



EFICIENCIA ENERGÉTICA EN CONSTRUCCIONES SOSTENIBLES - ORIENTACIÓN POR ASOLEAMIENTO EN CLIMAS DE LATITUDES TROPICALES

Energy efficiency in sustainable constructions - Orientation due to sunshine in climates of tropical latitudes

Víctor Linares Zaferson*¹; Nayeli Cuéllar Cajahuaringa¹; Betsy Romero Verastegui¹

¹ Departamento Académico de Ordenamiento Territorial y Construcción, Facultad de Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional Agraria La Molina, La Molina, 15024, Lima, Perú

* E-mail: vlinares@lamolina.edu.pe

Recibido: 17/10/2022; Aceptado: 26/12/2022; Publicado: 10/01/2023

ABSTRACT

In the process of designing a building, orientation is one of the criteria used in the approach, which depends on several factors, including solar radiation due to sunlight and climate. During the design process, a pre-design stage and a final design stage are carried out in which it is possible to quantify the results of the energy balance. The objective of the research proposes a method to determine the orientation of a building in tropical climates in order to achieve buildings with energy standards close to zero, with greater energy efficiency. The methodology used is inductive, based on the designer's experience, analyzes questions and induces solutions. It uses the "orthogonal projection of the apparent path of the sun" and the ambient temperature conditions. The result obtained from the investigation offers an application procedure, practical and easy to execute, to be used in the first stage of design, which allows to determine a priori the adequate orientation of the walls and windows of a building to achieve the maximum efficiency of the balance energy for a given climate. The procedure is validated through an energy balance calculation for a prototype in the Peruvian territory.

Keywords: architectural sunshine | building orientation | energy efficiency | sustainable construction

RESUMEN

En el proceso de diseño de una edificación, la orientación es uno de los criterios utilizados en el planteamiento, la cual depende de varios factores, entre ellos la radiación solar por asoleamiento y el Clima. Durante el proceso de diseño se realiza una etapa de prediseño y una etapa de diseño definitivo en la cual es posible cuantificar los resultados del balance de energía. El objetivo de la investigación plantea un método para determinar la orientación de una edificación en climas tropicales con la finalidad de lograr edificaciones con estándares de energía cerca a cero, con mayor eficiencia energética. La metodología utilizada es inductiva, basada en la experiencia del diseñador, analiza interrogantes e induce soluciones. Utiliza la "proyección ortogonal del recorrido aparente del sol" y las condiciones de temperatura ambiental. El resultado obtenido de la investigación ofrece un procedimiento aplicativo, práctico y fácil de ejecutar, para emplearlo en la primera etapa de diseño, lo cual permite determinar a priori la adecuada orientación de las paredes y ventanas de una edificación para lograr la máxima eficiencia del balance energético en

un determinado clima. El procedimiento es validado mediante un cálculo de balance de energía para un prototipo en el territorio peruano.

Palabras clave: asoleamiento arquitectónico | orientación de edificaciones | eficiencia energética | construcción sostenible.

Forma de citar el artículo (Formato APA):

Linares, V., Cuéllar, N. & Romero, B. (2022) Eficiencia energética en construcciones sostenibles - Orientación por asoleamiento en climas de latitudes tropicales. *Anales Científicos*. 83(2), 126-40. <http://dx.doi.org/10.21704/ac.v83i2.1958>

Autor de correspondencia (*): Víctor Linares Zaferson. Email: vlinares@lamolina.edu.pe

© Los autores, Publicado por la Universidad Nacional Agraria La Molina,

This is an open access article under the CC BY

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de energía e infraestructura sostenibles son áreas prioritarias a implementar de acuerdo a los objetivos formulados por las Naciones Unidas al 2030. Una de las metas del objetivo 11, consiste en reducir el impacto negativo de las “Ciudades y asentamientos humanos sostenibles”. Entre las medidas encaminadas al logro de estos objetivos se encuentra el diseño arquitectónico de construcciones, cuando éstas se diseñan de acuerdo con los principios de eficiencia energética y respeto al medio ambiente (Zhovkva, 2020).

El diseño sostenible es el punto de partida y análisis para planificar una construcción sostenible, desde el inicio hasta el fin del proceso de una obra. Uno de los fundamentos importantes para ello, es lograr condiciones óptimas para la realización de actividades dentro de una construcción de manera amigable y de menor impacto negativo con el medio ambiente, particularmente teniendo un adecuado manejo del clima.

El logro de la eficiencia energética en las edificaciones y el cuidado del medio ambiente en la arquitectura son actores importantes en la mitigación del calentamiento global, y por lo tanto colaboran en la solución (Murillo & Rubio, 2017). Es importante notar que, para este logro el diseño de edificios debe alcanzar energía cero o positiva, es decir, edificios que generen energía a partir de fuentes renovables y la consuman en cantidades iguales o menores (Karti, 2018). La elección de materiales tiene influencia directa en la construcción de envolventes de edificios en función de sus características térmicas.

El calentamiento global preocupa a muchos países del mundo por lograr edificaciones en las cuales no se emita

calor al ambiente. Siendo, una causa importante del consumo adicional de energía por inadecuadas orientaciones de las edificaciones, sus materiales y componentes que los integran, generando almacenamiento de calor. Colclough et al. (2018) menciona en su artículo *Investigation of nZEB social housing built to the Passive House standard* que, en toda Europa, las viviendas se construirían para cumplir con los estándares de edificios con consumo de energía cerca a cero (nZEB) para 2020. Diversos grupos de investigación en América están trabajando bajo el mismo objetivo: En USA (Alajmi et al., 2018), Argentina (D’Amanzo et al. 2020) y Brasil (Westphal, 2011; Dalbem et al., 2019).

Edificaciones con consumo de energía cerca a cero (nZEB) propone un procedimiento para la orientación de edificaciones en base a la incidencia de la radiación solar, la temperatura ambiental y el confort térmico, con la finalidad de lograr óptimas condiciones de eficiencia energética en la edificación. La validación del método propuesto para la orientación de edificaciones en este estudio, se trabajó con una muestra conformada por un prototipo de 3,0 m. de largo, 1,5 m. de ancho y 2,50 m. de altura, dispuesto con el propósito de recibir radiación solar, de acuerdo con el método propuesto y las condiciones ambientales de cada uno de los lugares seleccionados a lo largo del territorio peruano, el cual se encuentra entre los 0° y 18° grados de latitud sur. Los climas escogidos para la validación respectiva en el trabajo son: para la región costa el “Desértico costero”, en la región sierra el “Meso andino” y en la región selva el “Tropical húmedo” y “Subtropical húmedo”, clasificado según MVCS (2014). El Perú presenta climas que según su particular conformación geográfica, donde la cadena montañosa de la cordillera andina y las

corrientes marinas, presenta pisos ecológicos diferentes, y genera climas tropicales con características especiales. El año 2014 el Ministerio de vivienda y construcción y saneamiento, el gobierno peruano publica la Norma EM-110 “Confort térmico y lumínico con eficiencia energética” como parte del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), el cual realiza su aplicabilidad en proyectos edificatorios, mostrando sus beneficios en campos económicos, ambientales, sociales y de salud.

