



Evaluación de la incursión* del viento y la iluminación a través de los vanos en aulas de jardines infantiles en Medellín, Colombia **

Evaluation of incursion* of wind and light through the openings in kindergarten classrooms in Medellín, Colombia**

Ader Augusto García Cardona

RESUMEN: Colombia tiene un millón cien mil niños que reciben atención en aulas de jardines infantiles que no se adecúan a sus características físicas y psicológicas ni tampoco a las condiciones del clima andino del país. Se busca evaluar de manera integrada la incursión del viento y la iluminación cuando se modifica el tamaño y la altura del sillar del vano de las aulas de los jardines infantiles, así como la longitud del alero, de acuerdo a las condiciones de clima, la topografía y la altura de edificaciones vecinas. Con métodos matemáticos, simulaciones y maquetas se calcula la incursión del viento y la luz natural en 12 vanos de diferentes tamaños en dos modelos teóricos de aulas: una ancha y otra profunda. Se concluye que el tamaño de los vanos y la ausencia de alero representa una incursión más eficiente en el aula profunda y que el sillar alto tiene más incidencia en todos los vanos.

PALABRAS CLAVE: Vanos, aula, ventilación natural, iluminación natural

ABSTRACT: Colombia has one million one hundred thousand children who receive care in kindergartens classrooms that do not conform to their physical and psychological characteristics nor the conditions of the Andean climate. It seeks to assess an integrated manner wind and lighting when the size and height of ashlar vain classrooms kindergartens modified as well as the length of the overhang, according to the weather conditions, topography and the height of neighboring buildings, one wide and one deep : with mathematical methods , simulations and models incursion wind and natural light in 12 openings of different sizes in two theoretical classrooms is calculated. It is concluded that the size of the openings and the absence of forward presents a more efficient classroom deep incursion and that the high ashlar has more impact on all openings.

KEYWORDS: Vain , classroom , natural ventilation, daylighting

* La incursión es definida para esta investigación como la cantidad y la distribución de viento y luz que ingresa al aula de manera integrada.

** Este artículo es producto de la investigación: "Recomendaciones a la norma técnica Colombiana NTC 4595 para los vanos de los jardines infantil en el clima tropical andino de Medellín, Colombia", realizada por el autor en el marco del Doctorado Curricular en Arquitectura, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. La Habana, Cuba.

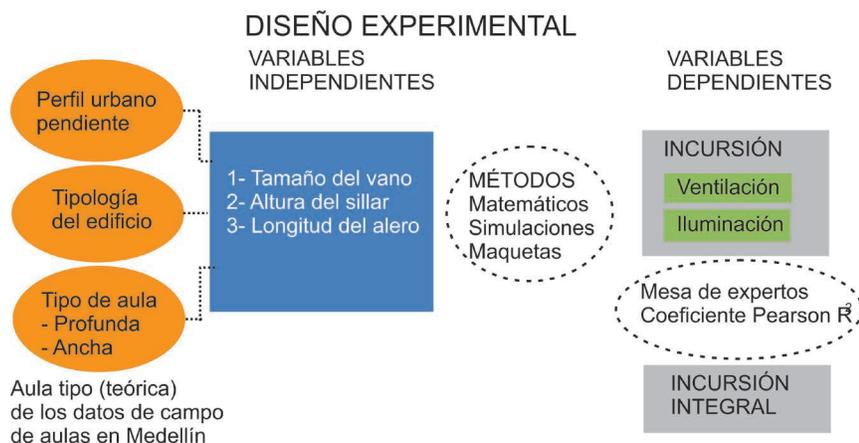
Introducción

En Colombia las políticas educativas de los años sesenta se concentraron en aumentar el número de aulas para cubrir la demanda de los niños que venían del campo a la ciudad y se asentaban en barrios informales y de crecimiento urbano no planificado. Las escuelas de la época se ubicaron en lotes pequeños, con sistemas constructivos de baja complejidad: mampostería en ladrillo, techos de tejas de fibrocemento, aulas de planta cuadrada y ventanas pequeñas a un metro de altura del piso. En esas escuelas de Medellín no habían aulas específicas para los niños del jardín infantil y por lo general se utilizaban espacios sin ninguna adecuación particular. Estas escuelas se alejaron de las propuestas pedagógicas de Froebel [1], Montessori [2] y Decroly [3] quienes proponían aulas para jardines infantiles abiertas, ventiladas e iluminadas, con la posibilidad de acercar a los niños a la naturaleza y el barrio.

Colombia diseñó su política para la primera infancia, CONPES109 [4] y la normatividad técnica para la construcción de edificios educativos, norma NTC4595 [5] de 2006. Ambos documentos coinciden en la necesidad de adecuar espacios para los niños acordes a sus necesidades físicas y psicológicas dentro de los contextos geográficos y la diversidad étnica y cultural. Las aulas de los jardines infantiles deben procurar la flexibilidad, permitir la exploración, reafirmar la identidad de los niños y estimular la comunicación y el respeto por el entorno social y natural [6]. En armonía a esas políticas, las aulas de los jardines infantiles, según Loughlin Suina [7] deben tener flexibilidad para permitir un espacio central para distintas actividades, permitir que el piso del aula se use como plano de trabajo y que la altura de las ventanas permita el vínculo con el paisaje y el clima. Según se ha podido comprobar, es común que los vanos de los jardines en Medellín no se adapten a las condiciones físicas de los niños ni al uso de las aulas. En este artículo se describen los resultados de una investigación que se propuso evaluar de manera integrada la incursión del viento y la luz a través de los vanos de las aulas de los jardines infantiles, de acuerdo a las condiciones del clima, el relieve topográfico y la altura de edificaciones vecinas de la ciudad.

Materiales y métodos

Para lograr el objetivo propuesto, se partió de realizar un estudio teórico con el propósito de definir el sistema de variables de la investigación. Se determinaron como variables independientes aquellas que están relacionadas con las características del aula del jardín infantil y su ubicación, en tanto las variables dependientes se relacionan con el comportamiento del viento y la iluminación en el interior del espacio (Figura 1).



