

Simulation to Improve the Thermal Comfort of a High Andean Hotel Employing Insulating Materials and Air Conditioning Equipment

Edson Samuel Urday Parisaca¹, Eddy Wilmer Canaza Tito²,
Juan Carlos Zúñiga Torres³, Lizbeth Leonor Paredes Aguilar⁴

^{1,2,3} Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Perú, u17205914@utp.edu.pe, 1313497@utp.edu.pe, jzuniga@utp.edu.pe

⁴ Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA), Perú, lparedesa@unsa.edu.pe

Abstract– Thermal comfort is one of the essential elements to improve the comfort and satisfaction of hotel guests. In Andagua, a Peruvian high Andean town where temperatures can drop below 0°C, buildings do not provide adequate thermal comfort for occupants to feel comfortable inside the building, which impacts the length of stay and the profitability of the hotel business. This study evaluates the commercial insulation materials available in Andean cities through software simulations to determine which provides the best insulation to improve the thermal comfort of hotel rooms. The results indicate that thermal insulating materials accompanied by a heating system can change the cold thermal sensation to slightly cool throughout the day. According to the Fanger method, only 20% of the guests will feel discomfort in these conditions, thus improving their satisfaction and increasing the length of their visit to the hotel.

Keywords– Thermal comfort, Andean hotel, energy simulations, thermal insulation materials, HVAC equipment.

Simulación para Mejorar el Confort Térmico de un Hotel Altoandino Empleando Materiales Aislantes y Equipos de Climatización

Edson Samuel Urday Parisaca¹, Eddy Wilmer Canaza Tito²,
Juan Carlos Zúñiga Torres³, Lizbeth Leonor Paredes Aguilar⁴

^{1,2,3} Universidad Tecnológica del Perú (UTP), Perú, u17205914@utp.edu.pe, 1313497@utp.edu.pe, jzuniga@utp.edu.pe

⁴ Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa (UNSA), Perú, lparedesa@unsa.edu.pe

Resumen– *El confort térmico es uno de los elementos esenciales para mejorar la satisfacción de los huéspedes de un hotel, sobre todo en localidades frías. Andagua es una ciudad altoandina peruana donde las temperaturas pueden descender por debajo de los 0 °C. Las edificaciones hoteleras de esta localidad no brindan el confort térmico adecuado para que los ocupantes se sientan cómodos dentro del edificio, lo que afecta la duración de la estadía y la rentabilidad del negocio hotelero. Este estudio evalúa por medio de la simulación por computadora los materiales aislantes comerciales disponibles en las ciudades andinas para determinar cuál proporciona el mejor aislamiento que mejore el confort térmico de las habitaciones de los hoteles. Los resultados indican que los materiales aislantes térmicos acompañados de un sistema de calefacción pueden cambiar la sensación térmica de frío a ligeramente fresca a lo largo del día. Según el método Fanger, solo el 20% de los huéspedes sentirán malestar en estas condiciones, mejorando así su satisfacción y propiciando el aumento de la duración de su estancia en el hotel.*

Palabras clave– *Confort térmico, hotel andino, simulaciones energéticas, materiales de aislamiento térmico, equipos HVAC.*

I. INTRODUCCIÓN

En lugares muy calurosos o fríos el confort térmico es una condición indispensable para el desarrollo adecuado de diversas actividades humanas. El sector hotelero considera este factor para asegurarse que el huésped se sienta satisfecho durante toda su estancia, en especial dentro de sus instalaciones. Por esa razón, los hoteles utilizan climatizadores y/o materiales aislantes térmicos para proporcionar un confort térmico adecuado. Este tipo de soluciones tienen un impacto económico y ambiental. Aproximadamente, los climatizadores utilizan más del 50% de la energía del hotel y generan una cantidad considerable de gases de efecto invernadero [1] [2].

El sector hotelero en países desarrollados sigue reglamentos respecto al uso de sistemas de climatización para mejorar la eficiencia energética de las edificaciones [3]. Por ejemplo, en Noruega existen reglamentaciones que exigen a los hoteles que cuenten con un sistema de aislamiento térmico para permitirles el uso de climatizadores, provocando de esta forma un uso más eficiente [1] [4].

Digital Object Identifier: (only for full papers, inserted by LACCEI).
ISSN, ISBN: (to be inserted by LACCEI).
DO NOT REMOVE

Sin embargo, en países de Latinoamérica, las normativas no son tan claras respecto al uso de climatizadores. Ya las instituciones encargadas de fiscalizar las características obligatorias de construcción respecto a materiales y confort térmico, a veces no lo realizan por cuestiones logística y recursos, en especial en las localidades más alejadas de los principales centros urbanos [5].

Andagua, una localidad altoandina del Perú con gran potencial turístico posee un clima cuyas temperaturas mínimas durante todo el año están por debajo de los 0°C. El incremento de turistas ha provocado la construcción de hoteles por parte de los lugareños, quienes carecen de conocimientos técnicos que lo lleven a incluir materiales aislantes térmicos en el proyecto de edificación. Además, no se suele utilizar climatizadores por cuestiones de desconocimiento técnico y costos que afectan su rentabilidad. Estas deficiencias provocan que Andagua no sea un destino turístico mejor apreciado y que los turistas acorten su estadía en dicha localidad [6].

La mejora de las condiciones de confort térmico de los hoteles en comunidades altoandinas como Andagua, podría contribuir con el crecimiento del sector turístico y que una estancia más prolongada incremente el gasto promedio del turista beneficiando directa e indirectamente a los negocios locales. Por ello, se propone mejorar el confort térmico mediante el uso de simulaciones energéticas, comparando el desempeño de los diferentes materiales aislantes térmicos disponibles en la localidad tomando en cuenta las condiciones climatológicas, características del hotel y el uso de equipos de climatización.

II. MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS

En los últimos años se realizaron estudios para obtener un confort térmico óptimo sin descuidar aspectos de sostenibilidad ambiental y eficiencia energética. El sector construcción viene aplicando esta tendencia, ya que se requiere reducir el costo de la energía eléctrica y disminuir cantidad de gases de efecto invernadero, esto sin perder aspectos de diseño que provean un ambiente confortable para el desarrollo de diversas actividades humanas [1].

