

# Estudio de los índices de confort térmico de una escuela en la zona climática de los Andes Venezolanos

*Study of the thermal comfort indexes of a school in the climatic zone of Venezuelan Andes*

■■■■  
Rossi-Sofía Salas-Rondón, Antonio Rodríguez-Sánchez y Julián García-Muñoz  
Universidad Politécnica de Madrid (España)

DOI: <http://dx.doi.org/10.6036/9024>

La interacción de la arquitectura con el lugar en el que se construye ha sido extensamente estudiada y analizada. En el caso concreto de Venezuela, autores como Curiel [1] denuncian que la arquitectura local actual no busca adecuar la edificación a su contexto, y que no se diseña pensando en mejorar las condiciones de uso; pese a que algunos arquitectos venezolanos del pasado [2] [3], cuya obra ha sido afortunadamente preservada, sí supieron adaptarse y relacionar sus construcciones con el emplazamiento.

No obstante, en Venezuela las iniciativas de adaptar el edificio a las condiciones ambientales exteriores son cada vez menores. Esto nos coloca ante una disyuntiva: asistimos a un crecimiento de la población, pero no somos capaces de optimizar los niveles de consumo. Según la Comisión de Integración Energética Regional (CIER), "Venezuela es el país con mayor consumo de energía eléctrica per cápita en Latinoamérica" [4]. La crisis actual es debida a la alta demanda de energía del país, a la incompatibilidad entre exigencias de confort y criterios de diseño de las edificaciones, y a la deficiente regulación del sector de la construcción [5].

La ASHRAE [6] [7], afirma que las mejores condiciones de confort se dan en espacios donde existe ventilación natural, a diferencia de aquellos con aire acondicionado. [8]. El confort se produce por la adecuación del lugar a las condiciones climáticas, la actividad metabólica de los organismos y la dinámica de transferencia de calor en el ambiente. La simulación energética de edificios por ordenador permite analizar este confort [9]. Esta investigación simula un edificio concreto, una escuela de educación primaria, construida según un modelo de tipología

arquitectónica implantado en el país, para analizar los elementos que intervienen en el confort térmico de los ocupantes.

La edificación objeto de estudio se ubica en el estado Táchira, Municipio Vargas, al suroeste de Venezuela. Las condiciones climáticas presentan pocas variaciones a lo largo del año, con máximas de 26° C y mínimas de 8°C. La variación estacional del país se da en dos periodos: sequía (mayo a noviembre) y lluvia con precipitaciones anuales promedio de 800 mm [10].

Autores como Hornero [11] y Hamilton [12], analizan la ventilación natural de edificios en relación a los índices de confort de los ocupantes. Utilizando el mismo criterio, este trabajo simula un caso de estudio bajo dos condiciones metabólicas para cada período estacionario, estudiando la influencia de la ventilación natural en los índices de confort térmico establecidos por Fanger [13], Voto Medio Previsto (VMP), y Porcentaje Previsto de Insatisfechos (PPD). Mediante el análisis de estas investigaciones podrá establecerse posteriormente las posibles mejoras en un modelo de propuesta utilizando la ventilación natural tal y como Hamilton plantea, en los espacios modificando algunos elementos de la envolvente del edificio. Por otro lado, la metodología de trabajo de esta investigación podrá basarse en las variables de estudio de Hornero, en cuanto a entornos ventilados y sin infiltraciones de aire.

Los resultados y las posteriores conclusiones se basan en el cumplimiento de las hipótesis de la investigación, que plantean que: 1) no existen condiciones de confort en el diseño de este tipo de escuelas, a pesar de que existen normas y recomendaciones nacionales reguladoras (normativas de FEDE<sup>1</sup>) y 2) son deficientes

<sup>1</sup> FEDE [14] es la institución encargada de dar carácter legal a las pautas de la construcción escolar y revisar los proyectos que en esta área realizan otros entes gubernamentales y privados de Venezuela.

estas normativas para garantizar el confort térmico dentro de la edificación.

## 2. METODOLOGÍA DE TRABAJO

La investigación se apoya en simulaciones computacionales de las condiciones de confort y variables físicas del caso de estudio: un centro de educación primaria con niños de edades comprendidas entre 3 y 6 años y una capacidad de 60 alumnos, en un cuerpo en forma de "L". Se estudia el día más caliente y más frío de la temporada de sequía y de lluvia consecutivamente, estimando horarios de ocupación desde las 7 horas hasta las 12.