La comprobación del procedimiento presentado para orientación de un edificio en diseño, se llevó a cabo mediante el cálculo de balance de energía de una muestra de planta rectangular y con una abertura en una de sus caras verticales. El calor producido por el impacto de la radiación sobre las superficies de un edificio es transmitido por conducción al interior en relación a sus áreas y sus coeficientes de conductividad. De manera semejante la existencia de aberturas de ventanas en el edificio recibe ganancias directas de radiación al interior del edificio de manera pasiva.

El método propuesto para la orientación de edificaciones, permite al diseñador en las primeras etapas del diseño tomar decisiones de cerramientos y aberturas en el edificio dentro del marco de la eficiencia energética. En la etapa final y definitiva del diseño, se debe calcular el balance de energía del edificio. El método es un conjunto de procedimientos sencillos que asocia el análisis de la temperatura ambiental de un lugar, con la incidencia de la radiación solar sobre un edificio, basado en la “proyección ortogonal del recorrido aparente del sol” (Ambrosio et al., 2016) y el confort térmico del usuario (Chavez Del Valle, 2002) o la condición térmica del ambiente para la producción. Permite al diseñador enfrentar el problema de la orientación de las edificaciones con relación a la incidencia de la radiación solar por asoleamiento, solucionando el problema de la óptima utilización de la energía por radiación solar a lo largo de la vida útil del edificio. Además, posibilita manejar la orientación de la construcción en diseño, para ganar o perder calor mediante procedimientos de manejo térmico de “diseño pasivo” sin la utilización de equipamiento mecánico de calefacción o refrigeración y lograr eficiencia energética de los edificios.

El objetivo de la investigación es evaluar un método para determinar la orientación eficiente de edificaciones en

climas tropicales de Perú con la finalidad de lograr edificaciones con estándares de energía cerca a cero, “Nearly Zero Energy Building” nZEB (Colclough et al., 2018).

El análisis de la validación del método, corrobora los resultados del procedimiento de orientación y clima presentado, mediante el cálculo del balance de energía de muestras ubicadas en diferentes regiones climáticas y latitudes del territorio peruano para lograr los estándares de edificios con energía tendiente a cero (nZEB).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El procedimiento para orientación de edificaciones por asoleamiento, y condiciones climáticas está concebido para ser aplicado en la primera etapa del proceso de un diseño, cuando se organizan las bases del diseño, llamado también “planteamiento de diseño”. El estudio fue ensayado originalmente a través de trabajos de diseño durante los años 2016 y 2018.

La investigación es cualitativa, con un diseño de teoría fundamentada en los trabajos de Hernández Sampieri (2014) y Rodríguez & Perez (2017). y de carácter inductivo, cuya metodología fue basada en la experiencia del investigador, la literatura disponible y la información a analizar. Los materiales utilizados fueron: el gráfico de proyección ortogonal de recorrido aparente del sol, la temperatura media máxima y media mínima para el periodo anual, la temperatura promedio mensual - día típico - y la temperatura de confort. El procedimiento mediante el diagnóstico de requerimiento térmico, obtiene como resultado criterios de orientación arquitectónica (ver Figura 1). La validación del procedimiento se obtuvo por el estudio de muestras para climas en latitudes tropicales de las tres regiones climáticas: costa, sierra y selva, del territorio nacional peruano, cada 4° de latitud, entre 4° y 16° sur. Se usó como herramienta una simulación elaborada mediante un programa en hoja Excel con cálculos relativos al calor interno, conducción, radiación y convección teniendo como referencia al “passive house planning package” PHPP (Fokaides, 2016). El cálculo del balance de energía determina las condiciones para edificaciones con estándares de energía cerca a cero (nZEB) (Nearly Zero Energy Building) (Colclough et al., 2018).

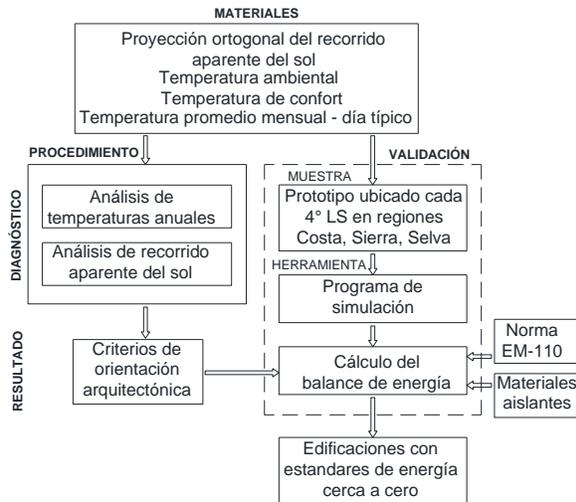


Figura 1. Esquema de metodología

Bases teóricas, materiales y diagnóstico del procedimiento.

Radiación sobre superficies verticales de un edificio

En las zonas tropicales definidas entre el trópico de cáncer y el trópico de capricornio, el recorrido aparente del sol incide principalmente sobre las superficies horizontales en horas del mediodía, y sobre las superficies verticales orientadas hacia el este y oeste durante las mañanas y las tardes respectivamente, variando incidencias por la declinación de la latitud del lugar (Gomez, 2018). Entre los trópicos de Cáncer y Capricornio no solo se encuentran climas cálidos, también existen climas fríos de altura y climas estacionales que fluctúan entre el invierno y verano.

Partiendo de la concepción de que una edificación está compuesta por un volumen paralelepípedo cualquiera, el cual está compuesto por muros (superficies verticales) y techos (superficies horizontales), la orientación de las paredes y ventanas de la edificación, dependerá básicamente de la radiación que podrá incidir en las caras verticales del volumen, porque la radiación sobre la superficie horizontal, en ese mismo momento, no depende de la orientación. La radiación que incide en las superficies verticales de un volumen, actúa sobre sus áreas correspondientes y genera transmisión de calor por conducción a través del coeficiente de conductividad, velocidad de difusión y espesor del material (Domingo, 2013).

De acuerdo con Hernández, (2001) la intensidad de la radiación solar será más eficiente si los rayos son más perpendiculares a la superficie (Figura 2), lo que se cumple también para las superficies verticales. Por otro lado, la intensidad de la radiación solar disminuye sobre la superficie de la tierra cuando disminuye la altura solar, debido a la mayor distancia recorrida por la radiación y el “grosor de la atmósfera que incrementa la pérdida de energía por absorción y reflexión” (Instituto de tecnologías educativas [ITE], 2019). Alrededor del mediodía y sobre las superficies verticales, se produce ángulos de elevación cercanos a 90° y con poca incidencia solar (Irradiancia). De acuerdo con Pérez Martínez (2017) durante las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde existe poca incidencia de radiación solar (Figura 3). La irradiancia es baja debido a la posición del sol y el recorrido de los rayos solares a través de la atmosfera (Aguado & Burt, 2015). Por otro lado, como se demuestra en la “Contrastación de la distribución horaria de Irradiancia solar y % de transmisividad en superficies verticales” (Figura 4), a 9 h y 15 h existe la radiación más significativa sobre las superficies verticales de un volumen cualesquiera en la orientación azimutal correspondiente.