- [1] Manning JP. Rediscovering Froebel: A call to re-examine his life and gifts. *Early Childhood Education Journal*. 2005;3(6):371-6.2.
- [2] Moreno R0dJ. La pedagogía científica en María Montessori: Aportes desde la Antropología, Medicina y Psicología. Madrid: Académica Española; 2012. ISBN-13 978-3848453344. p. 156.
- [3] Tapias Maldonado R. Historia de la Arquitectura Escolar en Colombia. Bogotá: Unibiblos; 1999. ISBN 958-8051-61-4. p. 34-40.
- [4] Colombia. Política Pública de Primera Infancia, CONPES 109, Ministerio de Educación Nacional de Colombia. 3 de diciembre de 2007, p. 39. Consultado 30 de junio de 2015. Disponible en <http://www.mineduacion.gov.co/>.
- [5] NTC 4595: Norma Técnica Colombiana Ingeniería Civil y Arquitectura Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, 2006.
- [6] Colombia. Decreto 2247. Por el cual se establecen normas relativas a la prestación del servicio educativo del nivel preescolar y se dictan disposiciones. [Internet] Bogotá: Ministerio de Educación Nacional de Colombia, 11 de septiembre de 1997. Disponible en http://www.mineduacion.gov.co/1621/articles-104840_archivo_pdf.pdf.
- [7] Loughlin CE, Suina JH. El ambiente de aprendizaje: diseño y organización. Madrid: Morata; 2002. ISBN 9788471123169. p. 272.

Figura 1. Variables independientes y dependientes y los métodos de medida, ponderación y validación.

A partir de la definición de estas variables se construyó el modelo teórico de un aula, el cual sirvió para estudiar el comportamiento combinado de la iluminación y la ventilación, mediante la aplicación de procedimientos de cálculo y de modelación. Los resultados obtenidos a través de ambos procedimientos se integraron a partir de la aplicación de métodos cualitativos de ponderación. Finalmente, para demostrar la validez de los hallazgos se aplicaron pruebas estadísticas de correlación.

El proceso se dividió en las siguientes etapas: Construcción del modelo teórico, obtención de datos y ponderación cualitativa.

1.1 Construcción del modelo teórico de un aula de jardines infantiles representativas de las existentes en Medellín a partir de las condiciones del perfil urbano donde se ubican, la forma del edificio, la forma del aula, la dimensión y tamaño de los vanos y la longitud de los aleros.

En Medellín hay 74 jardines infantiles, 30 de ellos son casas que fueron adecuadas para tal fin y 44 edificios diseñados y construidos con ese propósito. Cada jardín infantil tiene en promedio 4 aulas con un área promedio por cada aula de 32m², SICIED [8].

Medellín está ubicada en un valle, el 82% de los jardines infantiles se ubica en sus laderas entre las cotas 1600 y 1800 msnm, sobre un terreno con un ángulo de inclinación promedio de 10°. Todos los edificios se asientan siguiendo las cotas del terreno. El 88% de los jardines infantiles se ubica en barrios con edificaciones circundantes de 1 y 2 niveles. La distancia promedio horizontal (g) entre el jardín infantil y las construcciones vecinas es de 18 m y la altura de las edificaciones vecinas (h) varía entre 1 y 2 pisos. Se encuentra que el 61% de los edificios tienen las aulas agrupadas en forma de tira (crujía), de ese porcentaje el 20% tiene dos tiras paralelas, (Figuras 2 y 3). La razón de este tipo de edificio alargado en el sentido de las cotas de nivel y estrecho en el sentido de la pendiente de la montaña, es la optimización de cimentaciones y la disminución de los cortes y llenos en el terreno. Otra consideración de los edificios en tira es que las aulas se organizan en torno a una circulación cubierta ubicada entre el aula y el talud. La Figura 4 muestra los edificios que presentan otras forma de disposición de las aulas, que no fueron tenidas en cuenta para este análisis:

Para poder calcular el comportamiento combinado de la ventilación y la iluminación y con la información obtenida de los edificios analizados, se definieron dos tipos de perfiles urbanos teóricos:

Perfil tipo 1: Edificio de una sola tira, en los que se evaluaron los vanos de fachada orientados a la base del valle. La Figura 5 muestra el perfil con los vecinos de un piso y dos pisos:

Perfil tipo 2: Edificio de 2 tiras separadas 6m. En este tipo de perfil se evaluaron los vanos de fachada orientados hacia la parte alta de la montaña. La figura 6 muestra el perfil con los vecinos de un piso y de dos pisos:

La definición del perfil urbano permitió establecer correcciones a la velocidad del viento exterior por cuenta de las condiciones del entorno donde se ubica el jardín infantil. El método matemático empírico del Centro de Energía Solar de la Florida, descrito por Yarle [9] propone coeficientes de corrección del viento exterior antes de ingresar a un espacio:

f1= ángulo de incidencia del viento

f2=rugosidad del terreno

f3= altura de los edificios vecinos

f4=altura de las ventanas.¹

[8]Ochoa JC. Proyecto Interactivo de Consulta de Infraestructura Educativa, SICIED. Informe inédito. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Arquitectura y Buen Comienzo Alcaldía de Medellín, 2010. p. 120.

[9]Yarle E. Ventilación Natural de Edificios. Buenos Aires: Nobuko; 2005. ISBN 987-584-036-X. p.99. ISBN 987-584-036-X.

¹ Área total de vanos (m²)=
(1,16*10⁻³)(V)(rph)/(W*f1*f2*f3*f4) donde
V=volumen del aula en m³
rph=renovaciones de aire por hora
W=velocidad del aire, m/s

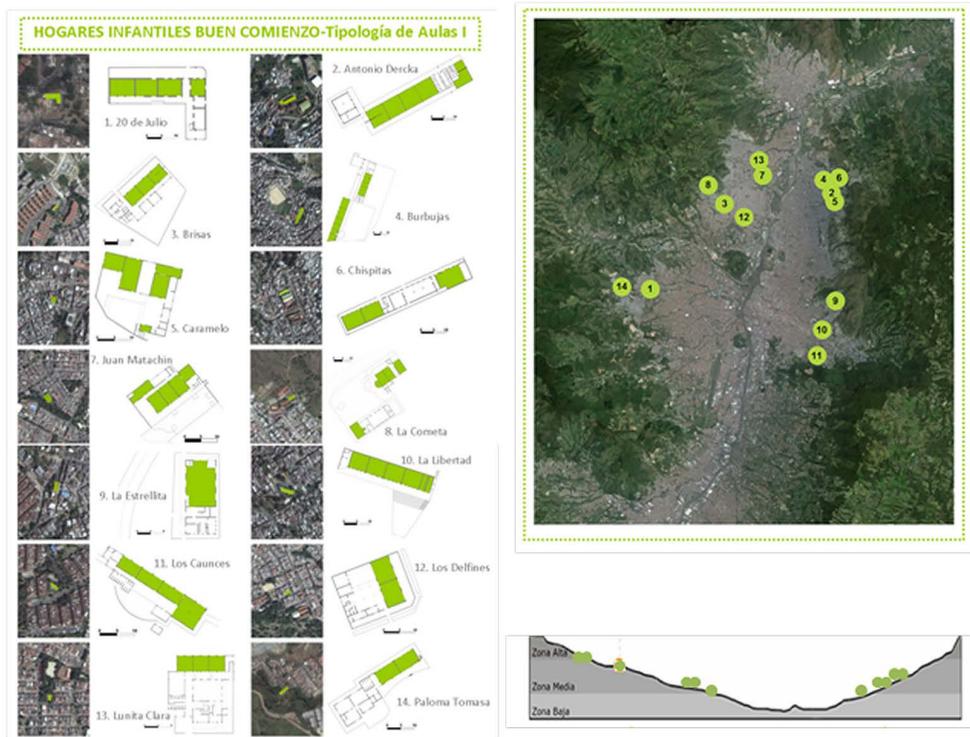


Figura 2. Clasificación tipológica de los jardines infantiles en una tira. Medellín. Fuente SICIED Universidad Nacional, Buen Comienzo, Alcaldía de Medellín, Google Earth. 2014