El proceso experimental sigue las siguientes fases:

1. Se elabora el modelo tridimensional en *Design Builder*, que trabaja con el motor de cálculo de *Energy Plus*<sup>®</sup> y se configuran los datos climáticos en formato EPW mediante interpolación de datos de *Meteo-norm*<sup>®</sup> con registros de los últimos 19 años.
2. Se definen las condiciones de simulaciones y variables del modelo en relación a las características de aberturas, cerramientos y el resto de elementos de la envolvente, personalizándose los materiales. Se resumen dichos parámetros, a continuación:

**Actividad:** edificaciones no residenciales, de carácter educacional.

**Factor de actividad:** 1 MET para ambas temporadas; 0,60 CLO como vestimenta en temporada seca y 1 CLO en temporada lluviosa.

**Ocupación:** densidad 2,00 personas/m<sup>2</sup>.

**Ventilación:** simulación natural con infiltraciones de aire, estado de estanqueidad del aire "muy pobre" y tasa de renovación de 0,8 renov/h.

3. Se establecen las simulaciones a realizar bajo 4 escenarios con diferentes condiciones y durante 2 periodos estacionales (lluvia y sequía, considerados como invierno y verano):

- **ES-1:** semana extrema de verano, 18 dic. 12h. Ventanas cerradas
- **ES-2:** semana extrema de verano, 18 dic. 12h. Ventanas abiertas al 50%

- **ES-3:** semana extrema de invierno, 1 may. 08h. Ventanas cerradas
- **ES-4:** semana extrema de invierno, 1 may. 08h. Ventanas abiertas al 50%
- **ESP-5:** semana extrema de verano, 18 dic. 12h. Aberturas en base a los resultados de los escenarios ES-1 y ES-2
- **ESP-6:** semana extrema de invierno, 1 may. 08h. Aberturas en base a los resultados de los escenarios ES-3 y ES-4

Para los escenarios con aperturas de ventanas, el cálculo de caudales de aire entrante se realiza utilizando la ecuación de caudal efectivo de Etheridge [15], con gráficos adimensionales de modelos teóricos y medidas de tasa de ventilación tomadas de túneles de viento.

4. Se establecen como condiciones de contorno necesarias para el cálculo de índices de Fanger, la distribución de temperaturas, factores ambientales y transferencias y ganancias de calor.
5. Se toman los valores de temperatura y humedad arrojados por el cálculo de Energy Plus® vía *Design Builder* para generar los resultados CFD de un momento específico considerando un modelo estacionario. La simulación alcanza errores con valores por debajo de  $1.0 \times 10^{-3}$  para las ecuaciones de continuidad, sin iteraciones adicionales.
6. Finalmente se procede al análisis y a la exposición de resultados. Dichos resultados se comparan con la normativa europea UNE-EN ISO 7730-2006 [16] en lo que especifica como determinación de VMP y PPD. El empleo de normativas europeas se justifica en la carencia de normas venezolanas.

### 3. RESULTADOS

Los resultados se describen según los escenarios y períodos establecidos anteriormente, con el análisis de dinámica de fluidos computacional (CFD). Las temperaturas superficiales de los cerramientos se establecen mediante aproximaciones de las temperaturas operativas y radiantes resultantes de las simulaciones de referencia. Las temperaturas operativas y flujos de aire también fueron analizados en esta investigación. Sin embargo, en este artículo se presentan sólo los índices de confort térmico, VMP y PPD.