Los materiales aislantes se pueden agrupar en: aislantes convencionales, aislantes sostenibles y aislantes de última generación. El rendimiento térmico de los materiales aislantes

convencionales es mejor que el de los materiales aislantes sostenibles [6]. Sin embargo, tienen un impacto mayor en el medioambiente debido a los procesos en que son fabricados [7].

Los materiales aislantes térmicos convencionales más utilizados son: la lana de vidrio y la lana mineral, ya que proporcionan un buen aislamiento térmico. Ambos materiales poseen una conductividad térmica muy parecida, pero tienen una diferencia notable en la resistencia a la compresión a favor de la lana de vidrio, lo que también facilita su almacenamiento y transporte [8]. También se suele utilizar espumas aislantes como poliestireno expandido, poliestireno extruido y espuma de poliuretano [9]. En temperaturas bajo cero, estos materiales no pierden sus propiedades de aislamiento. Sin embargo, no pueden ser usados como único método para mejorar el confort térmico en viviendas y edificios [10].

Por otro lado, los materiales aislantes sostenibles son más amigables con el medioambiente, pero pierden sus propiedades cuando están sometidos a climas húmedos o lluviosos [11]. Los materiales aislantes de última generación son los que tienen mejor rendimiento por su mínima transferencia de calor, pero todavía se encuentran en fase de investigación y desarrollo, no estando comercialmente disponibles en Latinoamérica [12].

Respecto a los materiales aislantes térmicos sostenibles se encontró un estudio que fabricó un material a base de trigo y cáscara de maíz que podría ser una alternativa al poliestireno expandido de densidad de 10 kg/m³ [13]. Por otro lado, el aislamiento térmico con materiales de última generación como los paneles de aerogel, por su espesor delgado, resulta ser un método que permite aislar una edificación sin afectar su arquitectura [12].

III. ENFOQUE EXPERIMENTAL

A. Estudio de caso

El estudio se realizó con base a las condiciones climatológicas y constructiva de un hotel altoandino típico que opera en el distrito de Andagua (-15.4978, -72.355), ubicado en la provincia de Castilla del departamento de Arequipa en el Perú. Andagua está a una altitud de 3,574 msnm y posee características bioclimáticas típicas de los valles altoandinos como descrito en la TABLA I.

Andagua también es conocida como el “valle de los volcanes” ya que alberga una gran cantidad de volcanes de diferentes tamaños y características geológicas, así como lagunas naturales que lo convirtieron en un destino turístico importante de la región. Sin embargo, las edificaciones hoteleras han sido construidas principalmente por los lugareños sin considerar principios o materiales para un confort térmico eficiente [13].

TABLA I
CARACTERÍSTICAS BIOCLIMÁTICAS DEL DISTRITO DE ANDAGUA

Temperatura media anual	12°C
Humedad relativa promedio	30% a 50%
Radiación solar	2 a 7.5 KWh/m ²
Precipitación	150 a 2,500 mm

Para entender el comportamiento climático de Andagua se analizó la temperatura, humedad relativa, precipitación, radiación solar y velocidad de viento que se presentó en el año 2021 utilizando los registros históricos del repositorio *Power Data Access Viewer* de la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio de los Estados Unidos (conocida por sus siglas en inglés como NASA) [14]. En la TABLA II se presentan los valores promedio de cada parámetro que se utilizaron en el estudio.

TABLA II
PARÁMETROS CLIMATOLÓGICOS DEL DISTRITO DE ANDAGUA

Mes	Temp. Máx. (°C)	Temp. Mín. (°C)	Temp. Media (°C)	H.R. (%)	Prec. (mm/día)	Rad. Solar (kWh/m ²)	Vel. Viento (m/s)
Enero	17.53	-0.63	7.42	71.44	0.85	2.49	2.80
Febrero	19.55	-1.48	7.62	67	0.75	2.55	2.78
Marzo	17.02	0.4	7.22	75.5	0.68	2.47	2.50
Abril	18.64	-1.42	7.26	58.75	0.49	1.90	2.72
Mayo	17.16	-1.1	6.64	54.56	0.02	1.59	2.54
Junio	16.78	-1.53	5.81	46.94	0.01	1.44	2.75
Julio	17.01	-0.63	6.51	40	0	1.34	2.42
Agosto	17.34	-1.4	6.6	41.62	0	1.34	2.94
Septiembre	19.88	0.01	8.69	44.75	0.11	1.89	2.66
Octubre	19.98	-1.46	8.78	37.88	0.41	1.77	3.12
Noviembre	19.37	-1.02	8.57	45.06	0.61	2.48	2.99
Diciembre	21.08	-0.42	8.63	57.75	0.55	2.71	3.02

El diagnóstico de confort térmico, utilizando el diagrama de Givoni [15] para el clima del distrito de Andagua (representado por la Fig. 1 y TABLA III) muestra que en ningún mes del año se proporciona confort térmico. El diagrama sugiere que las edificaciones construidas en el lugar deberían considerar estrategias bioclimáticas de diseño como calefacción convencional, humidificación y calefacción por ganancias térmicas.

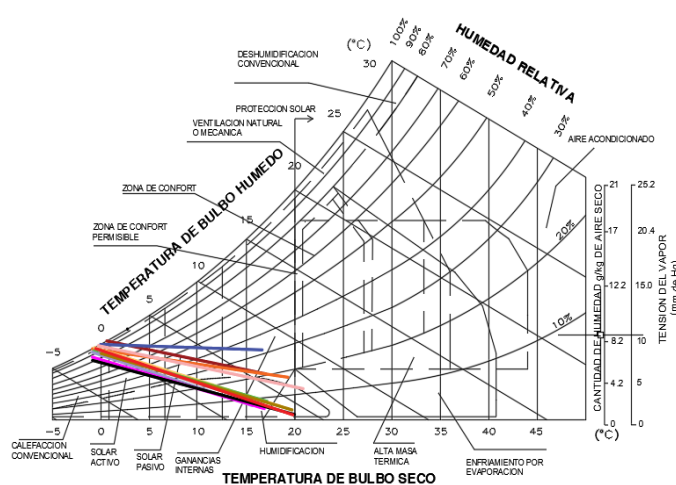


Fig. 1 Diagrama psicrométrico de Givoni para el distrito de Andagua.

VALORES PARA EL DIAGRAMA DE GIVONI PARA EL DISTRITO DE ANDAGUA.