Por tanto, hemos determinado estudiar en este trabajo la incidencia del sol entre las 9 y 15 h, las cuales denominaremos horas críticas, debido a que en estas horas se encuentra el promedio de orientación azimutal de las horas de las mañanas y las tardes. Álvarez (2017), estudio la aplicación de modelos matemáticos para cuantificar la irradiación incidente sobre una superficie plana. Se observaron incidencias del sol más eficientes sobre superficies verticales alrededor de estas horas en el transcurso de las mañanas y las tardes. Lezcano et al. (2020) consideraron entre las 8 y 15 h para el estudio de las horas representativas de las mañanas y las tardes en su estudio “Evaluación de la proyección de las sombras”, para proyección de sombras de edificios en el transcurso del día.

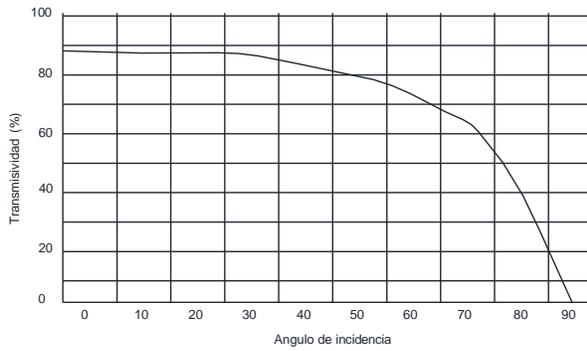


Figura 2. La transmisividad a la radiación directa es función del ángulo con que inciden los rayos solares sobre la cubierta (Hernández, 2001).

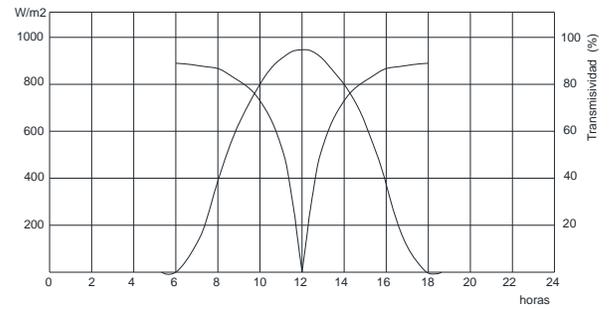


Figura 4. Contrastación de la distribución horaria de Irradiación solar y % de transmisividad en superficies verticales.

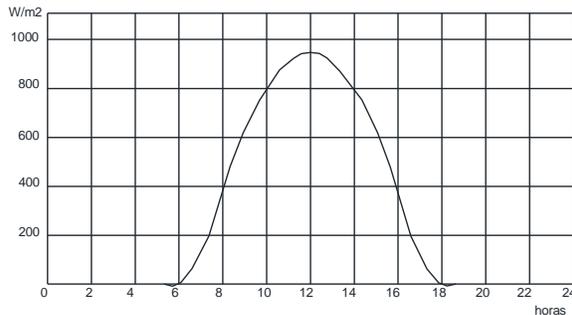


Figura 3. Distribución horaria de la irradiación solar en un día sin nubes (Pérez Martínez, 2017).

Orientación azimutal de las superficies verticales

Cada una de las horas críticas (9 y 15 h) determinadas por la contrastación efectuada en la figura 4, tienen su orientación azimutal para la superficie vertical correspondiente. La finalidad de encontrar las orientaciones azimutales, es correlacionarlas con las condiciones climáticas para el invierno y el verano de cualquier localidad. Una proyección ortogonal del recorrido aparente del sol es la herramienta (Figura 5) utilizada para hacer los análisis de evaluación y diagnóstico de la incidencia solar sobre la edificación.

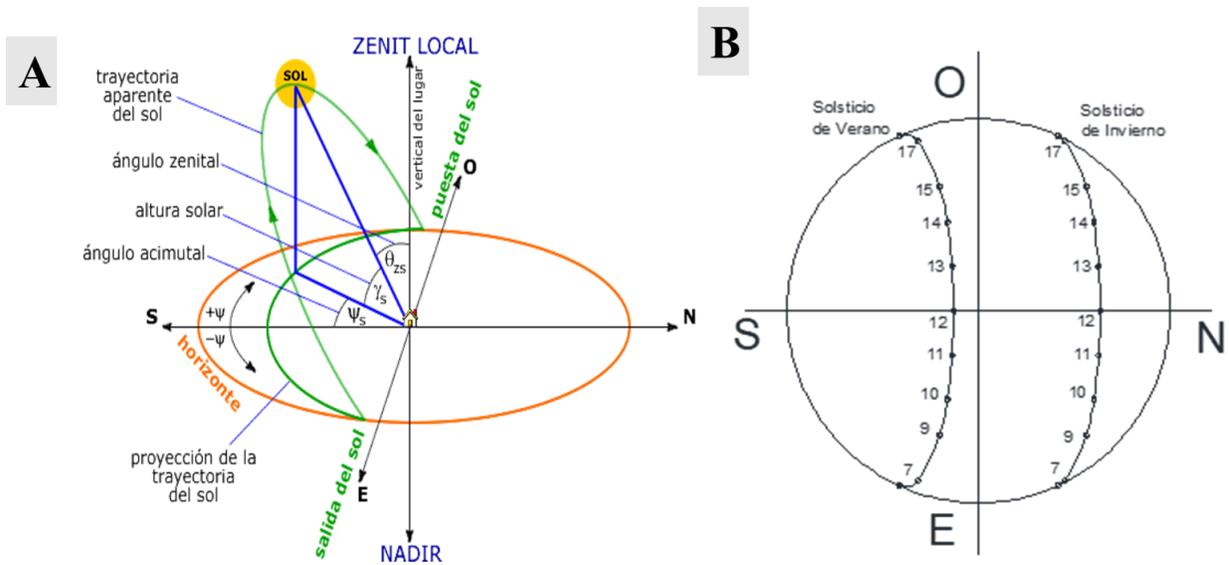


Figura 5. Esquemas de la proyección ortogonal del recorrido aparente del sol en isometría (izq.) y planta (der.).

Temperatura ambiental

Cada lugar está definido climáticamente por varios índices, como lo son; la temperatura, humedad, lluvias, vientos y otros. La temperatura ambiental es uno de los índices climáticos más significativos y está relacionada con la sensación de confort térmico del cuerpo humano, denominada temperatura de confort. Las localidades de un país o una región pueden estar agrupadas en zonas de características climáticas similares, las cuales constituyen una zonificación climática.

Existen diferentes zonificaciones climáticas clasificadas según: la Junta del acuerdo de Cartagena (1980), la “Guía de aplicación de arquitectura bioclimática en locales educativos” (Ministerio de Educación [MINEDU], 2008), norma EM-110 del RNE (MVCS, 2014) y la utilizada por Romero (2016) en la “Propuesta metodológica para evaluar la eficiencia energética en edificaciones”.

