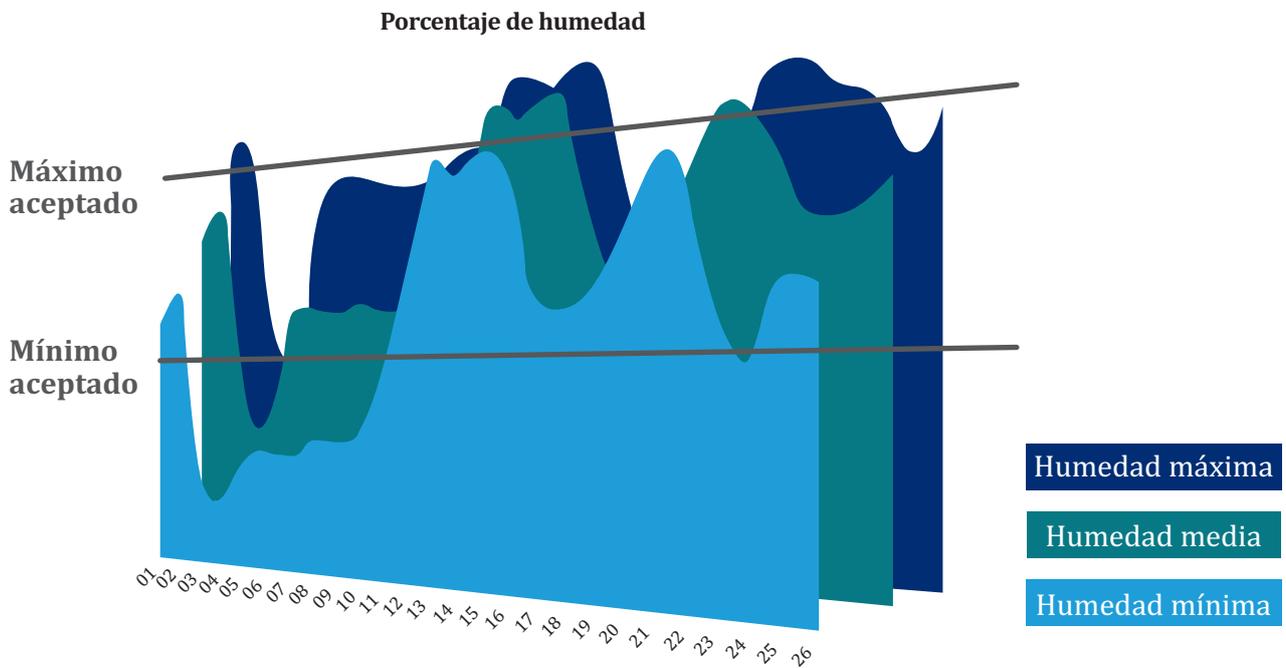


Fuente: Elaboración propia.

De la dimensión Temperatura Radiante media, donde se involucra la temperatura de Globo como indicador de corrección real, se puede apreciar que solo en el mes de septiembre, los resultados se encuentran por encima del

límite medio esperado, es decir que la mayor parte de la estación de invierno, las viviendas tipo departamentos, no poseen una adecuada temperatura radiante media.