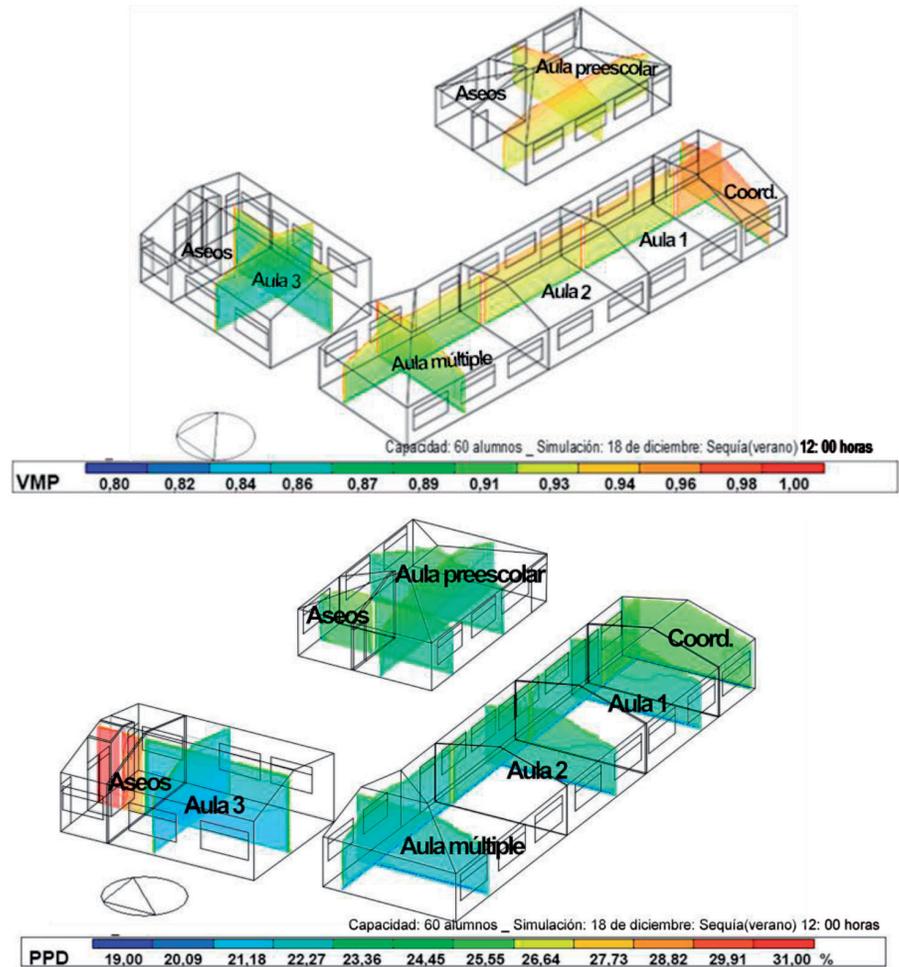


Figura 1: resultados de PPD en la simulación de índices de confort ES-1

### 3.1. RESULTADOS DEL MODELO ACTUAL

#### 3.1.1 Simulación ES-1

Durante las 12 horas de ocupación del día 18 de diciembre, en un entorno totalmente cerrado, la velocidad del aire interior se encuentra entre los 0,01 y 0,10 m/s, la temperatura del aire entre 24°C y 26°C y la temperatura operativa en 27 °C para una velocidad del aire exterior de 3,6 m/s. Como muestra la figura 1, los resultados del PMV ofrecen pocas diferencias entre zonas. La mayor insatisfacción se produce en la sala de coordinación y aula preescolar (entre 0,91 y 0,96), mientras que en el aula 3 y múltiple, debido a la poca radiación solar que reciben durante esa hora y a la penetración directa del viento, los valores disminuyen a 0,87. El nivel de PMV resultante es cercano al grado ligeramente caluroso (+1,00), acorde a lo establecido por la norma UNE-EN 7730-2006. Asimismo, el PPD se encuentra en un porcentaje cercano al 31% en los aseos del aula 3 por la configuración y poco espacio entre particiones, con valores menores de 25,5 % en la sala de coordinación y aseos del aula preescolar.

El 22% y 24 % se ubican en las demás zonas del recinto (aulas 1;2; múltiple y preescolar).

#### 3.1.2 Simulación ES-2

Bajo las mismas condiciones del escenario anterior, se simula un entorno ventilado con aperturas del 50%. Los valores de las ecuaciones Etheridge se encuentran cercanos a los 2345 l/s en la situación más desfavorable (aulas 1,2, múltiple y sala coordinación). A consecuencia de estos movimientos turbulentos del aire, las temperaturas operativas son más bajas con mayor gradiente en comparación con el escenario ES-1.

La figura 2 muestra un VMP con sensación térmica en rangos neutros cercanos al ligeramente caluroso en el aula preescolar. En el aula 3 son cercanos al 0,40 en promedio, mientras que en el edificio de aulas 1,2 alcanzan el 0,30. Los mayores niveles (0,59) se encuentran en la zona de cubierta. La influencia directa del viento en el interior de la escuela parece ser un factor relevante en la sensación térmica de los ocupantes.

Los porcentajes de insatisfacción térmica se encuentran entre un 6% y 13 %.