La presente investigación se trabajó con la zonificación bioclimática de la Norma EM-110, la cual clasifica al Perú en nueve zonas climáticas (Figura 6): Desértico costero, Desértico, Interandino bajo, Meso andino, Alto andino, Nevado, Ceja de montaña, Subtropical húmedo, Tropical húmedo. Para cada uno de los climas utilizados en la investigación se elaboraron las gráficas de las curvas de temperaturas media mínima, media máxima para el periodo anual, basadas en la información de Weatherspark (Weatherspark.com, 2022).

Temperatura promedio mensual - día típico

Según León (2017), la fluctuación de temperaturas en un día promedio cualquiera del año, presenta las temperaturas máximas alrededor de las 15 h y las mínimas alrededor de las 6 h, tal como se muestran en la figura 7.

Dentro del rango entre la temperatura mínima y la máxima para un día cualquiera, se encuentran las horas críticas a las 9 y las 15 horas, que hemos mencionado en el estudio. La finalidad de identificar dichas horas, es relacionarlas con las gráficas de “temperaturas medias mínima, media máxima” dentro de un periodo anual.



Figura 6. Mapa de zonificación bioclimática del Perú (MVCS, 2014)

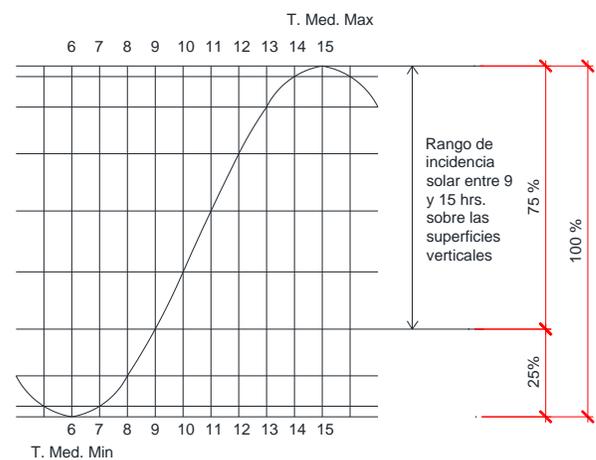


Figura 7. Rango de incidencia solar entre 9 y 15 h sobre las superficies verticales, para un día típico mensual promedio.

Temperatura de confort

La temperatura de confort “es una condición mental en la que se expresa la satisfacción con el ambiente térmico” por tanto, está referida a la percepción humana dentro de un espacio (MVCS, 2014; Chavez Del Valle, 2002). La sensación de confort térmico puede variar debido a múltiples factores y podría haber personas térmicamente cómodas, aunque ellas estén en ambientes térmicamente diferentes. Se entiende que la sensación de la temperatura de confort debe ser semejante para el mayor porcentaje de personas de un grupo. Chávez Del Valle (2002) elaboró un “modelo matemático de la zona variable de confort térmico” en el que plantea que esta temperatura depende de un determinado número de variables entre las que se encuentran: Temperatura media mensual, temperatura media horaria exterior, temperatura radiante media, velocidad del aire, historial térmico, tiempo de permanencia, adaptabilidad, contacto visual, expectativas de confort y factores de: sexo, edad, constitución corporal, de vestimenta y nivel de actividad.

Otros autores enfrentan el problema de una manera más simplificada y citan el “índice global de isotermas”, aplicable en zonas tropicales, el cual considera la “temperatura de confort” para el ser humano como el promedio de temperatura de los tres meses más cálidos del lugar donde habita.

Guillen (2014) indica que, para definir la zona de confort considerando la aclimatación, se utilizó el método del “índice global de isotermas”, el cual considera que el nivel medio de confort en una localidad, sigue la temperatura promedio de verano, pero dentro de los límites de 21,1°C y 26,7°C.

La metodología presentada para la orientación de construcciones se realiza partiendo de la temperatura del confort humano, pero podríamos usar este esquema metodológico partiendo de la temperatura de la zona termo-neutral para la realización de actividades dentro de una construcción destinada a una labor productiva en beneficio del ser humano y diferente al confort humano, de acuerdo al trabajo de Arias et al. (2008). Estas actividades requieren ciertas condiciones térmicas a las que podríamos llegar también a través del acondicionamiento de materiales y espacios con una orientación adecuada dentro de un proceso de diseño constructivo. El inicio a partir de la temperatura de confort nos llevaría a la evaluación del hábitat humano

y por el otro lado estaríamos evaluando espacios para actividades productivas distintas al confort humano, referida, por ejemplo, al alojamiento animal, la agricultura protegida según Gracia-Sánchez (2018) y el almacenamiento y la conservación de productos perecibles para consumo humano. Este concepto relacionado a la producción, ampliaría el estudio del ámbito ciudadano al de las construcciones rurales, dado que el esquema metodológico es semejante. En el desarrollo de este trabajo, se consideró el procedimiento metodológico partiendo de la temperatura para el confort ambiental humano.

Diagnóstico de requerimiento térmico

El diagnóstico de requerimiento térmico por asoleamiento está compuesto de dos partes, la primera basado en el análisis de las temperaturas anuales y la segunda basada en el análisis del recorrido aparente del sol en planta. Estos dos criterios permiten establecer una evaluación contrastada a la hora y fecha de las temperaturas ambientales del lugar con relación a la temperatura de confort. Con las temperaturas anuales hallaremos los requerimientos térmicos, mientras que, con el recorrido aparente del sol en planta, localizaremos los criterios de orientación arquitectónica.

Análisis de las temperaturas anuales. La gráfica de la temperatura promedio de un día típico mensual la sobrepusimos a la gráfica de temperaturas media mínima, media máxima para el periodo anual en relación a la temperatura de confort. El “rango de incidencia solar entre las 9 y 15 h sobre las superficies verticales” (Figura 7) está inserto implícitamente en la gráfica de la “temperatura promedio mensual - día típico”. En las horas críticas 9 y 15 h, se presenta la más alta incidencia solar sobre las superficies verticales. La ubicación de la orientación respecto a estas horas críticas en los solsticios de invierno y verano, permiten evaluar las condiciones climáticas extremas en el transcurso de un año y localizar los criterios de orientación.

El resultado está definido por la ubicación de las “horas críticas” (9 y 15 h) del “rango de incidencia solar entre las 9 y 15 h sobre superficies verticales”, en relación con la “temperatura de confort” (Figura 8). Por encima de la “temperatura de confort” la “hora crítica” indica la necesidad de protección de la radiación solar, que puede manejarse mediante una escala de Likert (Matas, 2018): “requiere mucha protección”, “requiere protección” y

“requiere poca protección”, la indicación podría ser “neutro” si coincide con la zona de confort. Por debajo de la “temperatura de confort” la “hora crítica” indica necesidad de radiación solar, que puede manejarse en una escala: “requiere mucha radiación”, “requiere radiación” y “requiere poca radiación”.

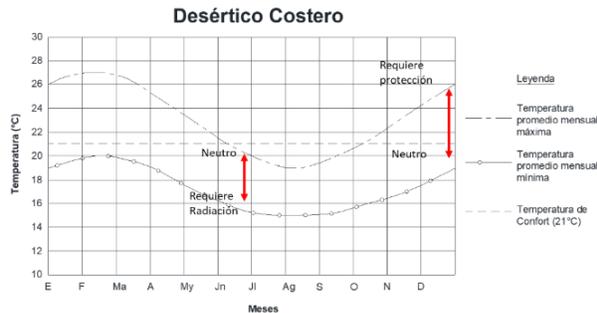


Figura 8. Análisis de temperaturas anuales versus rango de incidencia entre 9 y 15 h de un día típico mensual, para los solsticios de invierno y verano en un clima.