Figura 8. Humedad del Aire

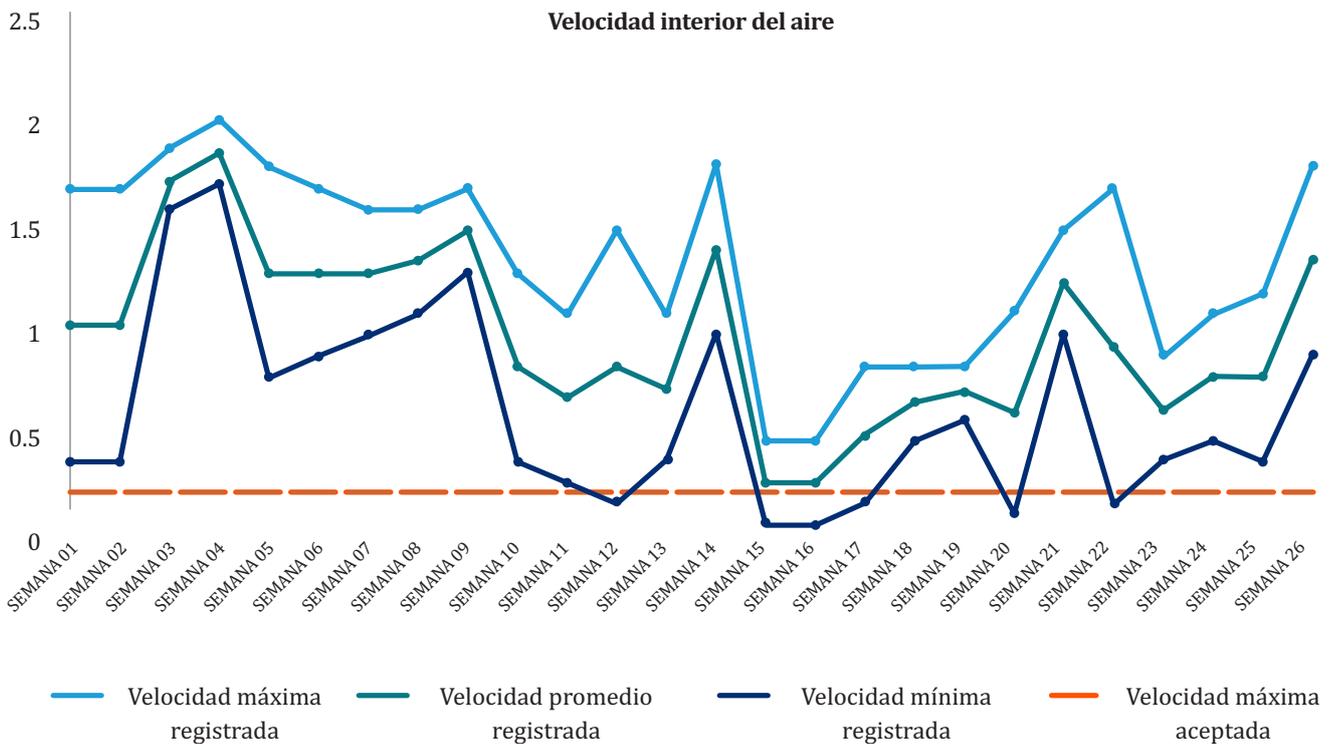


Fuente: Elaboración propia.

En el caso de la humedad relativa media, sucede un fenómeno diferente al de la temperatura, donde los meses pico se encuentran en las semanas de octubre y noviembre, presentan altos

porcentajes de humedad, estos por encima de los límites admisibles y por el contrario en los meses de julio y agosto, los resultados muestran estar por debajo del límite mínimo requerido

Figura 9. Velocidad del Aire



Fuente: Elaboración propia.