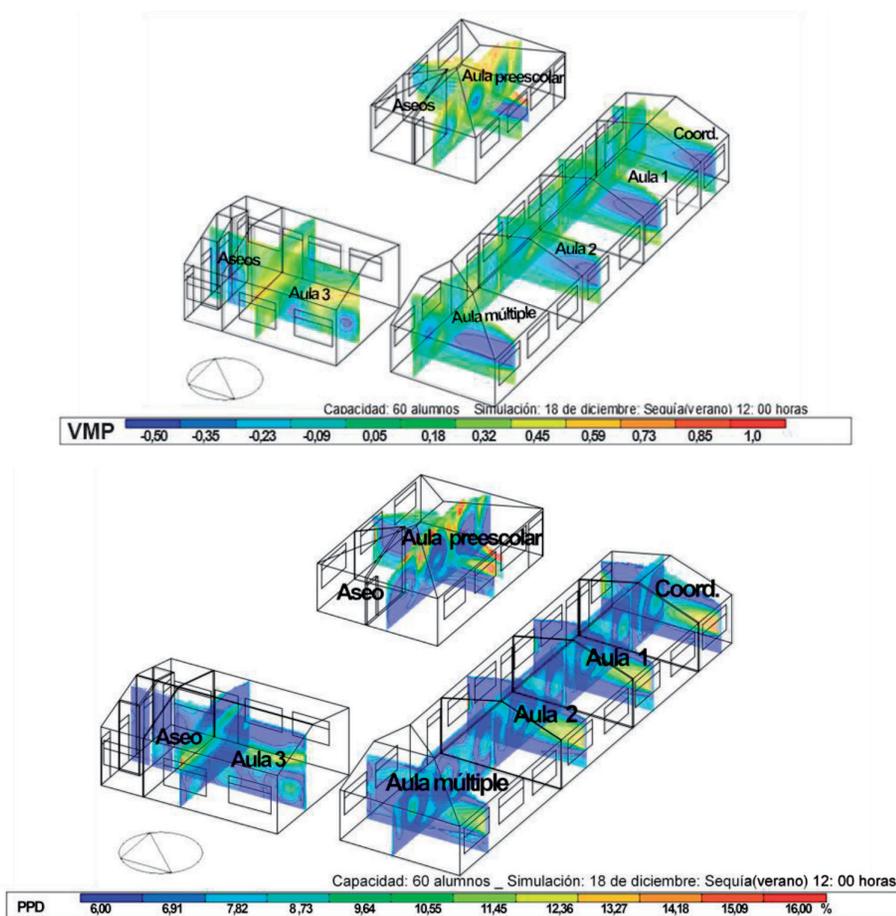


Figura 2: resultados de simulación de índices de confort ES-2

En el aula preescolar, en las zonas cercanas a la cubierta, el porcentaje de insatisfacción alcanza el 16 %. Las mayores proporciones se presentan en la fachada norte del aula preescolar, debido a la velocidad de aire.

### 3.1.3 Simulación ES-3

Con una velocidad del aire exterior de 3,35 m/s e interior de 0,001 a 0,09 m/s, el movimiento del aire durante este escenario de la temporada lluviosa (invierno) es cíclico. Las temperaturas operativas se mantienen entre los 17,4 °C y 17,55 °C. Las zonas donde la temperatura es menor se ubican en las aulas 3/ aseos y múltiple.

La figura 3 muestra los valores de VMP y PPD. El grado es ligeramente fresco, acercándose al neutro, con valores entre -1,13 y 1,04. Los valores cercanos al -0,9 se ubican en los acristalamientos y los paramentos, por el calor que se mantiene en el interior.

El PPD generado en esta simulación se aproxima al 23 % en la mayoría de los recintos del centro educativo. El porcentaje de personas insatisfechas en promedio se ubica en 22,7 %, lo que puede deberse a la ausencia de radiación directa en fachada. La zona más favorable se ubica en los aseos del aula 3, un espacio compacto de mayor almacenamiento de calor.

### 3.1.4 Simulación ES-4

En este escenario, al igual que el escenario ES-2, la configuración del edificio y la dirección del viento hacen que el caudal mayor en el aula 3 y aseos se aproxime a los 152 l/s, ya que a pesar de las aberturas al 50% la ventilación afecta de manera paralela al resto de las zonas.

La sensación térmica se encuentra entre rangos de -1,30 a -1,14, del grado ligeramente fresco. El flujo de aire ejerce, así, una influencia mayor sobre las condiciones de confort en relación con el escenario anterior. En la misma figura se refleja el PPD, evidenciándose un valor cercano al 30% en las zonas óptimas. Las áreas más problemáticas durante este escenario son las aulas 3 y múltiple, aseos y fachada sureste.