Análisis del recorrido aparente del sol en planta. Se traslada los “requerimientos térmicos por asoleamiento” efectuado en el paso anterior (Figura 8) a un diagrama de proyección ortogonal en planta del recorrido aparente del sol (Figura 9). Esto permite ubicar los criterios térmicos por asoleamiento en los solsticios de invierno y verano a las 9 y 15 h, sobre la proyección ortogonal del recorrido aparente del sol en planta. En ella, aparecen los ángulos azimutales para la orientación de las superficies verticales del edificio en las respectivas orientaciones. Esto finalmente permite determinar los requerimientos térmicos por soleamiento (ganancia o protección) para las horas críticas (9 y 15 h) de un volumen cualquiera y definir los criterios de orientación arquitectónica. Es decir, se justificará abrir o cerrar ventanas para lograr ganancia solar directa o protegerse de ella, plantear menores o mayores áreas de muros en las orientaciones dadas para lograr menores o mayores transferencias térmicas a través de los materiales. También permite hacer las rotaciones del volumen arquitectónico o giros de las superficies verticales que el diseñador crea conveniente de acuerdo con su proyecto.

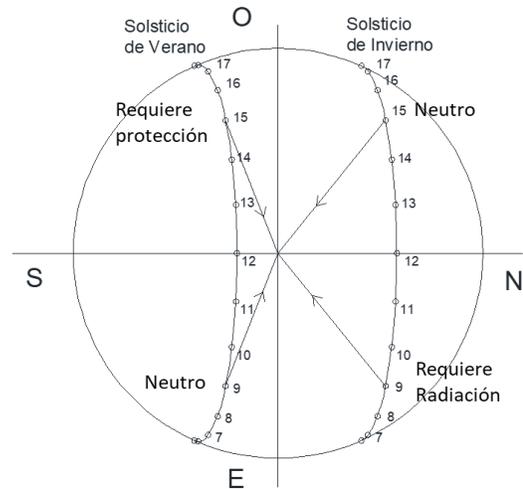


Figura 9. Análisis del requerimiento térmico por asoleamiento para los solsticios de invierno y verano a las 9 y 15 h, basado en el recorrido aparente del sol para un clima.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La metodología presentada, muestra “criterios de orientación arquitectónica” basada en el “diagnóstico de requerimientos térmicos”. Esta metodología se validó mediante el estudio de resultados del cálculo de balance de energía de una muestra aplicada en el territorio peruano entre los 4° y 16° de latitud sur, para un prototipo situado en sus tres regiones naturales, logrando estándares de edificios con energía cerca a cero (nZEB) (Colclough et al., 2018).

Del procedimiento

El estudio de la incidencia de radiación solar sobre los edificios y su proceso de transferencia térmica al interior de los mismos, es un proceso que permite evaluar la orientación de una construcción y determinar las condiciones térmicas para establecer el desarrollo de actividades productivas y domésticas dentro del edificio (Gómez, 2019) (Giraldo & Arango, 2020). Para la determinación del equilibrio térmico de una edificación con el exterior intervienen muchos factores, tales como: la producción interna de calor por parte de hombres, animales, productos, y equipos, la transferencia del calor a través de los materiales de muros, pisos y techos, así como el aporte convectivo de las masas de aire del exterior al interior o viceversa (Vera & Villanueva, 2017).

A partir del “diagnóstico de requerimiento térmico por asoleamiento” podremos determinar orientaciones azimutales de superficies verticales y aperturas de ventanas de los edificios, de acuerdo con los requerimientos de temperatura ambiental y de confort térmico para los ambientes de un proyecto constructivo, en un determinado lugar y clima. La orientación azimutal de las superficies verticales de un edificio la utilizamos como la orientación más efectiva de la radiación que incide en la superficie vertical y que sirve para estudiar la ganancia o protección térmica. Para nuestro estudio empleamos las horas críticas como el tiempo en que se produce la incidencia solar durante las mañanas a las 9 h y en las tardes a las 15 h, para un día cualesquiera. El movimiento aparente del sol no se detiene y sabemos se van generando otros ángulos azimutales entre las 9 y las 15 h y que, para latitudes tropicales, conforme se acercan a las 12 h tienen un ángulo de elevación muy alto, y que después de las 15 h van perdiendo irradiancia. Por otro lado, las primeras horas de la mañana, antes de las 9 h, la irradiancia sobre la superficie de la tierra es menor. Podemos decir entonces, que los puntos promedios del desplazamiento aparente del sol durante la mañana y la tarde, coinciden con las horas críticas y que son las orientaciones con las cuales vamos a optar para realizar el diagnóstico de requerimiento térmico. Lezcano et al. (2020) consideran entre las 8 y 15 h como ejemplos de las horas representativas de las mañanas y las tardes en su estudio “Evaluación de la proyección de las sombras”, para proyección de sombras a lo largo del día.

El análisis de la metodología propuesta puede servir tanto, para una etapa de anteproyecto, como para una etapa de proyecto edificatorio, en las cuales se puede evaluar la orientación integral del edificio y definir la ubicación para las aberturas de ventanas, así como las áreas correspondientes de las superficies verticales. El estudio también se puede utilizar para edificaciones ya construidas, en las que, si bien ya no se podrá replantear la orientación integral del edificio, se puede plantear soluciones de aislamiento de muros para control de la conductividad, con adición de materiales aislantes u otros en áreas expuestas a la radiación solar. Se podrá estudiar también la correcta ubicación de aberturas de ventanas y plantear reubicación o cerramiento de ellas si fuera conveniente (Suarez & Fragoso, 2016).

Dalbem et al. (2016) recomiendan el uso de estrategias de diseño pasivo, en la orientación del edificio, las cuales deben estar protegidas contra la radiación solar en los períodos cálidos para evitar el calentamiento excesivo. Después de tres ensayos en distintas latitudes (Curitiba, Brasilia, Salvador) de Brasil, Westphal et al. (2011) concluyó que “la orientación del edificio puede causar una influencia alrededor del 5% en el consumo de energía anual para enfriamiento en un clima tropical”.

De la Validación

Debido a las diferentes características climáticas del territorio peruano, se trabajó diferenciando las regiones naturales; Costa, Sierra y Selva. Los pisos ecológicos se encuentran incluidos en el plano de zonificación bioclimática del Perú (MVCS, 2014). Para todos los cálculos de balance de energía se ha trabajado primero considerando los “valores límites máximos de transmitancia térmica (U)” en W/m²K de la Norma EM-110 (MVCS, 2014). Luego estos fueron ajustados con materiales de mayor aislamiento térmico mostrando posibilidades del balance energético con tendencia cero.