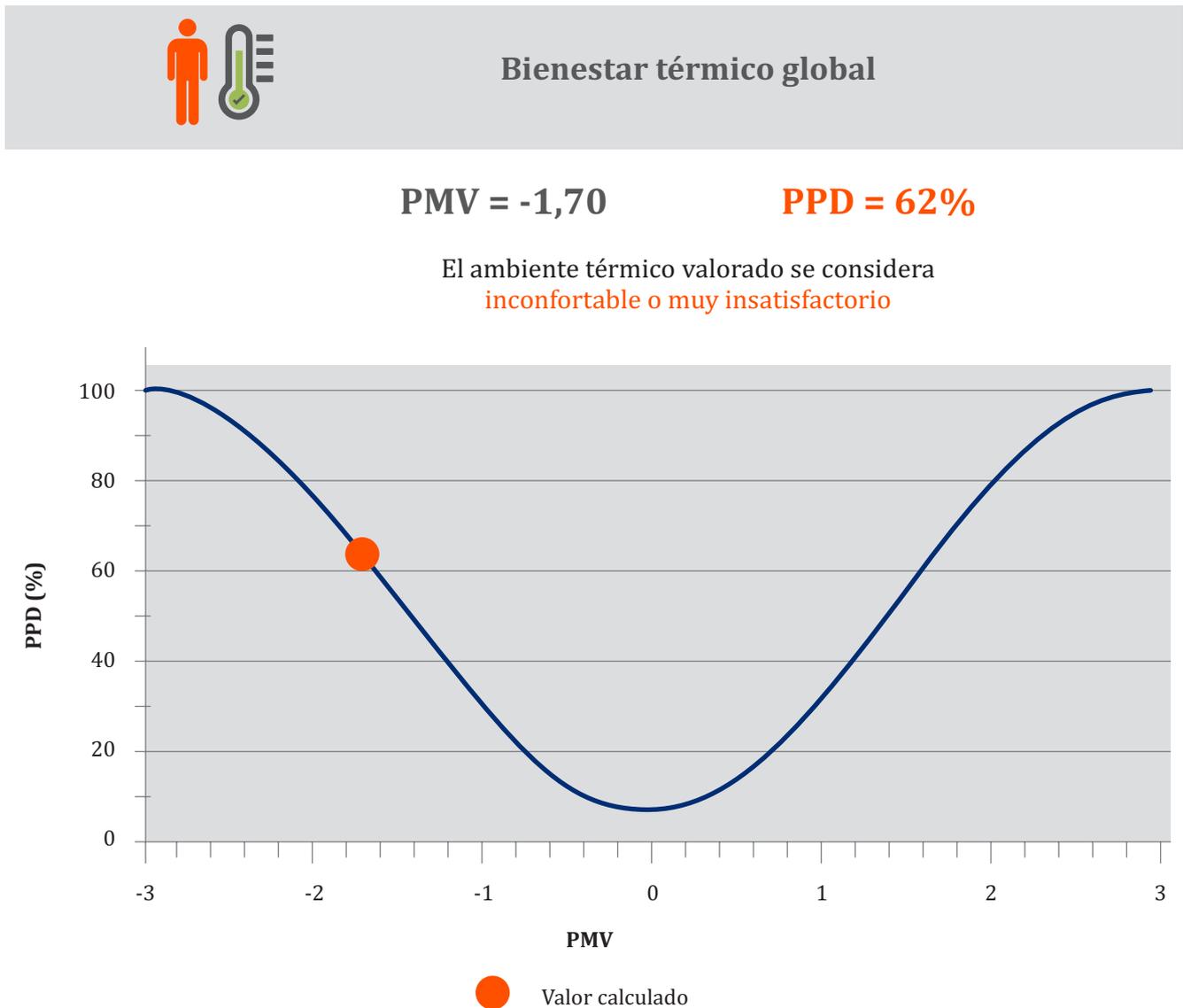
La velocidad del aire es una de las dimensiones donde se presentan mayores variaciones comparativas con los parámetros establecidos en el marco teórico, así el mes de agosto conocido como el mes de los vientos en el Cusco, es la temporada donde se presenta los más altos índices de velocidad del viento en ambientes interiores; esto quiere decir que principalmente las fachadas de las viviendas presentan ventanales que permiten el ingreso de corrientes de viento. Del mismo lado, la orientación de las fachadas o ambientes predominantes, son enfocados en dirección frontal hacia los vientos predominantes de la ciudad, esto quiere decir el incremento potencial de filtración de dichas corrientes de viento; con lo cual el confort térmico se ve dismi-

nuido sustancialmente. Este dato se incrementa en departamentos ubicados en pisos superiores; esto debido a la altura en la que se ubican.

Finalmente, del método adaptativo se desprenden los índices PMV y PPD que determina a menor sensación térmica (-1.70) por ende el Porcentaje Estimado de Insatisfacción (PPD) se eleva al 62%.

Esta sensación térmica no responde a la manifestación explícita de la opinión de los habitantes de las viviendas, sino a la codificación de sus prendas de vestir, actividad metabólica comparada con la temperatura del aire, la humedad, y la velocidad del aire.