TABLA III

Mes	Color	Temp. Máx. (°C)	Temp. Mín. (°C)	H.R. Máx. (%)	H.R. Mín. (%)
Enero	—	17.53	-0.63	100	20.6
Febrero	—	19.55	-1.48	100	18.25
Marzo	—	17.02	0.4	100	32.75
Abril	—	18.64	-1.42	96.56	6.94
Mayo	—	17.16	-1.1	95.19	8.88
Junio	—	16.78	-1.53	94.19	7.38
Julio	—	17.01	-0.63	90.44	7.44
Agosto	—	17.34	-1.4	87.62	6.88
Septiembre	—	19.88	0.01	86.75	5.75
Octubre	—	19.98	-1.46	81	3.12
Noviembre	—	19.37	-1.02	97.44	5.25
Diciembre	—	21.08	-0.42	100	12.5

Para lograr mejorar las condiciones de confort térmico en un hotel altoandino que opera en Andagua, se identificó la disponibilidad de materiales aislantes térmicos descritos en la TABLA IV, donde se detallan los tipos de aislantes térmicos y los espesores de cada material disponible.

TABLA IV
MATERIALES AISLANTES TÉRMICOS IDENTIFICADOS

Materiales	Espesor (m)
Lana de vidrio (GW)	0.05, 0.0635, 0.0889
Lana mineral de roca (SW)	0.05
Poliestireno expandido (EPS)	0.05

B. Modelo experimental

El modelo experimental consiste en un conjunto de simulaciones energéticas para la edificación del estudio de caso. A continuación, se describe el procedimiento y parámetros utilizados para realizar las simulaciones.

1) Modelamiento de la estructura de la edificación

Para el modelamiento de la estructura de la edificación se utilizaron los planos de construcción del hotel altoandino. El modelamiento se realizó con el software de diseño 3D Sketchup Pro-versión 2021. En la Fig. 2 se puede apreciar una imagen real del hotel (a) y el modelamiento desarrollado (b).

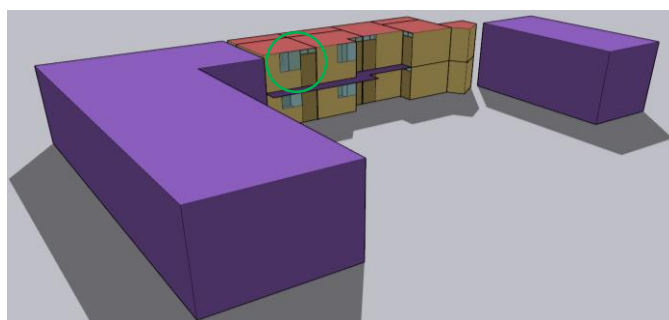


Fig. 2 Modelado de la estructura de la edificación hotelera.

Como se observa en la Fig. 2.b también se realizó el modelamiento de las edificaciones que rodean a la estructura estudiada (estructuradas de color morado) y la protegen de la intemperie altoandina, lo que debe ser considerado para una mayor precisión en los cálculos de la simulación.

2) Modelamiento del clima, materiales de construcción y equipos electrónicos instalados para las simulaciones

Para realizar la simulación energética de la edificación se utilizó los complementos OpenStudio [16] y EnergyPlus [17]. Los parámetros configurados en el software fueron los siguientes:

Clima: Para la configuración del clima se utilizaron los datos climatológicos contenidos en el archivo EPW descargado del repositorio *Power Data Access Viewer* indicados en la TABLA II.

Materiales de construcción: Para complementar el modelamiento estructural, se modelaron los materiales de construcción utilizados en la edificación hotelera en el software de simulación. Se aplicaron a cada bloque del modelo de construcción (paredes, techo y piso). En la TABLA V se detalla las propiedades de aspereza, espesor, conductividad, densidad y calor específico insertados para cada material.

TABLA V
PARÁMETROS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN

Parámetro	Pared Lad.	Pared Mort.	Techo Lad.	Techo Mort.	Piso Conc.	Piso Mort.
Roughness	Rough	Smooth	Rough	Smooth	Rough	Smooth
Thickness (m)	0.12	0.015	0.15	0.025	0.06	0.04
Conductivity (W/m·K)	0.47	1.4	0.35	1.4	1.51	1.4
Density (kg/m ³)	1000	2000	600	2000	2300	2000
Specific Heat (J/Kg·K)	930	1000	10000	1000	1000	1000
Thermal Absorptance	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7
Visible Absorptance	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

También se crearon los materiales aislantes térmicos para analizar los cambios de confort térmico a partir de su instalación en la estructura de la edificación. En la TABLA VI se detalla las propiedades de aspereza, espesor, conductividad, densidad y calor específico insertados para cada material.

TABLA VI
PROPIEDADES DE LOS MATERIALES AISLANTE TÉRMICOS

Parámetro	GW 0.05m	SW 0.05m	EPS 0.05m
Roughness	Med. Smooth	Med. Smooth	Med. Smooth
Thickness (m)	0.05	0.05	0.05
Conductivity (W/m·K)	0.043	0.042	0.033
Density (kg/m ³)	11	40	30
Specific Heat (J/Kg·K)	840	700	1700
Thermal Absorptance	0.9	0.9	0.9
Solar Absorptance	0.7	0.7	0.7
Visible Absorptance	0.7	0.7	0.7

Equipos eléctricos: También se agregó un foco de 100W y una estufa de 400-800W a cada habitación en el modelo de simulación. Se utiliza este tipo de equipos eléctricos con el objetivo de mejorar las condiciones de confort térmico en las habitaciones de la edificación.

Como se representa en la Fig. 3 el foco se enciende a partir de las 06:00 y se apaga a la medianoche (6 horas), mientras que el horario de funcionamiento de la estufa es de 20:00 a 06:00 del día siguiente (10 horas).

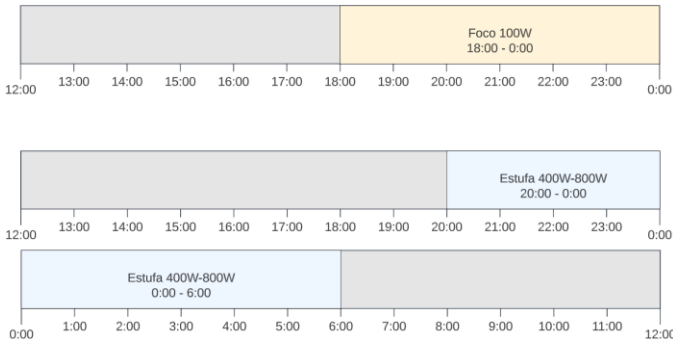


Fig. 3 Horario de funcionamiento de los equipos eléctricos.