Región Costa. La tendencia del balance energético para días cálidos estuvo alrededor de 5,000 watt/día, mientras que, en los días fríos, entre -1,000 y 0 watt/día (figura 10). Luego de incluir en el cálculo materiales más aislantes, se apreció que, para los días cálidos la tendencia del balance de energía estuvo alrededor de 4,000 watt/día, mientras en los días fríos la tendencia estuvo entre -1,000 y 3000 watt/día (Figura 11). El promedio total del cálculo del balance de energía con los materiales indicados en la norma EM-110 comparado con materiales más aislantes, fue 2,250 contra 2,500 watt/día, respectivamente.

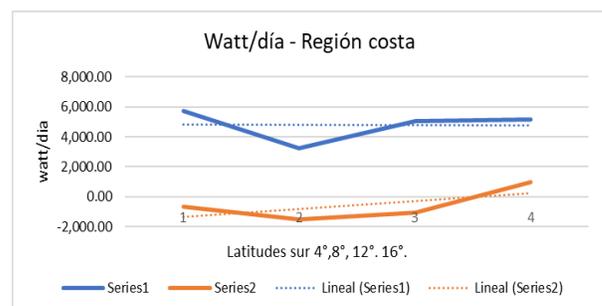


Figura 10. Cálculo del balance de energía – Región Costa. Latitud 4°s, 8°s, 12°s, 16°s – Días cálidos (s1) – Días fríos (s2). U - Norma EM-110.

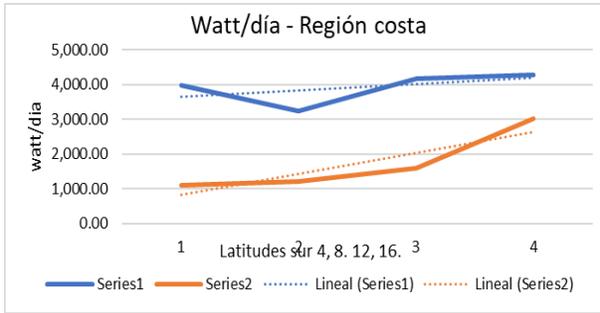


Figura 11. Cálculo del balance de energía - Región costa. Latitud 4°s, 8°s, 12°s, 16°s - días cálidos (s1) - días fríos (s2). U-materiales mejorados.

Región Sierra. La tendencia del balance energético para los días cálidos estuvo entre -14,000 y -2500 watt/día, mientras que durante los días fríos estuvo entre -14,000 y -4000 watt/día (Figura 12). El cálculo de balance de energía utilizando materiales más aislantes mostró una tendencia para los días cálidos entre -4,000 y 1000 watt/día, mientras que para los días fríos se obtuvo una variación entre -7,500 y -1,000 watt/día (Figura 13). El promedio total para el cálculo del balance de energía con los materiales indicados en la norma EM-110 comparado con materiales más aislantes, fue -9,125 contra -2,875 watt/día, respectivamente.

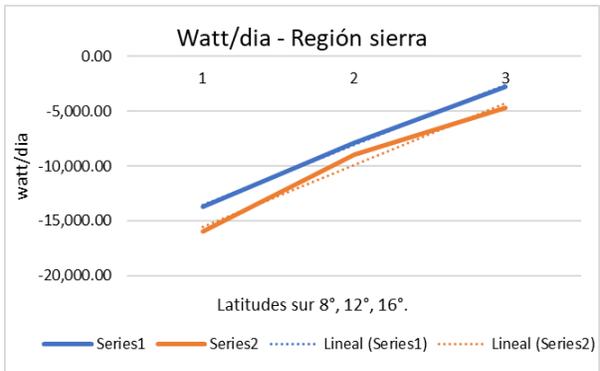


Figura 12. Cálculo del balance de energía - región sierra. Latitud 8°s, 12°s, 16°s - días cálidos (s1) - días fríos (s2). U - norma EM-110.

Región Selva. La tendencia del balance energético para los días cálidos estuvo entre 7,000 y 2,000 watt/día, mientras que en los días fríos estuvo entre 7,000 y 0 watt/día. (Figura 14). Después de utilizar materiales más aislantes en el cálculo del balance de energía, la tendencia en los días cálidos estuvo entre 5,500 y 3,000 watt/día, mientras que en los días fríos se mantuvo la misma tendencia (Figura 15). El promedio total del

cálculo del balance de energía utilizando materiales indicados en la norma EM-110 comparado con materiales más aislantes, fue 4,000 contra 4,250 watt/día

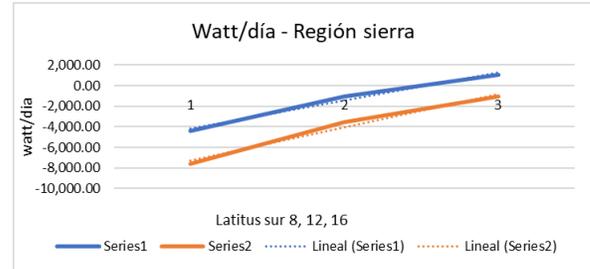


Figura 13. Cálculo del balance de energía - región sierra. Latitud 8°s, 12°s, 16°s - días cálidos (s1) - días fríos (s2). U - materiales mejorados.

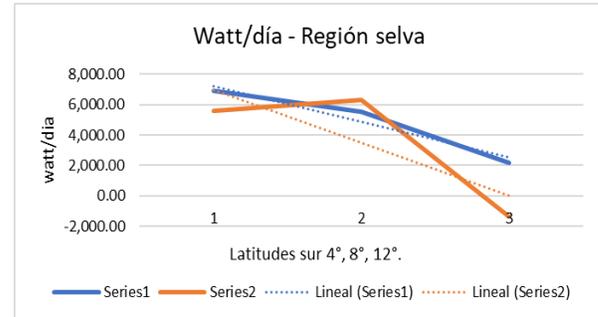


Figura 14. Cálculo del balance de energía - región selva. Latitud 4°s, 8°s, 12°s, - días cálidos (s1) - días fríos (s2). U - norma EM-110.

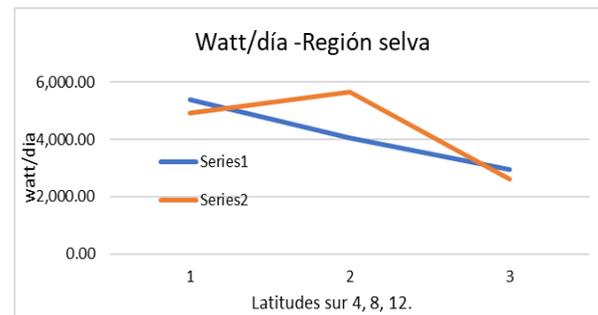


Figura 15. Cálculo del balance de energía - región selva. Latitud 4°s, 8°s, 12°s - días cálidos (s1) - días fríos (s2). U - materiales mejorados.

Comparación de tendencias del balance de energía entre regiones, versus latitud. En la costa la tendencia del balance de energía es equilibrada a lo largo de las diferentes latitudes, mientras que en la sierra el balance de energía presenta una tendencia en alza conforme aumenta la latitud. En selva la tendencia del balance de energía muestra una baja mientras aumenta la latitud.