Figura 10. Índice IMV y PPD



Fuente: Elaboración propia.

## DISCUSIÓN

Según el modelo del método Fanger, las viviendas multifamiliares tipo departamento de la ciudad de Cusco, se encuentran por debajo de los límites admisibles de Confort térmico; de igual manera, aplicando el método adaptativo, confirmamos los resultados anteriores con un PMV = -17.94; esto quiere decir que el 100% de los usuarios manifiesta insatisfacción con el confort térmico de su vivienda. Ambos métodos confirman la hipótesis investigativa en

la que el diseño arquitectónico de dichos departamentos, no permite alcanzar el nivel de Confort Térmico adecuado para sus habitantes.

De los resultados encontrados, podemos concluir que, en la dimensión de temperatura media del aire, el promedio de las 26 semanas analizadas es de 13.3 °C muy por debajo del límite esperado que es 22° C. De la aplicación del termómetro de globo se pudo obtener la

temperatura radiante media que en los meses de octubre, noviembre y diciembre presentan los más bajos promedios, esto debido a las condiciones climatológicas estacionarias (lluvias).

Par la dimensión de Humedad Relativa, encontramos que el parámetro esperado para un buen confort térmico es del 50% mientras que, de las tomas realizadas en las viviendas, obtuvimos la Humedad mínima relativa es de 47.5% y la máxima de 69.1%; esto quiere decir que el promedio se encuentra dentro del límite

admisibles, mostrando un ligero aumento los meses correspondientes a lluvias.

Acerca de la velocidad del aire en los espacios interiores, el marco teórico y el consenso de los investigadores se encuentra en el rango de 0.25 m/s y 0.9 m/s; sin embargo, los departamentos analizados arrojan una velocidad media de 1.0 m/s con lo cual supera los límites admisibles y coadyuva al incremento de la insatisfacción del Confort Térmico en las viviendas estudiadas. ■



Foto de Renny Gamarra de Unsplash.

## REFERENCIAS

- Ashare, American Society of heating. (1985). refrigerating and air - conditioning engineers. Atlanta: Handbook.
- Barrera , O. (2005). Introducción a una Arquitectura bioclimática para los Andes Ecuatoriales. Cataluña: Universidad Politecnica de Cataluña.
- Barrionuevo, R., & Espinoza, R. (2005). Edificaciones bioclimáticas en el Perú. Libro de Ponencias, Programa CYTED, (págs. 57-66). Lima.
- Bedford, T. (1936). The warmth factor in confort at work: A physiological study of heating and ventilation. Industrial Research Board.
- Blazquez, P. (03 de junio de 2018). El boom inmobiliario durará, al menos, hasta 2020. La Vanguardia.
- Brager, G., Paliaga, G., & De dear, R. (2004). Operable windows, personal control and occupant confort. Ashare Trans, 17-35.
- Bravo, G., & Gonzalez - Cruz, E. M. (2003). Confort térmico en el trópico húmedo: experiencias de campo en viviendas naturalmente ventiladas. ResearchGate.
- Cabrerizo Barrientos, B. (2012). Evaluación del confort térmico en viviendas con cerramientos de manposteria de ladrillo cerámico. Investigación & Desarrollo, 71-83.
- Castañeda Nolasco, G., & Ruiz Torres , R. P. (2013). Comportamiento y Confort Térmico de Vivienda en la Ciudad Rural Sustentable Nuevo Juan Del Grijalva, Chiapas, México. Research Gate.
- Chavez del Valle, F. (2002). Zona variable de confort térmico. Cataluña: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Covarrubias Ramos, M. (2012). Confort Térmico. Andalucía: Universidad internacional de Andalucía.
- Diario Gestión. (16 de Agosto de 2013). En Cusco se ha pasado del boom hotelero al boom inmobiliario. Gestión.
- Diario Gestión. (15 de 07 de 2015). Del surgimiento hasta el fin del 'boom' o la evolución del mercado inmobiliario en el Perú. Gestión.
- Fanger, O. (1970). Thermal Confort, "Analysis and applications in Environmental Engieneering". EE.UU.: McGraw- Hill.
- Filippin, C., & Flores , L. S. (2005). Comportamiento térmico de invierno de una vivienda convencional en condiciones reales de uso. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.
- Fondo Mi Vivienda. (2010). Estudio de mercado de la vivienda social en la ciudad de Cusco. Lima: Ministerio de Vivienda, Saneamiento y Construcción.
- Gelardi D., E. A. (2003). Docencia en arquitectura sustentable: Programa de optimización de proyectos de arquitectura basado en el balance térmico. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente.
- Givoni, B. (1969). Man, Climate and Architecture. London: Elsevier Architectural Science series.
- Groat, I., & Wang, D. (2002). Architectural Research methods. Jhon Wiley & sons.
- Henriquez Cortez, C. (2014). El confort térmico en la vivienda social en Chile: Evolución histórica y posibilidades de introducción al diseño arquitectónico solar pasivo para su mejoramiento. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Hernandez Córdova, V. G. (2011). Estudio de confort térmico y ahorro energético en la vivienda de interes social tipo en el norte del país. Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- Hernández, A., & Lesino, G. (2014). Simulación mediante SIMEDIF del comportamiento térmico de un prototipo de vivienda liviana construido en la Universidad Nacional de Salta. INENCO.