Figura 3. Clasificación tipológica de los jardines infantiles en doble tira. Medellín. Fuente SICIED Universidad Nacional, Buen Comienzo, Alcaldía de Medellín, Google Earth. 2014

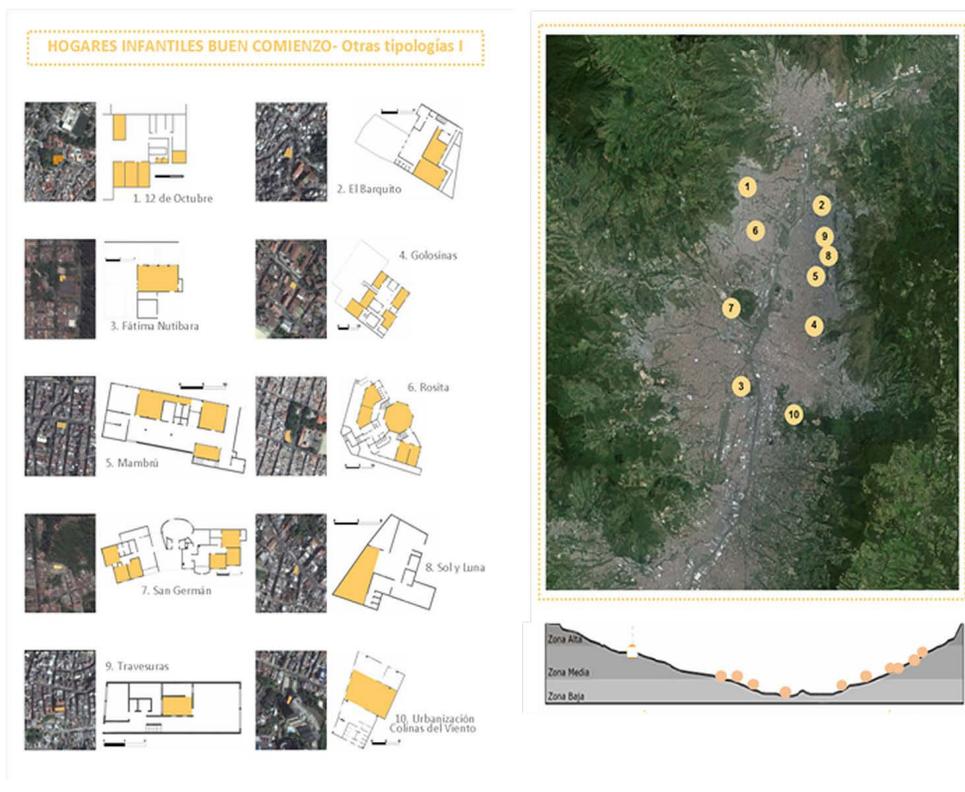


Figura 4. Clasificación tipológica de los jardines infantiles, otras formas. Medellín. Fuente SICIED Universidad Nacional, Buen Comienzo, Alcaldía de Medellín, Google Earth. 2014

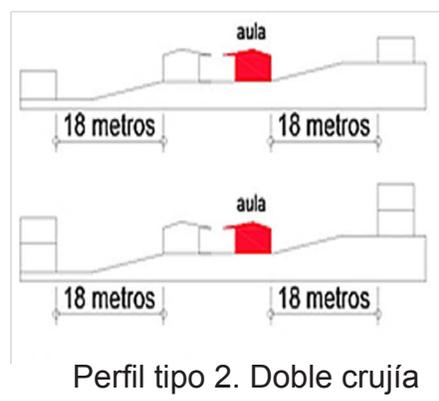
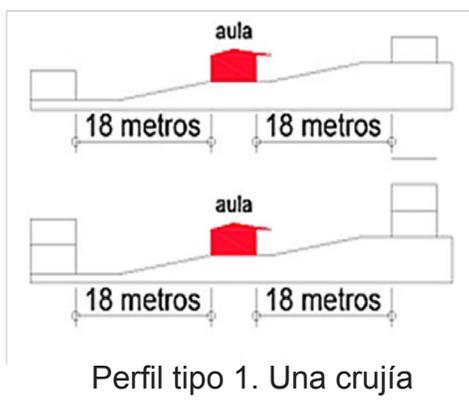


Figura 5. Perfiles urbanos tipo: Perfil tipo 1 para Jardines Infantiles de una sola tira. En color rojo el aula evaluada.

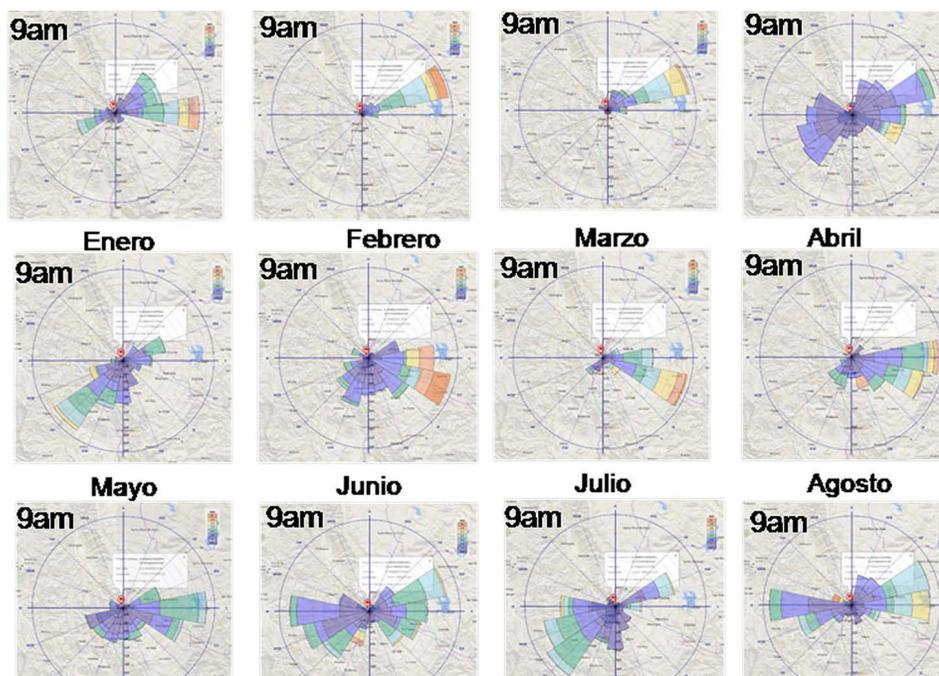
Figura 6. Perfiles urbanos tipo: Perfil tipo 2 para Jardines Infantiles de doble tira. En color rojo el aula evaluada.