## 3.2 RESULTADOS DEL MODELO ADAPTADO A MEJORAS

A pesar de que los problemas detectados en las simulaciones del modelo actual muestran niveles de insatisfacción considerables, el objetivo de la propuesta de mejoras propone pequeñas estrategias que no comprometan su estructura y configuración. Por ser construcciones que pertenecen a organismos gubernamenta-

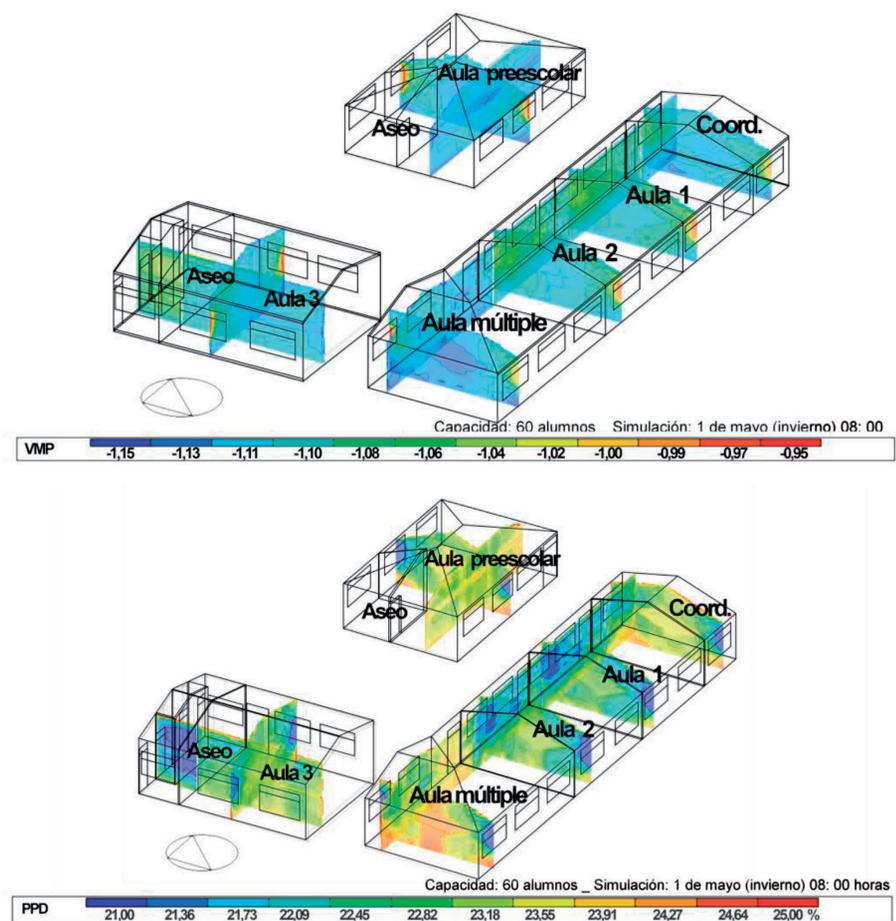


Figura 3: resultados de simulación de índices de confort ES-3.

al nivel neutro. Sólo áreas afectadas por corrientes de aire a velocidades considerables presentan sensación térmica cercana (-0,44) al nivel ligeramente fresco. El porcentaje de insatisfacción en este escenario disminuye en relación a los anteriores, y se encuentra en niveles aceptables según la UNE-EN\_ISO7730-2006. El 16% se encuentra en las zonas cercanas a la cubierta del aula preescolar y el 12% en zonas atravesadas por la corriente de aire (Figura 5a).

**3.2.2 Simulación ESP-6: Escenario 6 (ESP-6) Día 1 de mayo. 08:00 horas Sin ventilación.**

En este escenario la sensación térmica mejora en más de un 50%, pasando de cercano al fresco a prácticamente neutro (Figura 5b). Los niveles se mantienen homogéneos en todas las zonas. Se repite el mismo comportamiento de todos los escenarios, con un nivel promedio de -0,82, neutro aproximándose a ligeramente fresco.

Aunque la propuesta implica la adición de paneles que aporten una inercia térmica, los niveles de satisfacción (PPD) no alcanzan los establecidos por la norma UNE-EN\_ISO 7730-2006. No obstante, los porcentajes disminuyen de un 22% a un 19%.

**3.3 RESUMEN DE RESULTADOS OBTENIDOS**

Los valores promedio de PPD y PMV obtenidos en las simulaciones han sido los siguientes:

Escenario	PMV	PPD
ES-1	0,91 (nivel neutro, acercándose a ligeramente caluroso)	26,16 %
ES-2	0,09 (grado neutro, excepto en las zonas donde el viento incide directamente)	8,91 %
ES-3	-1,02 (grado ligeramente fresco)	22,7 %
ES-4	-1,21 (grado ligeramente fresco)	30,19 %
ESP-5	-0,01 (grado neutro)	11,3 %
ESP-6	-0,82 (grado neutro, acercándose a ligeramente fresco)	19,83%

Tabla 1: resumen de resultados obtenidos

Con estas mejoras se presentan a continuación dos escenarios, correspondientes a cada una de las temporadas (lluvia y sequía):

**3.2.1 Simulación ESP-5: Escenario 5(ESP-5). Día 18 de diciembre. 12:00 horas. Ventilación nocturna al 25%.**

A pesar de que las temperaturas operativas se incrementan en menor medida en este escenario, el voto medio estimado por persona (VMP) se acerca (0,28)

les cuyos presupuestos son bajos, las propuestas son económicamente realistas.