3) Validación del modelo de simulación

Para la validación del modelo de simulación se utilizó dos métodos estadísticos que son ampliamente utilizados en este tipo de estudios: el porcentaje de error de sesgo medio (MBE) descrito por la fórmula (1) y el porcentaje de error cuadrático medio (RMSE) descrito por la fórmula (2).

$$\% RMSE = \frac{100}{x_{measured\ avg}} \sqrt{\frac{1}{N} \sum (X_{measured} - X_{simulated})^2} \quad (1)$$

$$\% MSE = \frac{100}{x_{measured\ avg}} \sum \frac{(X_{measured} - X_{simulated})}{N} \quad (2)$$

Para aplicar las fórmulas se calcularon los márgenes de error para la temperatura y humedad relativa (HR) de los datos insertados en el modelo respecto a los datos reales que fueron colectados utilizando el datalogger SNN-22ET durante 24 horas en una habitación (escogida al azar) del hotel, tal como se muestra en la TABLA VII.

TABLA VII
ERRORES PARA LA VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN

Hora	Data Simulación		Data Datalogger		Errores Temperatura		Errores H.R.	
	Temp. Media (°C)	H.R. Media (%)	Temp. Media (°C)	H.R. Media (%)	Error	Error^2	Error	Error^2
0	8.05	67.88	7.4	59	-0.65	0.42	-8.88	78.90
1	7.61	70.19	7	61.2	-0.61	0.37	-8.99	80.89
2	7.32	72.52	6.6	62	-0.72	0.52	-10.52	110.64
3	7.25	74.77	6.2	63	-1.05	1.10	-11.77	138.47
4	7.43	76.31	5.9	64	-1.53	2.34	-12.31	151.54
5	7.91	76.73	5.5	64	-2.41	5.80	-12.73	162.01
6	8.67	75.80	5.8	63	-2.87	8.23	-12.80	163.88
7	9.57	73.36	6.1	61	-3.47	12.07	-12.36	152.87
8	10.56	69.65	6.6	59.4	-3.96	15.66	-10.25	104.97
9	11.50	65.47	8.9	57.9	-2.60	6.75	-7.57	57.30
10	12.31	61.25	10.4	55.9	-1.91	3.66	-5.35	28.67
11	13.02	57.50	11.5	53.8	-1.52	2.31	-3.70	13.69
12	13.38	54.46	12.4	52.6	-0.98	0.97	-1.86	3.45
13	13.33	51.99	13	52	-0.33	0.11	0.01	0.00
14	13.01	50.78	13.4	52.2	0.39	0.15	1.42	2.02
15	12.56	50.99	13.3	52.5	0.74	0.55	1.51	2.29
16	12.08	52.10	13	53.2	0.92	0.84	1.10	1.21
17	11.61	53.68	12.5	53.9	0.89	0.79	0.22	0.05
18	11.14	55.40	11.5	56.1	0.36	0.13	0.70	0.49
19	10.60	57.16	10.1	57.7	-0.50	0.25	0.54	0.29
20	10.06	58.95	9.4	58.3	-0.66	0.44	-0.65	0.43
21	9.54	61.10	8.8	58.6	-0.74	0.54	-2.50	6.27
22	9.02	63.31	8.2	58.8	-0.82	0.67	-4.51	20.37
23	8.53	65.57	7.9	58	-0.63	0.39	-7.57	57.33
24	8.05	67.88	7.4	59	-0.65	0.42	-8.88	78.90
Prom			9.225	57.838	-1.03	2.71	-5.37	55.75

Para que los resultados de la simulación sean representativos para el estudio, el error de sesgo medio debe encontrarse entre el rango de -15% hasta 15% y el error cuadrático debe poseer valores menores al 35%. Aplicando las fórmulas se obtuvieron los resultados que se muestran en la TABLA VIII y que cumplen los valores determinados.

TABLA VIII
RESULTADOS DE LOS ERRORES PARA LA VALIDACIÓN DE LA SIMULACIÓN

Parámetro Métrica	Temperatura	Humedad Relativa
% MSE	-0.46	-0.39
% RMSE	6.00	19.68

Como se evidencia en los resultados, la temperatura y la humedad relativa, cumplen con las condiciones para poder ser utilizados en el presente estudio.

4) Diagnóstico del confort térmico

Para realizar el diagnóstico de confort térmico interno, se utilizó el método de Fanger [18]. Después de cada simulación

se evaluó la sensación térmica utilizando el voto medio pronosticado (PMV) y el porcentaje de personas con cierta incomodidad utilizando el porcentaje pronosticado de insatisfacción (PPD). Para verificar que la habitación cumple con el estándar ASHRAE 55 [19] (PMV -3 a 3) para confort térmico, se realizaron los cálculos de los valores que considera el método Fanger. Para ello se utilizó el software CBE Thermal Confort Tool [20] con la configuración de los parámetros de la TABLA IX.

TABLA IX
PARÁMETROS PARA EL DIAGNÓSTICO DE CONFORT TÉRMICO

Parámetro	Valor
Temperatura operativa	Datos obtenidos de la simulación.
Velocidad del aire	No existe ventilación artificial en la habitación.
Humedad relativa	Datos obtenidos de la simulación.
Tasa metabólica	El valor siempre será 1. Se considera que el huésped está sentado y quieto.
Nivel de ropa	El nivel de ropa es de 0.96 clo. Se considera que el huésped está vestido con chaqueta, pantalón y polo manga larga.

5) Condiciones de simulación

Las simulaciones se realizaron tomando como referencia las condiciones climáticas de junio, que es uno de los meses en el que se presentan menores temperaturas en Adagua.

Solo se evaluó el rendimiento térmico del sistema de calefacción y los materiales aislantes en términos de temperatura y humedad relativa en la habitación escogida al azar del hotel, considerando las características descritas en la TABLA X.