La Tabla 1 muestra los criterios y valores de los coeficientes de corrección utilizados para esta investigación.

Tabla 1. Valores de los coeficientes de corrección para el viento exterior utilizados. Fuente Centro de Energía Solar de la Florida.

Aspecto a corregir	Indicador	Coficiente
Ángulo incidencia del viento	Perpendicular al vano	f1 (0,35)
Rugosidad del terreno	Zona barrial en pendiente	f2 (0,50)
Altura edificios vecinos (g/h)	g/h=6	f3 (1,00)
	g/h=3	f3 (0,77)
Altura de vanos	Entre 1 y 1,5 m del piso	f4 (1,00)

Se estimaron los coeficientes de corrección a la velocidad del viento exterior promedio tomada de las rosas del viento (Figura 7) y se aplicaron a los perfiles 1 y 2 ya definidos (Figuras 5 y 6).



[10] Régimen anual de vientos Medellín. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. IDEAM, Consultado en enero de 2016. Disponible en <http://bart.ideam.gov.co/cliciu/rosas/viento.html>

[11] ASHRAE. Handbook, Fundamentals. Atlanta: Ashrae; 1993. ISBN 1-883413-44-3. p.14.

Figura 7. Rosa de los vientos para todos los meses del año en las mañanas. Datos tomados de estación meteorológica a 1800 msnm. Fuente <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/vasari-wind-rose-tool>

Con los perfiles urbanos determinados anteriormente, se procedió a definir el modelo teórico de un aula: Los 44 edificios evaluados tienen 176 aulas, el 68% de ellas tienen planta rectangular, 22% de planta cuadrada y el 10% restante con otras forma en planta. Las aulas rectangulares tienen una proporción promedio entre el ancho y el largo de 1 a 1,5 veces. El 57% de ellas tienen los vanos en la fachada más corta, y se denominaron aulas profundas, mientras que el 43% restante tienen los vanos en la fachada más larga, denominándose aulas anchas.

El programa de gobierno municipal, Buen Comienzo² recomienda una capacidad entre 20 y 25 niños por aula a razón de 1,5m² por niño, de ahí que se asumiera un tamaño de aula para el modelo teórico con dos tipos de orientaciones: aula ancha de 7,2m x 4,8m y aula profunda de 4,8m x 7,2m. Estas dimensiones son múltiplos de los ladrillos usados en la ciudad. La primera dimensión se refiere a la fachada donde se ubica el vano a evaluar.

Se partió de suponer que las aulas tienen ventilación cruzada y como única dirección del viento se consideró la perpendicular al vano, dada la reducida velocidad promedio que se presenta en la ciudad, con valores entre 3,4m/s y 5,4m/s [10]. Considerar otras direcciones reduciría el valor del factor f1 por debajo de 0,2 lo que causaría que la velocidad del viento interior fuera inferior a 0,1m/s, velocidad mínima encontrada en las aulas de los jardines infantiles por el proyecto SICIED. Se consideró que el aula del modelo teórico está en medio de otras aulas para controlar los efectos de los cambios de presión, ya que en la mitad de la fachada la presión es menor que en los extremos. Cuando el viento es perpendicular a la fachada, los coeficientes de presión (cp) producen succiones en los laterales que modifican el patrón de la ventilación, ASHRAE [11].

Teniendo definidos los tamaños y las orientaciones de las aulas, se procedió a determinar las características de los vanos: El 68% de las aulas tiene vanos horizontales, el 63% de los vanos de las aulas tienen

² Buen Comienzo, programa de la Alcaldía de Medellín que atiende integralmente a los niños, las niñas y sus familias durante sus primeros cinco años de vida. www.medellin.edu.co/index.php/buen-comienzo

un sillar a 80cm de altura y un dintel a 220cm. A partir de las referencias antropométricas utilizadas [12], se decidió evaluar también el sillar a 40 cm, que coincide con la altura de los codos de los niños de 5 años, percentil 50. Los anchos de los vanos varían en 1/2, 1/3 y 2/3 la longitud de la fachada, que son las proporciones predominantes en las aulas y coinciden con los anchos de los vanos estudiados por Melaragno [13] para describir el efecto en la velocidad del viento interior de un espacio según el tamaño del vano. Con esa información se determinaron las siguientes combinaciones de vanos para el modelo teórico del aula:

Aula ancha sillar a 40cm: 240 x 180cm – 360 x 180cm – 480 x 180cm

Aula ancha sillar a 80cm: 240 x 140cm – 360 x 140cm – 480 x 140cm

Aula profunda sillar a 40cm: 160 x 180cm – 240 x 180cm – 320 x 180cm

Aula profunda sillar a 80cm: 160 x 140cm – 240 x 140cm – 320 x 140cm

Condiciones de los aleros de las aulas

Con alturas de los sillares a 40cm y 80cm y la trayectoria solar para Medellín, latitud 6,25°N, se requiere del control solar para las fachadas orientadas a este y oeste, que deben obstruir ángulos de altura solar entre 37,5° y 44° para las 9:00 am y 3:00 pm en diciembre y junio respectivamente. La relación geométrica entre altura de sillar y ángulo de altura solar es (Figura 8):

Para sillar de 40cm: longitud de alero de 1,50m

Para sillar de 80cm: longitud de alero de 1,00m

Para vanos al sur y al norte: sin alero.

La Tabla 2 muestra las combinaciones de análisis de los 12 vanos según el perfil urbano, la altura de los edificios vecinos, el tipo de aula, la altura del sillar y la longitud del alero.

Tabla 2. Combinaciones de los 12 vanos a evaluar y las condiciones teóricas tomadas del contexto urbano, las tipologías de edificios, vanos y aleros de los jardines infantiles en Medellín.