La problemática detectada en las simulaciones del estado actual evidencia que las bajas temperaturas durante el invierno y el aumento de temperatura operativa en verano por radiación son los dos factores más relevantes en la disconformidad térmica. Utilizando las estrategias de diseño que plantea el software *Climate Consultant*<sup>2</sup>, se propone la ventilación nocturna con apertura de ventanas al 25 %, para no generar corrientes de aire, y el sombreado y redimensionado de ventanas, para mejorar la temperatura operativa durante la temporada seca; estrategias ya planteadas por otros trabajos [17], [18].

Las ganancias térmicas se lograrán empleando un panel con cobertura de tierra y entrelazado de caña [19] [20] que pueda adherirse al cerramiento actual y proporcione suficiente inercia térmica. El panel de 10 cm de espesor, compuesto por un 20% de tierra arcillosa y arena, 5% de fibra vegetal y 75% de caña, tiene una conductividad de 0,17 W/mK, una resistencia térmica

<sup>2</sup> Software gratuito, que brinda una serie de estrategias de diseño a través de porcentajes de optimización (en horas) para que la edificación funcione eficientemente.

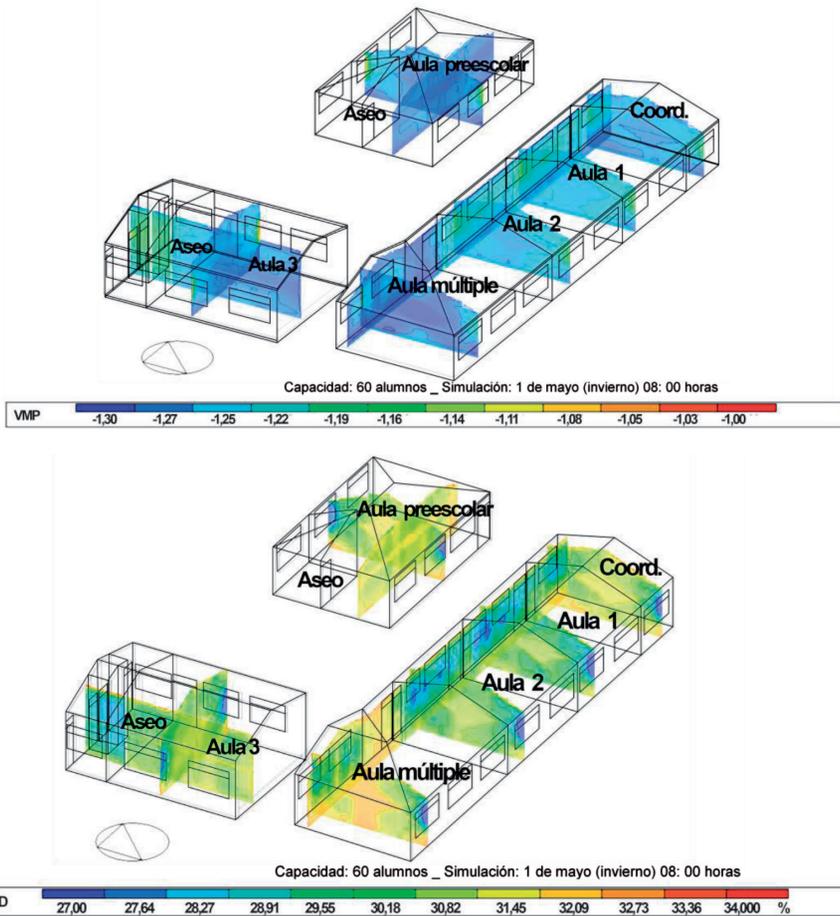


Figura 4: resultados de simulación de índices de confort ES-4

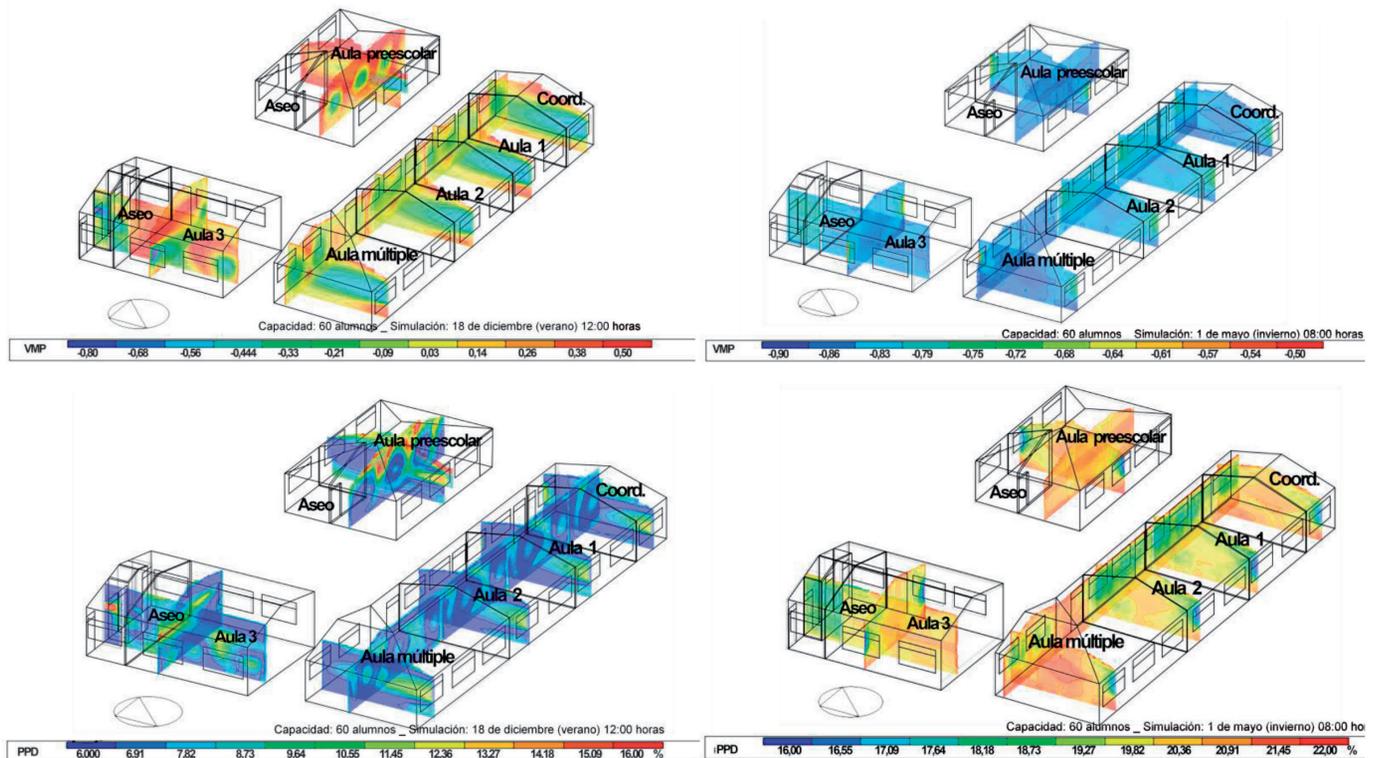


Figura 5a: resultados de simulación de índices de confort ESP-5

Figura 5b: resultados de simulación de índices de confort ESP-6

cas divisadas en la propuesta comprenden el aula 3 y aseos y la fachada noreste del aula preescolar durante la temporada de sequía (verano) y la temporada de lluvia (invierno) por las sombras generadas y la dirección del viento.