TABLA X
CARACTERÍSTICAS DE LAS ENTORNO DE SIMULACIÓN

#	Nombre	Descripción
1	Condiciones base	Confort térmico de la habitación del hotel sin ninguna alteración.
2	Sistema de calefacción	Confort térmico de la habitación del hotel con la estufa encendida a 400W y 800W en el horario establecido en la Fig. 3.
3	Aislamiento térmico	Confort térmico de la habitación del hotel con la instalación de cada material aislante térmico (GW, SW, EPS) en la estructura de la edificación.
4	Aislamiento térmico y sistema de calefacción	Confort térmico de la habitación considerando las condiciones de la configuración de las simulaciones 2 y 3.

IV. RESULTADOS

A. Confort térmico base

Bajo las condiciones iniciales la sensación térmica que predomina según el valor PMV es “frío” y el valor de PPD indica que casi todos los huéspedes sentirían incomodidad bajo estas condiciones, como representado en la Fig. 4.

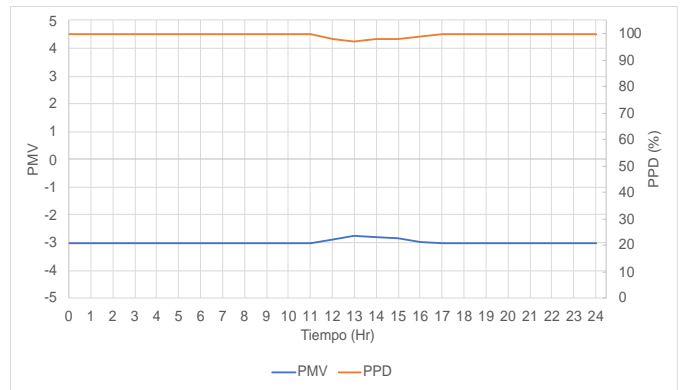


Fig. 4 Confort térmico base de la habitación.

B. Confort térmico utilizando un sistema de calefacción

Cuando se pone en funcionamiento una estufa con potencia de 400W y 800W a las 6:00 am, la habitación alcanza una temperatura interna de 21.37°C y 15.33°C respectivamente, con una humedad relativa de 30.71% y 44.88%.

Como se observa en la Fig. 5, tanto la temperatura como la humedad relativa mejoran incluso cuando las estufas están apagadas en el intervalo de 7:00am hasta las 8:00pm solo con el rendimiento térmico de los materiales utilizados para la construcción de la edificación.

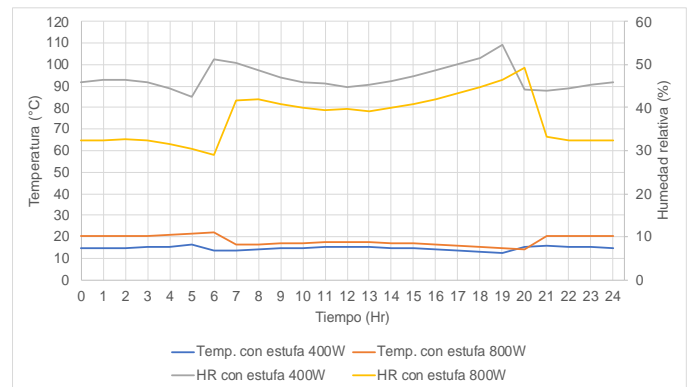


Fig. 5 Temperatura y humedad base de la habitación.

El confort térmico interno, cuando la estufa está encendida en su configuración de 400W (Ver Fig. 6) describe una predominancia de la sensación de “frío” y se experimenta la sensación de “fresco” entre las 10:00am a 5:00pm. Respecto al PPD durante casi todo el día los huéspedes sentirán incomodidad.

Por otro lado, cuando se cambia la configuración de la estufa a 800W, la habitación presenta una predominancia de sensación de “fresco” y solo se experimenta la sensación de “frío” entre las 7:00pm y 8:00pm.

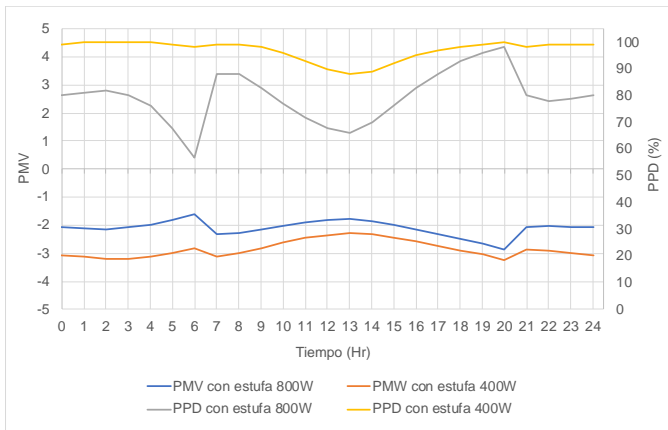


Fig. 6 Confort térmico de la habitación con un sistema de calefacción.

C. Confort térmico con materiales de aislamiento térmico

Los resultados de la simulación con los materiales aislantes que se instalarían en la estructura de la edificación (Ver Fig. 7) indican que la lana de vidrio (GW) logra retener mayor calor a partir de la media noche hasta el mediodía. Mientras que la lana mineral de roca (SW) y el poliestireno expandido (EPS) almacenan mayor calor que la lana de vidrio, desde la 1:00pm hasta las 11:00pm.

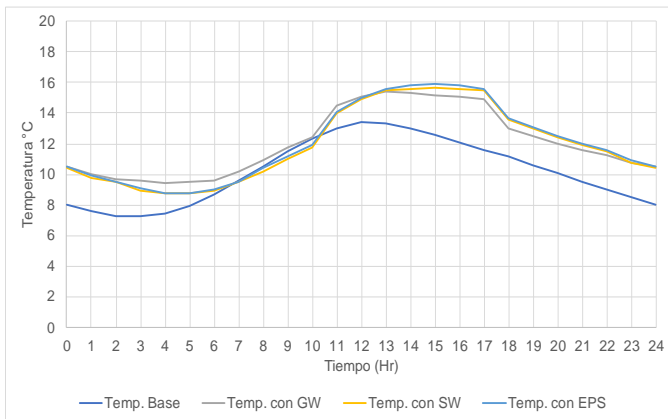


Fig. 7 Temperatura de la habitación con materiales aislantes térmicos.