- Humphreys, M. (1976). Field studies of thermal comfort compared and applied. *Building Research and Practice*.
- Humphreys, M., & Nicol, F. (1998). Understanding the adaptive approach to thermal comfort. *Ashrae Transactions*, 991-1004.
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del trabajo. (2007). *Confort térmico INSHT*. Andalucía: Instituto Nacional de Seguridad e Higiene del trabajo.
- Iturre Campiño, A. (2013). *Proyectar mejoras del confort térmico en la vivienda de interés social Buenaventura*. Santiago de Cali: Facultad de Artes Integradas - Escuela de Arquitectura.
- Larraga Lara, R., & Rivera Espinoza, R. (2016). *Arquitectura tradicional en Andes, Antioquia Colombia. Elementos para el apoyo a comunidades rurales*. I Congreso Online Internacional sobre Filosofía de la Sustentabilidad de Vivienda Tradicional "Transformando comunidades hacia el desarrollo local" (págs. 76-91). Málaga: Universidad de Málaga.
- Lozano, I. (28 de Febrero de 2018). *El sector inmobiliario camina hacia su recuperación*. La República.
- Mercado, V. M., Esteves, A., & Filippin, C. (2010). *Comportamiento térmico-energético de una vivienda social de la ciudad de Mendoza, Argentina*. *Ambiente Construido*.
- Mercados & Regiones. (2016). *Arequipa requiere 20 mil nuevas viviendas*. *Mercados & Regiones*.
- Mercados & Regiones. (2018). *Arequipa: ofertan 300 casas ecosostenibles que ahorran agua y energía eléctrica*. *Mercados & Regiones*.
- Ministerio de Trabajo y asuntos sociales de España. (1983). *NTP 74: Confort térmico - Método de Fanger para su evaluación*. Madrid: Ministerio de Trabajo y asuntos sociales de España.
- Nicol, F., & Humphreys, M. (1972). *Thermal comfort as part of a self-regulating system*. Commission W45 Symposium.
- Ruiz Torres, R. P. (2007). *Estandar local de confort térmico para la ciudad de Colima*. Colima: Universidad de Colima.
- Solis Villafaña, L. A. (2015). *Evaluación del confort térmico de la vivienda rural sustentable en Carbonera, Queretaro*. Santiago de Queretaro: Centro de Investigación en ciencia aplicada y tecnología avanzada.
- Vigo, M. (2017). *Propuestas para el diseño urbano Bioambiental en Zonas Cálidas Semiáridas*. Secretaria de Ciencia y Tecnología.
- Zubiate, A. (20 de Mayo de 2015). *El boom inmobiliario y la supuesta burbuja inmobiliaria*. *Semana Económica.com*.