Sin embargo, los resultados del modelo actual en temporada de sequía, muestran que la condición del 50% de apertura en ventanas mejora en casi un nivel la sensación térmica, que disminuye en un 9% acercándose al grado deseado (neutro) con un valor de 0,09 y un 8,9% el PPD, en relación al escenario totalmente cerrado cuyo valor se ubica en el 26% de personas insatisfechas. Los resultados del modelo actual en temporada lluviosa, muestran lo contrario, ya que el grado de insatisfacción térmica se acerca al fresco en situación de ambiente ventilado al 50% con valor de -1,21 en relación al -1,02 del escenario totalmente cerrado. De igual manera, el PPD aumenta en un 31% con ventanas abiertas, mientras que este índice disminuye a un 23% bajo la condición de ventanas cerradas.

En efecto, la propuesta de aplicar estrategias de carácter pasivo mejora las condiciones actuales del centro educativo en un 11% en el peor escenario de la temporada lluviosa. Sin embargo, en la temporada seca los resultados no son mejores que en el escenario ES-2 con el 50% de las ventanas. No obstante, a pesar de que, en esta temporada, la propuesta no contribuye a una gran mejora, posiblemente el análisis de otro escenario con un

porcentaje de ventanas abiertas mayor permitiría alcanzar los niveles deseados. De igual forma, el aprovechamiento de ganancias de calor en el interior para la temporada lluviosa, mediante la ocupación y el uso de equipos, podría constituir la mejor técnica aplicada para incrementar los niveles de confort interior.