Se puede observar que las tendencias hacia la baja o hacia el alta en el balance de energía de un edificio en relación a las latitudes en sus diferentes regiones no afecta al balance de energía debido a que las gráficas muestran una formación de tipo lineal horizontal indicando poca variabilidad respecto a la latitud, mientras que conforme se ha ido utilizado materiales mejorados, ha demostrado resultados que se acercan a cero (nZEB), comprobando que la metodología para el procedimiento de orientación de edificaciones es consecuente.

Independientemente a la variación respecto al uso de materiales en la envolvente del edificio, en términos generales, las diferencias entre temperaturas exteriores e interiores definen el resultado del cálculo del balance de la energía. En climas marcadamente cálidos o marcadamente fríos, los resultados del balance de energía son más distantes que cero, mientras que en climas de temperatura moderada la tendencia es más cerca a cero.

Una variable importante en el territorio peruano son las regiones naturales, donde se localizan las edificaciones, y estas ubicaciones dependen principalmente de su altura sobre el nivel del mar. Los climas ubicados en altura tienen temperaturas más bajas, mientras que, en regiones de la selva ubicadas a poca altura sobre el nivel del mar y libre de la corriente oceánica de Humboldt del océano pacífico, la temperatura es más alta.

La temperatura por regiones no varía mayormente para las diferentes latitudes estudiadas. Por ejemplo, el clima Desértico costero tiene un promedio de 22.25 °C, el clima Meso andino tiene un promedio de 12,58 °C, el clima Tropical Húmedo tiene un promedio de 26.47 °C.

La temperatura promedio estudiada en una misma latitud del territorio, pero en diferentes regiones, sí varía claramente. Por ejemplo, para 8° latitud sur; Trujillo (Desértico costero) tiene 21.25 °C, Huamachuco (Meso andino) tiene 8.25 °C, y Pucallpa (Subtropical húmedo) tiene 27 °C. Para 12° latitud sur; Lima (Desértico costero) tiene 20.25°C, Huancayo (Meso andino) tiene 13°C, Puerto Maldonado (Subtropical andino) tiene 25.25°C.

Los climas analizados independientemente por regiones, muestran características similares en sus fluctuaciones

térmicas para cada una de las regiones. El clima Desértico costero muestra temperaturas ligeramente más cálidas en los veranos y más fríos los inviernos y la variación entre máximas y mínimas está entre 5 y 6° C. El clima Meso andino muestra una relativa homogeneidad térmica entre las estaciones de invierno y verano no existiendo mayores diferencias entre temperaturas máximas y entre temperaturas mínimas, se observa una mayor amplitud térmica durante el año entre 10 y 12°C. El clima Tropical húmedo, también muestra homogeneidad térmica entre las estaciones de invierno y verano no existiendo mayores diferencias entre temperaturas máximas y entre temperaturas mínimas, se observa una mayor amplitud térmica entre 8 y 10°C durante el año.

Efectos de la variación de orientación en la ubicación de ventana de la muestra en costa, hacia el norte en lugar de nor-este. La radiación sobre superficies verticales en dirección norte y nor-este en días fríos de la región costa son de vital importancia, debido a la necesidad de radiación solar. La orientación de las caras verticales durante las mañanas hacia el NE sirve para tomar la radiación solar de las mañanas de los días fríos. Pero si analizamos el promedio de la radiación norte sobre las superficies verticales en esos mismos días fríos, observamos que la radiación promedio hacia el N es ligeramente mayor que la orientación NE. En el resultado de los cálculos de balance de energía, podemos observar que el promedio total del cálculo de balance de energía, entre el promedio calculado con la Norma EM-110 y la aplicación de materiales más aislantes fue entre 2,250 y 2,500 watt/día respectivamente, mientras que para la orientación reajustada fue de 2,875 watt/día (figura 16). Se comprobó que es una mejor opción nZEB para la orientación de ventana planteada en la edificación presentada en la metodología.

En la investigación “Propuesta metodológica para evaluar la eficiencia energética en edificaciones” (Romero, 2016) el “Laboratorio de enseñanza e investigación en microbiología y biotecnología de la Facultad de ciencias de la UNALM”, está localizado en una latitud 12° S y su zonificación climática corresponde a un clima “Costa sur” de acuerdo con el estudio de Romero (2016). Este clima es equivalente al Desértico costero de la norma EM-110 del RNE (MVCS, 2014).

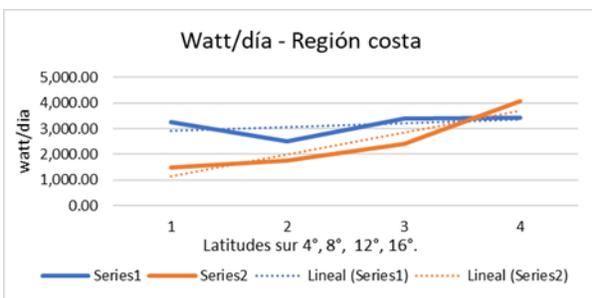


Figura 16. Cálculo del balance de energía - región costa. Latitud 4°s, 8°s, 12°s, 16°s - días cálidos (s1) - días fríos (s2). Norte ajustado.

La ganancia de calor por radiación solar a través de las ventanas en el período cálido es 373328,04 Watts/día y en el período frío es 234813,75 Watts/día. El balance económico indicó que se debería gastar 175,02 S/. x día (54,7 US \$) en el período de los meses cálidos y 110,08 S/.x día (34,4 US \$) en los meses fríos, para pagar el consumo energético de equipamiento mecánico que pudiera compensar el exceso de calor por radiación que ingresa por las ventanas.

El resultado de los cálculos de incidencia solar sobre las ventanas fue bastante alto, tanto para los meses del periodo cálido como los del periodo frío. Se recalculó el edificio reorientándolo y con algunas modificaciones de diseño en las aberturas para mejorar la performance térmica del espacio interior y buscar un equilibrio térmico. El resultado fue que la ganancia de calor por radiación solar a través de las ventanas en el período cálido fue 13790,01 Watts/día y en el período frío fue 8982,99 Watts/día. Como consecuencia el porcentaje de disminución de calor por radiación solar a través de las ventanas fue de 98% para meses cálidos y 94% para los meses fríos. El balance económico debido a la reorientación del edificio indicó un costo 41,5 veces menor en el periodo cálido y 17 veces menor en el periodo frío. El cálculo de energía realizado por Romero (2016), para el edificio de la UNALM demuestra que una buena orientación del edificio con la metodología planteada, nos conduce a un resultado que se acerca a cero (nZEB).

4. CONCLUSIONES

El trabajo plantea un método que facilite decisiones al diseñador para lograr una adecuada orientación de edificaciones por radiación solar debido al asoleamiento

en climas tropicales. Se analizó el recorrido aparente del sol, sus incidencias sobre las caras verticales de la edificación y las condiciones de la temperatura ambiental con relación a la temperatura de confort.

La metodología planteada es independiente y complementaria a la realización de un cálculo de balance de energía de un edificio, es predictiva y eficiente en las etapas del proyecto del diseño arquitectónico. Permite al proyectista tomar decisiones fundamentales en la orientación de un edificio en beneficio de la eficiencia energética por radiación solar y los requerimientos de ganancia o protección necesaria para el confort térmico de los usuarios en el diseño de un edificio.