Tipo de aula	Perfil	Vecinos	Alero	Sillar	Vano
AULA ANCHA	Tipo 1	1 piso g/h=6	Sin alero	Bajo	2,4 x 1,8m
			Alero 1m		3,6 x 1,8m
			Alero 1,5m		4,8 x 1,8m
	Tipo 2	2 pisos g/h=3	Sin alero	Alto	2,4 x 1,4m
			Alero 1m		3,6 x 1,4m
			Alero 1,5m		4,8 x 1,4m
AULA PROFUNDA	Tipo 1	1 piso g/h=6	Sin alero	Bajo	1,6 x 1,8m
			Alero 1m		2,4 x 1,8m
			Alero 1,5m		3,2 x 1,8m
	Tipo 2	2 pisos g/h=3	Sin alero	Alto	1,6 x 1,4m
			Alero 1m		2,4 x 1,4m
			Alero 1,5m		3,2 x 1,4m

- [12] Ávila R. Dimensiones Antropométricas de la Población latinoamericana. Guadalajara: Universidad de Guadalajara; 2007. ISBN 978-970-27-1193-3. p. 480.
- [13] Melaragno M. Wind in architectural and Environmental Desing. New York: Van Nostrand Reinhold Company; 1982. ISBN-13 9780442251307. p. 85.

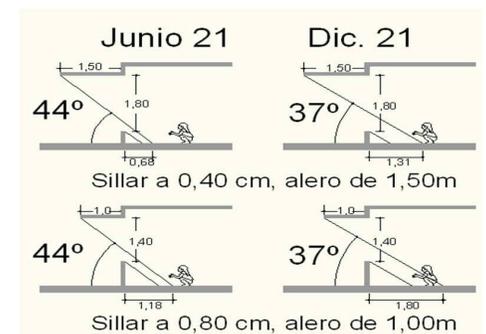


Figura 8. Relación geométrica entre la longitud del alero y la altura del sillar para las fachadas a este y oeste a una latitud 6,25°N. La altura del alero es igual a la altura del dintel del vano. Diciembre menos exigente por qué los niños están en vacaciones.

1.2. Obtención de datos.

A partir del modelo teórico descrito arriba, se procedió a la obtención de los datos de iluminación y ventilación del interior del aula, mediante la aplicación de cálculos, simulaciones y modelaciones.

Cálculo de la velocidad del aire interior por métodos matemáticos

Medellín está ubicada en un valle alargado de norte a sur, entre los 1500 y los 2000msnm, con un clima promedio entre los 18°C y los 29°C y humedades relativas promedio entre 40% y 70%.³ Por las características del relieve los barrios se asientan en las laderas este y oeste en las que el viento por convección asciende y desciende. La figura 8 muestra el comportamiento del viento en la estación meteorológica San Javier a 1800 msnm [14] en la que se observa que todas las direcciones provienen desde el este u oeste, direcciones que coinciden con la orientación de las laderas del valle:

Para saber el porcentaje de viento que llega directamente a los vanos de los perfiles tipo analizados, se usó la fórmula del ASHRAE (Figura 9)

$$Z = \frac{H + H_c}{0,1 - (L - X_c)}$$

siendo:

Z=longitud sombra de viento (m),

H=altura del obstáculo,

Hc= altura de recirculación (m),

L=distancia entre el obstáculo y el aula (m)

Xc= distancia horizontal del obstáculo a la cúspide de la sombra de viento

La Tabla 3 muestra la longitud de las sombras de viento obtenidas.

Tabla 3. Factores para calcular la longitud de la sombra de viento (Z) a partir del viento perpendicular a la fachada. Fuente ASHRAE, Handbook, fundamentals 1993, op.cit. p. 14.2

Perfil	H vecinos bajos (m)	Z vecinos bajos (m)	H vecinos altos (m)	Z vecinos altos (m)
Tipo 1	3	44,1	6	61,3
Tipo 2	5,71	57,6	8,7	91,4

Con la sombra de viento y las simulaciones en CFD [15] se pudo establecer que los vanos del perfil 2 están en turbulencia o recirculación y que la reducción de la velocidad del viento es aproximadamente del 50% comparada con la velocidad del viento que ingresa por el perfil 1.

Con la velocidad del viento corregida se usó la fórmula empírica de Givoni [16] para calcular la velocidad del aire interior⁴.

$$V_i = 0,45 (1 - e^{-3,48x}) V_e$$

donde:

V_i =velocidad interior (m/s),

x=relación del área de vano con respecto al área de muro y

V_e =velocidad exterior corregida (m/s).

Para establecer los rangos de calificación de esta variable se usó el PMV incluido en la norma ISO 7730 [17] como parámetro de referencia. Fabbri [18] y YunHyunjun, Naminsick [19] en sus trabajos hacen ajustes a la metodología para usarla en niños de cinco años. Con esos ajustes se

[14] Rosa de viento de estaciones meteorológicas de Medellín, Colombia. Consultado el 12 de diciembre de 2014. Disponible en <http://sustainabilityworkshop.autodesk.com/buildings/vasari-wind-rose-tool>.

[15] Software fluid dynamics and thermal simulation tools. Autodesk® CFD. Consultado en enero de 2016. Disponible en <http://www.autodesk.com/products/cfd/overview>

[16] Givoni B. Man, Climate and Architecture. Londres: Applied Science Publishers; 1976. ISBN 085334678X. p 483.

[17] ISO 7730. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. International Organization for Standardization, 2008.

[18] Fabbri K. Thermal confort evaluation in kindergarten: PMV and PPD measurement through datalogger and questionnaire. Building and Environment. 2013;68:202-14.

[19] Yun H. A field study of thermal comfort for kindergarten children in Korea: An assessment of existing models and preferences of children. Building and Environment. 2014;75.

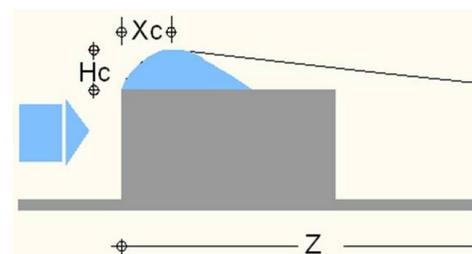


Figura 9. Factores para calcular la longitud de la sombra de viento (Z) a partir del viento perpendicular a la fachada. Fuente ASHRAE, Handbook, fundamentals 1993, op.cit. p. 14.2

³ Datos tomados del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. IDEAM. www.ideam.gov.co

⁴ Fórmula calculada para espacios de forma en planta cuadrada, con ventilación cruzada por vanos de igual tamaño en fachadas a barlovento y sotavento y viento perpendicular al vano.

estableció que para la velocidad del aire interior del aula igual o superior a 0,45m/s, el PMV se clasifica en confort y velocidades por debajo de 0,30m/s califican el PMV como ligeramente caluroso.

Distribución del viento en el interior del aula

Las resultados de la velocidad del viento en el interior de las aulas de los jardines infantiles se deben complementar con simulaciones por computador que permiten evaluar los patrones de propagación del aire y la cantidad del área del aula que esta ventilada. El aula definida en el modelo teórico se simuló en el programa CFD. La Figura 10 presenta los resultados de la distribución del viento en un plano paralelo al piso del aula a una altura de 40cm. Se entiende por área ventilada aquella que tiene velocidades por encima de 0,3 m/seg.