También se puede observar que la lana de vidrio posee un comportamiento más estable que la lana mineral de roca y el poliestireno expandido, a pesar de que tiene un mayor valor de transmitancia térmica. Se observa este comportamiento por la transmitancia térmica de los materiales que se utilizan en la instalación de los aislantes térmicos. La lana de vidrio utiliza placas de yeso con una transmitancia térmica de 0.250 W/mK; mientras que los otros materiales se utiliza únicamente mortero de arena y cemento con una transmitancia térmica de 1.40 W/mK.

Ya como se puede observar en la Fig. 8, la lana de vidrio posee un mejor comportamiento a la humedad relativa respecto a la lana mineral de roca y el poliestireno expandido, sobre todo a partir de la media noche hasta las 5:00pm. Igual que en la

temperatura, se observa este comportamiento por la forma de instalación de la lana de vidrio respecto a la de los otros materiales.

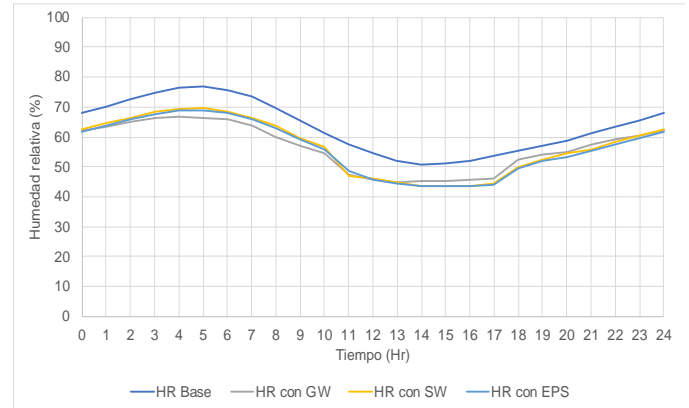


Fig. 8 Humedad relativa de la habitación con los materiales aislantes térmicos.

La habitación con los materiales aislantes térmicos instalados en la estructura de la edificación no presenta mayores variaciones que el confort térmico base. La sensación que predomina según el valor PMV es “frío” y el valor de PPD indica que casi todos los huéspedes sentirían incomodidad bajo estas condiciones (Ver Fig. 9).

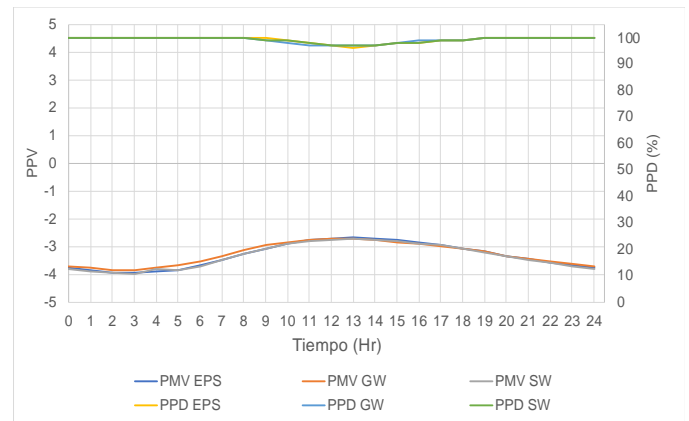


Fig. 9 Confort térmico de la habitación con los materiales aislantes térmicos.

D. Confort térmico con materiales de aislamiento térmico y estufas

Como se presenta en la Fig. 10, la temperatura de la habitación con lana de vidrio presenta mayores temperaturas promedio respecto a las temperaturas de la habitación con lana de roca y poliestireno expandido. El comportamiento de la curva de temperatura es similar en todos los materiales aislantes térmicos.

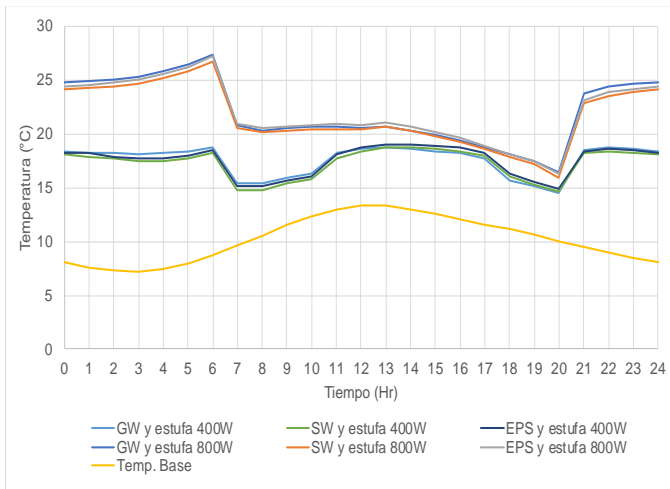


Fig. 10 Temperatura de la habitación con materiales aislantes térmicos y el sistema de calefacción.

Del mismo modo, la habitación con lana de vidrio presenta una menor humedad relativa durante todo el día, tal como se observa en la Fig. 11. El comportamiento de la curva de humedad relativa es similar en todos los materiales aislantes térmicos.

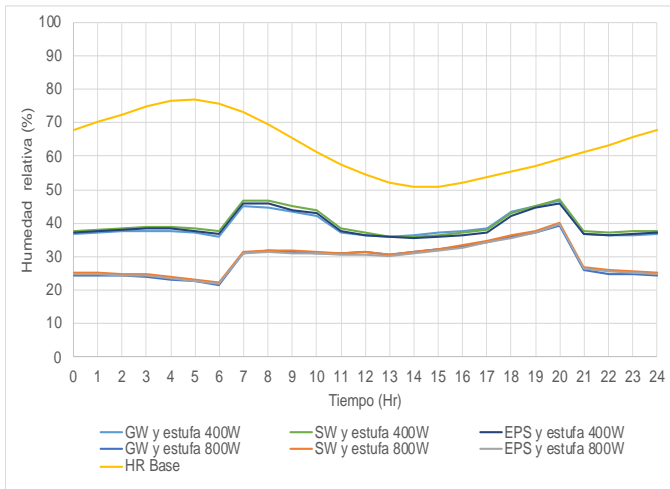


Fig. 11 Humedad relativa de la habitación con materiales aislantes térmicos y el sistema de calefacción.