El método para la orientación de edificaciones ha sido corroborado mediante los cálculos de balance de energía realizada para la muestra correspondiente, demostrando que la metodología es viable y efectiva para ser aplicado en el planteamiento para el diseño arquitectónico.

El el método presentado para determinar la orientación eficiente de edificaciones en climas tropicales en el territorio peruano, logra edificaciones con tendencias a estándares de energía cerca a cero (nZEB).

Conflicto de intereses

Los autores firmantes del presente trabajo de investigación declaran no tener ningún potencial conflicto de interés personal o económico con otras personas u organizaciones que puedan influir indebidamente con el presente manuscrito.

Contribuciones de los autores

Preparación y ejecución: NC, VL; Desarrollo de la metodología: NC, VL, BR; Concepción y diseño: NC, VL; Edición del artículo: NC; Supervisión del estudio: VL.

REFERENCIAS

- Aguado, E., & Burt, J.E., (2015). Understanding Weather and Climate, Global Edition. Pearson Education Canada.
- Alajmi, A. R., Rodríguez, S & Sailor, D. (2018). Transforming a passive house into a net-zero energy house: a case study in the Pacific Northwest of the US. Energy Conversion and Management.

- 172, 39-49.
<https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.06.107>
- Alvarez, D. (2017). Evaluación de la orientación y el ángulo de inclinación óptimo de una superficie plana para maximizar la captación solar en Cuenca Ecuador. Trabajo de titulación previo a la obtención del título de Ingeniería Ambiental. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana. 116 p. accesado 26/12/2022. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14458/1/UPS-CT007120.pdf>
 - Ambrosio, F., Cereghetti, J., & Girold, G. (2016). Simulador de trayectoria solar. Informe técnico. Instituto de ciencias Sociales y disciplinas proyectuales. Buenos Aires: Universidad Argentina de la Empresa- Facultad de Arquitectura y Diseño. 20 P. <https://docplayer.es/81948507-Universidad-argentina-de-la-empresa-facultad-de-arquitectura-y-diseno.html>
 - Arias, R. M., Mader, T.K & Escobar, P.C. (2008). Factores climáticos que afectan el desempeño productivo del ganado bovino de carne y leche. *Archivos de medicina y veterinaria*, 40(1), 7-22. <http://doi.org/10.4067/S0301-732X2008000100002>
 - Chávez Del Valle, F. (2002). Zona variable de confort térmico. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya. 182p. Accesado 26/12/2022. <http://hdl.handle.net/2117/93416>
 - Colclough S, K., Kinnane, O., Hewitt, N. & Griffiths, P. (2018). Investigation of nZEB social housing built to the Passive House standart. *Energy and Building*, 179, 344-359. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.06.069>
 - D´Amanzo, M. M., Mercado, M. & Ganem, C. (2020). 10 Preguntas de los edificios energía cero: revisión del estado del arte. *Hábitat Sustentable*, 10, 24 - 41. <http://dx.doi.org/10.22320/07190700.2020.10.02.02>
 - Dalbem, R. G. Grala da Cunha, E., Vicnete, R., Figueiredo, A., Oliveira, R. & Silveira, A. (2019). Optimisation of a social housing for south of Brazil: From basic performance standard to passive house concept. *Energy*, 167, 1278-1296. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.11.053>
 - Dalbem, R., Knop, S., Grala da Cunha, E., Oliveira, R., Rodrigues, F. & Vicente, R. (2016). Verification of the Passive House Concept to the south of Brazil climate. *Journal of Civil Engineering and Architecture*, 10, 937-945. <https://doi.org/10.17265/1934-7359/2016.08.010>
 - Domingo, A. (2011). Apuntes de transmisión del calor. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Accesado 26/12/2022. <https://oa.upm.es/16570/2/amd-apuntes-transmision-calor-v2.4.pdf>
 - Fokaides, P. A., Christoforou, E., Ilic, M., & Papadopoulos, A. (2016). Performance of a Passive House under subtropical climatic conditions. *Energy and buildings*, 133, 14-31. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.09.060>
 - Giraldo, J.D., & Arango, J.P. (2020). Proceso de optimización en el diseño de sistema de calefacción solar pasivo. *Revista Técnica "energía"*, 16(2), 100-110. <https://doi.org/10.37116/revistaenergia.v16.n2.2020.357>
 - Gómez, A. (2018). Sol y arquitectura. Universidad Ricardo Palma. Artículos académicos y de investigación, 131, 1-21. <https://arquitectoalejandrogomezrios.com/fm/publicaciones/articulos/2017-12%20Revista%20Sol%20y%20Arquitectura/RevistaSolArquitectura.pdf>
 - Gómez, A. (2019). Reflexiones sobre la Reflexión Solar, en Lima. Universidad Ricardo Palma. Artículos Académicos y de Investigación, 139, 1-12 <https://arquitectoalejandrogomezrios.com/fm/publicaciones/articulos/2018-09%20Articulo%20Reflexion%20Solar/reflexion-solar.pdf>
 - Gracia-Sánchez, E. I., Vargas-Canales, J. M., Palacios-Rangel, M. I., & Aguilar-Ávila, J. (2018). Sistema de innovación como marco analítico de la agricultura protegida en la región centro de México. *Cuadernos de Desarrollo Rural*, 15(81), 93-116. <https://doi.org/10.11144/javeriana.cdr15-81.sima>
 - Guillen, V. (2014). Metodología de evaluación de confort térmico exterior para diferentes pisos climáticos en Ecuador. In *Proceedings of the Congreso Nacional del Medio Ambiente*. Madrid: CONAMA. 13 p.

- Suarez, R., & Fragoso, J. (2016). Estrategias pasivas de optimización energética de la vivienda social en clima mediterráneo. *Informes de la Construcción*, 68 (541), 1-12. <https://idus.us.es/handle/11441/52158>
- Vera, O., & Villanueva, T. (2017). Metodología de enseñanza para el análisis de un edificio en la asignatura de Acondicionamiento Ambiental. *P&A Pedagogía y Arquitectura*, 2(2), 87-104. <https://doi.org/10.31381/pedagogiaarquitectura.v0i2.1313>
- Weatherspark.com. (2022). The weather year round anywhere on Erath. Obtenido 09/09/2022 de <https://weatherspark.com/>
- Westphal, F. S., Yamakawa, M. A., & de Castro, L. T. (2011). Thermal insulation of building envelope toward zero energy design in hot-humid climate. *Proceedings of the International Building Performance Simulation Association*, Sydney, Australia, 14-16. <https://citeseerx.ist.psu.edu/document?repid=rep1&type=pdf&doi=bbf2f746ef84e5d8a1747c704941deab6780eced>
- Zhovkva, O. (2020). The principles of energy efficiency and environmental friendliness for multifunctional complexes. *Revista de Ingeniería de Construcción*, 35 (3), 308-320. https://web.archive.org/web/20210427190120id_/https://scielo.conicyt.cl/pdf/ric/v35n3/0718-5073-ric-35-03-308.pdf