Para una altura de 40cm del piso si el 80% del área del aula tiene una velocidad del viento igual a superior a 0,3m/s se considera una condición óptima, si el área con esa velocidad está entre 60 y 79% es aceptable y por debajo de 60% deficiente. Con los dos procesos descritos se logró obtener la velocidad del viento y el porcentaje del aula ventilada de cada una de las combinaciones de los 12 vanos.

Cálculo de la uniformidad y los rangos lumínicos en las aulas teóricas

Tomando como referencia el Factor Luz Día, fue necesario conocer el comportamiento de los componentes directo y reflejado exterior que ingresan por los vanos a las aulas de los jardines infantiles. Para los cálculos y las simulaciones el componente reflejado interior usa los coeficientes de reflexión lumínica que indica la norma NTC4595. La Figura 11 muestra las simulaciones de las iluminancias para un plano de trabajo de 40cm, a las 12m, en el mes de abril.

Para controlar los resultados de las simulaciones se construyeron maquetas a escala 1:20 que reproducen las condiciones de los perfiles urbanos tipo 1 y 2 y el cielo de la ciudad. La Figura 12 muestra los modelos y la localización de los sensores, dataloger calibrados.

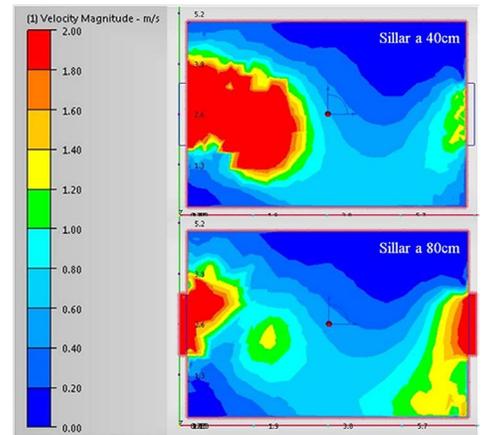


Figura 10. Simulación en CFD de aula profunda en perfil 1, sin alero, sillar a 40cm y 80cm, área de vano 1,6 x 1,8 m. Se toma como área ventilada la que se encuentra por encima de 0,3 m/seg.

Local 1 / Escena de luz 1 / Plano útil / Gráfico de valores (E)

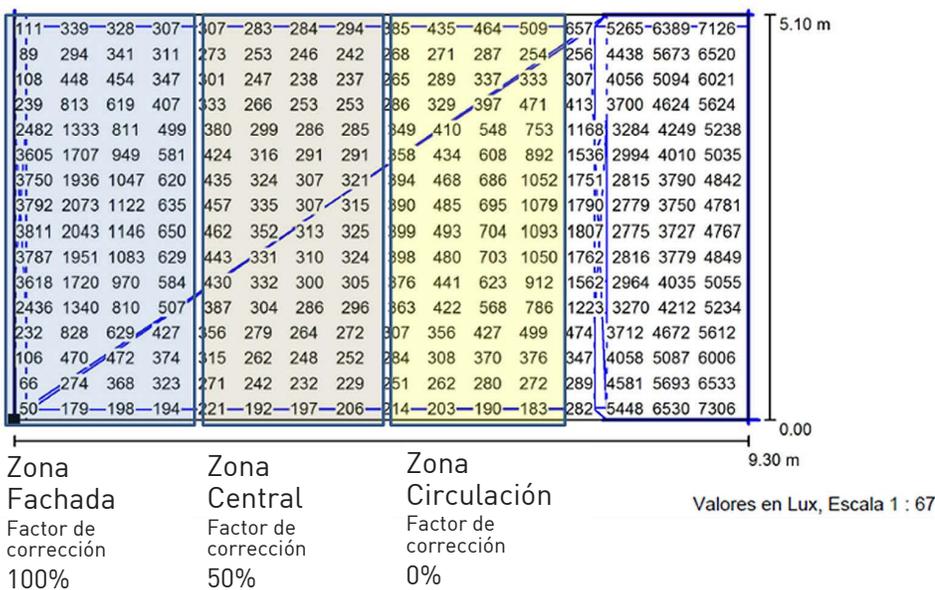


Figura 11. Zonas lumínicas de las aulas para el cálculo de los rangos lumínicos. Simulación hecha en el software DIALUX 4.2. Las zonas determinadas se multiplican por el factor de corrección obtenido de las maquetas



Figura 12. Maquetas de aulas teóricas en perfiles tipo 1 y 2, medidas con sensores Dataloger HOB0 cada 1 minuto durante una hora entre 11:30 am y 12:30 pm, mes de abril en Medellín.

Este trabajo con las maquetas permitió comprobar que el componente reflejado exterior aporta un porcentaje adicional a las iluminancias del aula (Tabla 4).

Tabla 4. Porcentaje de corrección (Factor de Corrección) a la iluminancia obtenida por la simulación por cuenta del componente de reflexión exterior para los perfiles tipo de las laderas de Medellín, obtenidas de las maquetas

PORCENTAJE DE CORRECCIÓN DE ILUMINANCIAS		
Perfil	Vecinos bajos %	Vecinos altos %
Perfil tipo 1	0	12
Perfil tipo 2	6	18

Ese aporte se denomina factor de corrección que se aplicó a cada zona del aula según los porcentajes ilustrados en la Figura 11.

Se obtuvieron las distribuciones de las iluminancias en cada una de las combinaciones de los 12 vanos con lo que fue posible calcular la uniformidad lumínica y los rangos de iluminancias.

La NTC4595 recomienda en el numeral 7.2.12 una uniformidad lumínica no inferior a 0,6 medida a 70 centímetros del piso. Como los niños de los jardines infantiles trabajan a una altura de 40cm del piso la cantidad de iluminación que proviene del exterior es mayor en la zona central del aula y menor en las zonas junto a las fachadas, por lo que la uniformidad también disminuye. Se establece que uniformidades lumínicas iguales o mayores a 0,4 son óptimas y por debajo de ese valor deficientes de acuerdo a las simulaciones realizadas a 40cm del piso.

La norma ISO 8995 [20] recomienda para las aulas un rango de iluminancias entre 300 y 700lx, a una altura de 70cm del piso. Con las simulaciones realizadas en Dialux 4.12 se identificó que para un plano de trabajo a 40cm los rangos se aumentan entre 200 y 1200 lx, por lo que se establecen los siguientes rangos de valoración de las iluminancias: Óptimo para un rango de la norma entre 300 y 700 lx, aceptable para un rango obtenido de las simulaciones a 40cm del piso entre 200 y 1200 lx y deficiente para los rangos que excedan más de 1000 lx de diferencia entre las iluminancias.