En confort térmico de la habitación con los materiales aislantes y el sistema de calefacción en 400W proporciona una sensación térmica “fresca” (valor PMV). Respecto al valor PPD existe incomodidad térmica en más de 60% en todas las configuraciones de las simulaciones. Esto se puede observar en la Fig. 12.

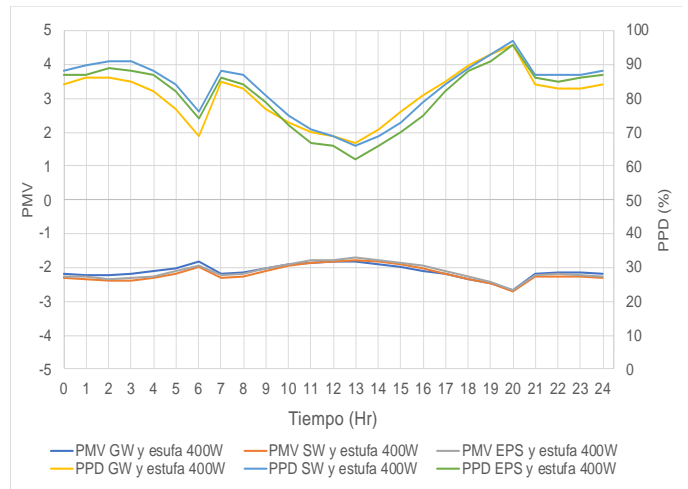


Fig. 12 Confort térmico de la habitación con los materiales aislantes térmicos y el sistema de calefacción de 400W.

Cuando se cambia la potencia de la estufa a 800W, se presenta una mejora del confort térmico considerable en cada material aislante (Ver Fig. 13). En esta configuración de aislamiento térmico con la estufa a 800W encendida en el horario establecido, se logró registrar algunos momentos de sensación “neutral” entre las 4:00am y las 6:00am, mientras que el resto de las horas por lo menos una sensación “ligeramente fresco”.

En ningún momento del día se presentó la sensación térmica “frío”. Según el valor PPD, solo se registraron condiciones de incomodidad superiores al 20% entre la 01:00pm y las 09:00pm. El resto de las horas del día se consideraría que la habitación posee condiciones adecuadas de confort térmico.

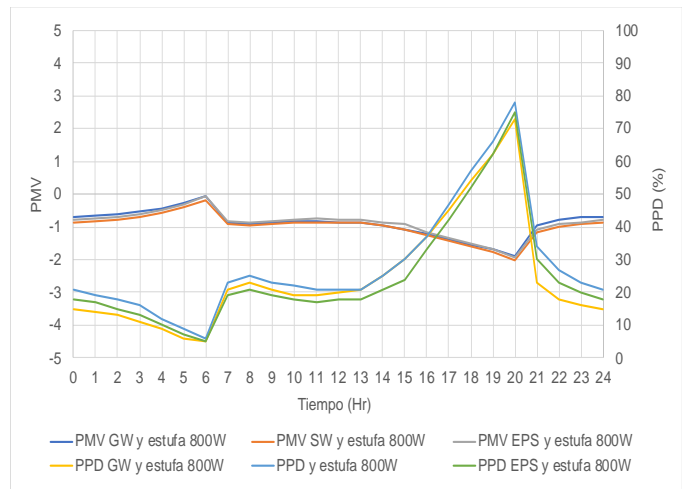


Fig. 13 Confort térmico de la habitación con los materiales aislantes térmicos y el sistema de calefacción de 800W.

V. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos de las simulaciones se demuestra que la instalación de materiales aislantes térmicos en un hotel ubicado en la zona bioclimática altoandina de Andagua junto al uso de un sistema de calefacción permite mejorar los parámetros de temperatura y humedad relativa. Sin embargo, se concluye que los cambios y configuraciones evaluadas no son suficientes para logra cumplir con lo establecido por el estándar ASHRAE55.

A partir de estos resultados se puede diferenciar el aumento de temperatura y disminución de humedad relativa que va mejorando conforme las diferentes configuraciones establecidas para el estudio. Sin embargo, existe una notable mejoría cuando se utiliza el sistema de calefacción junto con el aislamiento térmico de la edificación tal como se visualiza en la TABLA XI. De acuerdo con los resultados de la simulación, el uso de lana de vidrio y estufa de 800W aumentó la temperatura promedio base de la habitación de 9.2°C a 22.1°C y redujo la humedad relativa promedio de 57.8% a 29.0%. Por tanto, podemos concluir que la combinación de materiales aislantes térmicos y equipos de climatización tienen un efecto positivo en el confort térmico de lo potenciales turistas que visiten y se instalen en el hotel altoandino en estudio.

TABLA XI
CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS DE TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA

Condiciones	Temperatura		Humedad Relativa
Condiciones iniciales	Entre 7°C y 13.5°C aproximadamente		Entre 51% y 77% aproximadamente
Con sistema de calefacción	400W	Entre 12.3°C y 16.2°C	Entre 42.5% y 54.6%
	800W	Entre 13.9°C y 22.3°C	Entre 29.1% y 49.2%
Con materiales de aislamiento térmico	GW	Entre 9.4°C y 15.4°C	Entre 45% y 67%
	SW	Entre 8.8°C y 15.7°C	Entre 43.7% y 69.6%
	EPS	Entre 8.8°C y 15.9°C	Entre 43.5% y 69%
Con sistema de calefacción de 400W y materiales de aislamiento	GW	Entre 14.5°C y 18.8°C	Entre 35.9% y 46.9%
	SW	Entre 14.6°C y 18.8°C	Entre 36% y 47%
	EPS	Entre 14.6°C y 19°C	Entre 35.6% y 46%
Con sistema de calefacción de 800W y materiales de aislamiento	GW	Entre 16.5°C y 27.3°C	Entre 21.5% y 39.4%
	SW	Entre 16°C y 26.8°C	Entre 22.1% y 40.2%
	EPS	Entre 16.3°C y 27.2°C	Entre 21.7% y 39.6%

De acuerdo con los resultados de la simulación y al cálculo de los indicadores de la metodología Fanger, se logra un aumento considerable del confort térmico cuando se usan materiales aislantes térmicos y sistema de calefacción. Pero aun utilizando un sistema de calefacción de 800W solo se conseguiría cuatro horas de sensación térmica “neutra”. El resto del día solo se logró cambiar la sensación “fría” por “ligeramente fresco”. Respecto al porcentaje de individuos con incomodidad, se logró reducir hasta 20% la inconformidad de confort térmico cuando se utiliza una estufa de 800W con aislamiento térmico, como se visualiza en la TABLA XII.