## REFERENCIAS

- [1] CURIEL, Ernesto. "La arquitectura en regiones de Venezuela". Caracas: Facultad de Arquitectura FAU, Universidad Central de Venezuela. 1982.
- [2] Venezuela y el problema de su identidad arquitectónica. Albizu Azier. 2002. Universidad Central de Venezuela, consejo de desarrollo científico y humanístico. 2007. ISBN 978-980-00-2430-0
- [3] PORTELA, César. "Carlos Raúl Villanueva y la arquitectura del trópico". Revistes Catalanes amb Accés Obert (RACO). 2013, N° 29, p 26.
- [4] Síntesis informativa energética de los países de la CIER. Uruguay: Comisión de Integración Energética Regional (CIER), 2013. 7p.
- [5] SOSA, María y SIEM, Geovanni. "Manual de diseño para edificaciones energéticamente eficientes en el trópico". Hobaica, María Elena (Rev. Gral.); Curiel, Ernesto (Pro.). Caracas: primera edición. Instituto de Desarrollo Experimental de la Construcción (IDEC). 2004. 6p. ISBN: 980-00-2184-1.
- [6] ASHRAE (2010a), Standard 62.1: Ventilation for acceptable indoor air quality. Atlanta GA, American Society of Heating, Refrigerating, and AC Engineers (ANSI/ASHRAE Standard).
- [7] ASHRAE (2010b), Standard 62.2: Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings. Atlanta, GA: American Society of Heating, Refrigeration and AC. Engineers (ANSI/ASHRAE Standard).
- [8] DE DEAR, R y FOUNTAIN, M. Indoor Environmental Quality (IEQ). Field experiments on occupant comfort and office thermal environments in a hot-humid climate [en línea]. California: University of California. ASHRAE Transactions, vol.100, p 2. 1994.
- [9] GARCIA, R, et al. "Características relevantes de la

información energética de viviendas unifamiliares". Informes de la construcción. 2014, vol 66, N°. 553, p. 2. <https://doi.org/10.3989/ic.12.108>.

- [10] Clima de Venezuela [en línea]. Instituto Geográfico de Venezuela Simón Bolívar, <http://www.sigavenezuela.com.ve/fnsv/Geografia/clima>. [Consulta: 03.07.2017] [ref. 12 de junio de 2017].
- [11] HORNERO, Rocío. "Análisis de las edificaciones tipo FEDE y desarrollo de un diseño de Escuela Bolivariana bioclimática para la alta guajira del Estado Zulia (Venezuela)". Tesis de máster. Universidad Internacional de Andalucía, España. Sede internacional Santa María de la Rábida, 2010.
- [12] HAMILTON DIAS, Bordoal. "Estrategias de ventilación natural de edificios para la mejora de la eficiencia energética". Directores: Lacasta, A y Rodríguez, I. Tesis de máster. Universidad Politécnica de Catalunya, España. Departamento de Construcciones Arquitectónicas I, 2010.
- [13] P.O, FANGER. "Thermal Comfort". Mc Graw Hill, New York. 1973. ISBN: 978007019156.
- [14] La fundación [en línea]. Fundación de Edificaciones y Dotaciones Escolares (FEDE), [ref. 5 de mayo de 2015]. Disponible en internet: <http://www.fede.gov.ve/web/index.php/la-fundacion/9-quienes-somos.html>. [Consulta: el 30 de julio de 2017].
- [15] ETHERIDGE, D.W. "nondimensional methods for natural ventilation design". Building and environment. 2002, vol 37, p 1057-1072. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00091-9](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00091-9).
- [16] AENOR, Ergonomía del ambiente térmico. UNE-EN 7730. Madrid: AENOR, 2006.
- [17] SHERMAN, M. H., I. S. Walker, (2011a), Meeting residential ventilation standards through dynamic control of ventilation systems, Berkeley, CA, Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL 4591E.
- [18] SHERMAN, M. H. (2004), Efficacy of intermittent ventilation for providing acceptable indoor air quality, Environmental Energy Technologies Division, Berkeley, CA, Lawrence Berkeley National Laboratory, October 2004, LBNL 56292. <https://doi.org/10.2172/834643>.
- [19] ARRIOLA, Viviana. Manual de quinchá prefabricada para maestro de obra. Perú: Primera edición, Centro de Investigación Documentación y Asesoría Poblacional. 2008. ISBN: 978-9972-855-03-D. p11, p15.
- [20] VIÑUELAS, G. "Tecnología y construcción con tierra". APUNTES vol. 20, núm. 2 (2007): 220-231.