1.3 Ponderación cualitativa de los datos obtenidos

Conocidos los datos cuantitativos del viento y la iluminación se hizo una ponderación para calcular las incursiones y una calificación de las incursiones para establecer su eficiencia. Con respecto a la ponderación se usó la metodología Delphi [21]⁵ de mesa de expertos. Landeta [22] explica que el propósito de la mesa de expertos es llegar a la concurrencia de los criterios sobre la situación analizada. En ese caso se buscaba la concurrencia sobre las valoraciones porcentuales que deben tener las variables dependientes calculadas, asumiendo que la suma de todas es 100%. La metodología se hace por medio de rondas de preguntas hasta lograr la concurrencia de criterios que a su vez se validan con pruebas estadísticas paramétricas multivariadas: Coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de determinación R².

Se preguntó a los expertos sobre: 1. La calificación en porcentaje que tiene la ventilación y la iluminación en un aula para un jardín infantil. 2. Porcentualmente qué valor tiene la cantidad de viento e iluminación que ingresa al aula sobre la distribución de los mismos en el aula. 3. Cuáles son los rangos para calificar las incursiones en términos de óptimo, aceptable y deficiente.

[20] ISO 8995. Principles of visual ergonomics. International Organization for Standardization, 2008.

[21] Ortega Mohedano F. El método Delphi, prospectiva en Ciencias Sociales. EAN. 2008;64:31-54. ISSN 0120-8160.

[22] Landeta J. El método Delphi. Una Técnica de previsión para la incertidumbre. Barcelona: Ariel; 1999.

⁵ El método Delphi, cuyo nombre se inspira en el antiguo oráculo de Delphos es un proceso de comunicación grupal que es efectivo a la hora de permitir a un grupo de individuos, como un todo, tratar un problema complejo. Landeta, Jon. (1999)

Para dar validez a las respuestas de los expertos fue necesario calificar su idoneidad mediante el coeficiente de competencia⁶; La Tabla 5 presenta los coeficientes de competencia de los expertos según los procedimientos descritos. El 30 % de ellos demostró competencia media y el 70% competencia alta. Después de dos rondas de preguntas se obtuvieron las ponderaciones finales de los expertos que se presentan en la Tabla 6. La Tabla 7 muestra la calificación de cada indicador y la ponderación que los expertos le asignaron a cada variable dependiente.

[23] Arriaza M. Guía Práctica de Análisis de Datos. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa; 2008. ISBN 84-611-1661-5. p. 254.

Tabla 5. Coeficientes de competencia de los expertos, según metodología Delphi

COEFICIENTES DE COMPETENCIA DE EXPERTOS (CC)		
Experto	CC ventilación	CC iluminación
1	0,50	0,55
2	0,55	0,55
3	0,45	0,55
4	0,40	0,40
5	0,55	0,55
6	0,38	0,48
7	0,30	0,45
8	0,29	0,44
9	0,38	0,38
Promedio	0,42	0,48
Desviación	0,10	0,07

Tabla 6. Ponderaciones finales de expertos para porcentajes de ventilación e iluminación, cantidad versus distribución de la ventilación y la iluminación y rangos de valoración de las incursiones

Pregunta a expertos	Promedio	Desviación estandar	Moda
% ventilación	60	3,9	60
% iluminación	40	3,9	40
$R^2=1,0$			
% cantidad	25	1,3	25
% distribución	75	1,25	75
$R^2=0,85$			
Rango óptimo	Mayor de 80%		
Rango aceptable	Entre 60 y 79%		
Rango deficiente	Menor a 60%		

Tabla 7. Identificación de las variables dependientes, el indicador y su ponderación obtenida de la mesa de expertos

Variable Dependiente	Indicador	Calificación	Ponderación de expertos %
Velocidad aire interior en m/s	$\leq 0.45\text{m/s}$	3	20%
	entre 0.31 y 0.44m/s	2	
	menor a 0.3m/s	1	
Área de aula Ventilada en %	mayor de 80%	3	40%
	entre 60 y 79%	2	
	menor de 60%	1	
Uniformidad lumínica	mayor a 0.4	2	25%
	menor a 0.4	1	
Rango de Iluminancias lx	entre 300 y 700lx	3	15%
	entre 200 y 1200lx	2	
	diferencia de 1000lx	1	

Resultados

Con las incursiones calculadas, calificadas y ponderadas se estimó necesario asegurar la validez estadística entre las variables. Se usaron las pruebas paramétricas de coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de determinación R^2 . Arriaza [23].

⁶ Se calcula el coeficiente de competencia del experto ($K=0,5(K_c+K_a)$): $0,55 \leftarrow K \leftarrow 0,44$
Competencia alta $0,27 \leftarrow K \leftarrow 0,34$
Competencia media, $K \leftarrow 0,27$
Competencia baja. Tomado de Criterios de Expertos. Su procesamiento a través del método Delphi. Sandra Hurtado de Mendoza Fernández

La Tablas 8 y 9 presentan los cálculos de las incursiones integrales para aulas anchas en el perfil 1 y el perfil 2 respectivamente. Las Tablas 10 y 11 muestran los cálculos de las incursiones integrales para aulas profundas en los perfiles 1 y 2 respectivamente y la Tabla 12 presenta los cálculos de las incursiones integrales para todas las aulas según la altura del sillar.

Tabla 8. Incursiones de las aulas anchas en el perfil 1

AULAS ANCHAS PERFIL 1						
Vano (m)	Tamaño	Vecinas bajos	Vecinos altos	Sin alero	Alero 1m	Alero 1,5m
2,4x1,4	1,43	1,43	1,43	1,00	1,65	1,65
2,4x1,8	1,33	1,40	1,27	1,00	1,50	1,50
3,6x1,4	1,96	2,02	1,90	1,48	2,15	2,25
3,6x1,8	1,75	1,78	1,72	1,50	1,75	2,00
4,8x1,4	2,48	2,48	2,48	2,15	2,65	2,65
4,8x1,8	2,22	2,32	2,12	1,90	2,25	2,50
R ²	0,59	0,65	0,53	0,70	0,40	0,62
Pearson	0,77	0,80	0,72	0,84	0,63	0,79

Tabla 9. Incursiones de las aulas anchas en el perfil 2

AULAS ANCHAS PERFIL 2						
Vano (m)	Tamaño	Vecinas bajos	Vecinos altos	Sin alero	Alero 1m	Alero 1,5m
2,4x1,4	1,37	1,37	1,37	1,00	1,55	1,55
2,4x1,8	1,29	1,32	1,27	1,00	1,33	1,55
3,6x1,4	1,77	1,77	1,77	1,40	1,95	1,95
3,6x1,8	1,62	1,62	1,62	1,40	1,65	1,80
4,8x1,4	2,25	2,25	2,25	2,05	2,35	2,35
4,8x1,8	2,02	2,02	2,02	1,80	2,05	2,20
R ²	0,59	0,60	0,59	0,68	0,43	0,64
Pearson	0,77	0,77	0,77	0,82	0,65	0,80