TABLA XII
CUADRO COMPARATIVO DE RESULTADOS

Condiciones	PMV	PPD
Condiciones iniciales	Todo el día: “Frío”	> 98%
Con sistema de calefacción de 400W	10am a 5pm: “Fresco” Resto del día: “Frío”	> 90%
Con sistema de calefacción de 800W	7pm a 8pm: “Frío” Resto del día: “Fresco”	> 57%
Con aislamiento	Todo el día: “Frío”	> 94%
Con aislamiento y sistema de calefacción de 400W	Al menos 1hr: “Frío” Resto del día: “Fresco”	> 60%
Con aislamiento y sistema de calefacción de 800W	Al menos 4hr: “Neutra” Resto del día: “Ligeramente Fresco”	1pm a 9pm: > 20% Resto del día: < 20%

De acuerdo con los resultados obtenidos a partir de la simulación de temperatura y humedad relativa junto con los obtenidos por la metodología Fanger podemos concluir que la lana de vidrio (GW) obtuvo mejores resultados, siendo el material de aislamiento térmico de peor rendimiento la lana mineral de roca (SW), al menos para las condiciones particulares evaluadas.

Finalmente, se concluye que el desarrollo de la industria hotelera de Andagua y de otras localidades altoandinas deben invertir en una combinación materiales térmicos aislantes y equipos de climatización para poder mejorar la satisfacción de los huéspedes y con ello su tiempo de estancia en la localidad, lo que probablemente repercuta en el desarrollo turístico y económico de la localidad.

REFERENCIAS

- [1] K. Koosha and E. Newsha, "Qualitative and quantitative optimization of thermal insulation materials," *Journal of Building Engineering*, vol. 30, 2020.
- [2] C. Lingua, C. Becchio, M. C. Bottero, S. P. Corgnati, F. Dell'Ana and V. Fabi, "Energy and economic evaluation of thermal comfort. The case study of the hotel residencia L'Orologio," *International Building Performance Simulation Association*, pp. 2507-2514, 2020.
- [3] I. Dmytro, S. Ase Lekang and N. Natasa, "Splitting measurements of the total heat demand in a hotel into domestic hot water and space heating heat use," *Energy*, vol. 2019, 2020.
- [4] A. Lasse and A. Bernhard, Green buildings in cold climate, The Artic University of Norway, Faculty of Engineering Science and Technology, 2018.
- [5] P. Flores, "La construcción sostenible en Latinoamérica," *Revista de Arquitectura de la Universidad de Lima*, no. 7, pp. 161-173, 2020.
- [6] A. Holguina Huarza, L. Olivera Marocho and K. U. Escobar Copa, "Confort térmico en una habitación de adobe con sistema de almacenamiento de calor en los andes del Perú," *Journal of High Andean Research*, vol. 20, no. 3, pp. 289-300.
- [7] I. N. Chumbiray Alonso, "Análisis del confort térmico en escuela modelo de la sierra peruana y evaluación de mejoramiento térmico mediante el uso de principios bioclimáticos.," *Pontificia Universidad Católica del Perú*, 2021.

- [8] D. Kumar, A. Morshed, P. XW Zou, J. G. Sanjayan and R. A. Memon, "Comparative analysis of building insulation material properties and performance," *Elsevier*, vol. 131, no. 110038, pp. 1-22, 2020.
- [9] M. Palomo Cano, *Aislantes Termicos: Criterios de selección por requisitos energéticos*, Universidad Politecnica de Madrid, 2017.
- [10] J. Goyal, M. Shankar Subbanarasayya and P. V.M, "Analysis of Passive Retrofitting Measures for Reduced Electricity Demand," *International Conference on Nascent Technologies in Engineering*, pp. 1-7, 2019.
- [11] N. Umnyakova, I. Bessonov, A. Zhukov and E. Zinoveva, "Arctic Climate Insulation Systems," *MATEC Web Conf*, vol. 298, pp. 1-8, 2019.
- [12] C. Rojas, M. Cea, A. Iriarte, G. Valdés, R. Navia and J. P. Cárdenas-R, "Thermal insulation materials based on agricultural residual wheat Straw and corn husk biomass, for application in sustainable buildings," *Sustainable Materials and Technologies*, vol. 20, 2019.
- [13] E. Gunter, S. Bichlmair, S. Latz and M. Fricke, "Internal wall insulation with a new aerogel panel: SLENTITE ® for energetic retrofit in historic buildings," *E3S Web of Conferences*, vol. 172, 2020.
- [14] R. d. P. Coronel Moran, "El turismo sostenible como estrategia de desarrollo local: análisis de los resultados del proyecto "Promoviendo el turismo rural, sostenible y ecoeficiente en el valle de los volcanes"," Tesis Doctoral. Pontificia Universidad Catolica del Peru (Peru), Arequipa, 2020.
- [15] P. Stackhouse, "Power Data Access Viewer," NASA, 2020. [Online]. Available: <http://power.larc.nasa.gov>.
- [16] F. Fernández García, "Clima y confortabilidad humana. Aspectos metodológicos," *Serie geográfica*, vol. 4, pp. 109-125, 1994.
- [17] NREL, "OpenStudio," National Laboratory of the U.S. Department of Energy, 2020. [Online]. Available: <https://openstudio.net/>.
- [18] DOE, "EnergyPlus," U.S. Department of Energy's (DOE) Building Technologies Office (BTO), 2020. [Online]. Available: <https://energyplus.net/>.
- [19] K. Stokowiec, D. Kotrys-Działak and P. Jastrzębska, "Verification of the Fanger model with field experimental data," *Journal of Physics*, vol. 2339, no. 1, pp. 1 - 7, 2022.
- [20] ASHRAE, "STANDARD 55 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy," ASHRAE, 2022. [Online]. Available: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>.
- [21] F. Tartarini, S. Schiavon, T. Cheung and T. Hoyt, "CBE Thermal confort tool: Online tool for thermal confort calculations and visualizations," *ScienceDirect*, vol. 12, 2020.