Tabla 10. Incursiones para aulas profundas en el perfil 1

AULAS PROFUNDAS PERFIL 1						
Vano(m)	Tamaño	Vecinas bajos	Vecinos altos	Sin alero	Alero 1m	Alero 1,5m
1,6x1,4	1,27	1,27	1,27	1,00	1,40	1,40
1,6x1,8	1,23	1,23	1,10	1,00	1,25	1,25
2,4x1,4	1,8	1,80	1,78	1,40	1,90	2,08
2,4x1,8	1,7	1,70	1,63	1,50	1,75	1,75
3,2x1,4	2,32	2,32	2,32	2,00	2,55	2,40
3,2x1,8	2,32	2,32	2,18	2,50	2,25	2,50
R ²	0,73	0,78	0,67	0,91	0,60	0,70
Pearson	0,85	0,88	0,82	0,96	0,78	0,84

Tabla 11. Incursiones para aulas profundas en el perfil 2

AULAS PROFUNDAS PERFIL 2						
Vano (m)	Tamaño	Vecinas bajos	Vecinos altos	Sin alero	Alero 1m	Alero 1,5m
1,6x1,4	1,83	1,83	1,83	1,56	1,96	2,51
1,6x1,8	1,57	1,47	1,66	1,28	1,71	1,71
2,4x1,4	2,30	2,28	2,33	1,96	2,44	2,51
2,4x1,8	2,09	2,11	2,06	1,96	2,11	2,19
3,2x1,4	2,65	2,68	2,63	2,36	2,84	2,76
3,2x1,8	2,54	2,54	2,54	2,76	2,51	2,76
R ²	0,60	0,58	0,60	0,83	0,43	0,24
Pearson	0,77	0,76	0,78	0,91	0,65	0,49

Tabla 12. Incursiones según altura del sillar

Sillar (m)	Perfil 1	R ²	Pearson	Perfil 2	R ²	Pearson
Alto (0,8m)						
1,6 x 1,4	1,27	0,79	0,89	1,83	0,11	0,34
2,4 x 1,4	1,43			1,36		
2,4 x 1,4	1,79			2,30		
3,2 x 1,4	2,32			2,65		
3,6 x 1,4	1,95			1,76		
4,8 x 1,4	2,48			2,25		
Bajo (0,4m)						
1,6 x 1,8	1,17	0,67	0,82	1,57	0,12	0,34
2,4 x 1,8	1,33			1,29		
2,4 x 1,8	1,67			2,09		
3,2 x 1,8	2,25			2,54		
3,6 x 1,8	1,75			1,61		
4,8 x 1,8	2,21			2,01		

Discusión

Según los objetivos declarados, el primer análisis corresponde a la relación entre las características de los vanos estudiadas (tamaño, altura de sillar y longitud del alero) y la incursión integrada.

Con respecto al tamaño de los vanos todas las combinaciones analizadas muestran una relación R² por encima de 0,59 que se puede interpretar como aumento de la eficiencia de la incursión con el aumento del área del vano. Cuando se revisan los resultados por tipología de aula, los valores promedio de R² son 11% más altos para las aulas profundas que para las aulas anchas, todos valores por encima de 0,59. Cuando se analiza por perfiles urbanos el perfil 1, de vecinos bajos, presenta un R² 10,5% más alto que el perfil 2. En ese sentido el valor R² más alto es para las aulas profundas en el perfil 1 (0,73).

El efecto más significativo por cuenta del tamaño del vano es para aulas profundas, ubicadas hacia la base del valle y con vecinos de un solo piso.

En cuanto a la altura del sillar, el comportamiento de la incursión se relaciona de manera alta y positiva con el perfil 1, con un promedio de R^2 de 0,73 contra un R^2 promedio para el perfil 2 de 0,115, lo que indica que la altura del sillar nada tiene que ver con la eficiencia de incursión integrada.

La relación mayor se presenta para los sillares altos, a 80cm del piso, cuando los vanos están en el perfil 1, lo que significa que cuando los vanos están ubicados hacia la base del valle los sillares a 80cm tienen mayor eficiencia en la incursión.

Con respecto a la longitud del alero el comportamiento de las incursiones es inconsistente pues mientras para el comportamiento de los vanos sin alero es alto y positivo con un R^2 promedio de 0,78, para los aleros de 1m de longitud el valor R^2 promedio cae a 0,46 y se vuelve a elevar para los aleros de 1,5m con un valor promedio de 0,55. Cuando se discriminan los resultados el comportamiento más alto y positivo promedio es para los vanos sin alero en aulas profundas y ambos perfiles. La relación absoluta más alta es para el aula profunda sin alero en el perfil 1, $R^2=0,91$.

Sobre las implicaciones de los resultados se destaca que el perfil urbano 1 y el aula profunda son más sensibles a las incursiones combinadas. Lo que indica que las condiciones del relieve, la densidad urbana y la forma del aula son elementos integrales de las condiciones de los vanos.

La investigación estuvo limitada por la forma del aula, los tipos de perfiles urbanos, el ángulo de incursión del viento, variables que pueden dar mayor precisión a los resultados obtenidos. Los expertos tuvieron coincidencia en las valoraciones y los argumentos para otorgar menos importancia porcentual a la iluminación, ya que es susceptible de ser controlada por la iluminación artificial y los acabados del aula, lo que no ocurre con la ventilación. Advierten que las valoraciones pueden tener variaciones cuando se trata de aulas para otros grupos de edades, lo que indica el valor que los expertos le otorgan al usuario para adecuar las condiciones de los espacios.

Conclusiones

En términos de las incursiones combinadas de ventilación e iluminación, se encontró que: el tamaño de los vanos se relaciona con la forma del aula; la altura del sillar con el perfil urbano y la longitud del alero con la forma del aula.

El perfil urbano 1, que se definió en el modelo teórico del aula como: edificio de una sola crujía, con los vanos hacia la base del valle y sometida las corrientes ascendentes, es más sensible a la incurisón combinada.

La forma del aula profunda resulta ser una condición sensible a la valoración combinada de la ventilación y la iluminación.

La incursión integral arroja evidencias de que las valoraciones integrales matizan las recomendaciones consideradas como adecuadas cuando los aspectos se analizan por separado. En ese sentido es necesario profundizar en la búsqueda de factores de incursiones que incluyan otros elementos, tales como el sonido.



Ader Augusto García Cardona
Arquitecto, Máster en Ciencias Profesor de la Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín. Estudiante de Doctorado de la Facultad de Arquitectura del Instituto Superior Politécnico José A. Echeverría
E-mail: agarcia@unal.edu.co