



#### ▶ PARA CITAR ESTE ARTÍCULO

Varini C. (2014). Factores de forma para el mejoramiento del confort en clima tropical. Revista Arte y Diseño, Facultad de Arquitectura, Arte y Diseño, Universidad Autónoma del Caribe, Barranquilla. ISSN 1692- 8555 Vol. 12 (N°. 2)

# FACTORES DE FORMA PARA EL MEJORAMIENTO DEL CONFORT EN CLIMA TROPICAL

## BIOCLIMATIC ARCHITECTURE TO IMPROVE COMFORT IN THE TROPICS

▶ Por: **Claudio Varini**

Doctor en Tecnología para la Arquitectura de la Università degli Studi di Firenze. Master en Proyección Ejecutiva de la Arquitectura de OIKOS University, Bolonia. Arquitecto de la Università degli Studi di Firenze.

[claudiovarini@gmail.com](mailto:claudiovarini@gmail.com)  
[Claudio.varini@uac.edu.co](mailto:Claudio.varini@uac.edu.co)

P/51-60

DOI: <http://dx.doi.org/10.15665/ad.v12i2.705>

### RESUMEN:

Las envolventes arquitectónicas son el escudo que protege una construcción que en ciertas condiciones climáticas liberan o retienen calor y generan condiciones de incomodidad y falta de confort. Estas condiciones pueden presentarse en el 80% del territorio colombiano caracterizado por altas temperaturas lo cual afecta en mayor grado a la población de menores ingresos. Ecoenvolventes ha utilizado la simulación fluidodinámica para analizar el comportamiento de los flujos de aire al interior de espacios confinados, siendo el aire un factor que permite la evacuación de calor operativo y radiante que es fácil utilizar aun en viviendas de interés social o prioritario y no tiene costos operativos. Se ha analizado este aspecto en la isla de San Andrés, Colombia, donde las brisas son constantes, lo cual permite reconocer los efectos del aire natural como vector de confort. El objeto de estudio, un volumen sencillo de un solo piso, busca favorecer condiciones pasivas de confort especialmente frente a severos límites presupuestales impuestos a la vivienda social, diseñando una ventilación que conjuga al mismo tiempo eficiencia y economía. Dado un referente prismático sencillo, en 10 modelos se analiza la dinámica de los fluidos que se generan interviniendo en la forma del mismo volumen.

### PALABRAS CLAVE:

Envolvente arquitectónica. Fluidodinámica. Vivienda bioclimática. Cambio climático. Vivienda de interés social.

### ABSTRACT:

*Architectural wrapper can be considered as a building protecting shield that climate conditions are making releasing or retaining heat what generate discomfort. 80% of Colombian territory is characterized by high temperatures. Ecoenvolventes group has used fluid dynamics simulations to analyze the flows behavior inside simple confined spaces. It has taken San Andres Island, Colombia, as case study. The object of study is a single volume floor; it is looking for passive conditions of comfort despite social housing budgetary limits, by applying an efficient and economical passive ventilation solution. Ten models are presented and analyzed and compared to benchmark prismatic, directly on the ground.*

### KEY WORDS:

*Climate house. Housing adapted to the climate change. Climate Sensitive Architecture. San Andres Architecture. Caribbean social housing.*

## INTRODUCCIÓN.

Las envolventes arquitectónicas, así sean fachadas o cubiertas, son el vehículo a través del cual se generan transferencias de flujos energéticos entre un entorno exterior definido por específicas condiciones geo-climáticas locales, y un entorno confinado que constituye el espacio residencial, laboral o de uso de las personas. Usualmente la respuesta tecnológica para intervenir sobre los niveles de intercambio implica intervenciones sobre la materialidad y específicamente sobre las características físico-químicas de los materiales y la respectiva relación.

En otros términos, cuando las condiciones climáticas generan disconfort de las personas que están en ambientes confinados es la envolvente que asume la función de “artificializar” el espacio confinado para que se llegue a condiciones apropiadas al desarrollo de las actividades para las cuales ha sido concebida una arquitectura.

Se ha tomado como objeto de referencia un volumen simple, prismático, a contacto directo con el terreno, siendo este un volumen visible con frecuencia en las construcciones VIS colombianas en cuanto de menor costo y mayor sencillez constructiva. Se trata, en efecto, de una caja a partir de la cual se ha intervenido para identificar a través de cuales factores de forma puede intervenir para hacer más eficiente la circulación del aire.

Se trata no solamente de una exploración de afinamiento del diseño arquitectónico para mejorar las condiciones de vida en ambientes confinados, sino de la transferibilidad de las soluciones planteadas y estudiadas allá en donde mayor es la necesidad, es decir entre la franja de personas más vulnerable a los efectos del clima y más expuestas a los efectos del cambio climático, representada por las personas de menores recursos.

En el presente artículo se hace un análisis comparativo de diez modelos de construcción analizando los comportamientos fluidodinámicos derivados de diferentes configuraciones de sección y de las aperturas para inmisión y extracción de aire.

## 2. CONNOTACIONES DEL OBJETO DE ESTUDIO

Se han desarrollado una serie de soluciones para optimizar la capacidad de respuesta fluidodinámica de un espacio interior sencillo destinado a vivienda.

El espíritu de esta intervención es el de transferir localmente conocimientos para generar consciencia y gestionar estrategias en tres direcciones:

- Mejoramiento de la capacidad de adaptación de las comunidades vulnerables.
- Reducción del impacto ambiental en un ecosistema frágil.
- Consideración del patrimonio formal de cultura arquitectónica espontánea. Por lo que se refiere especialmente a regiones inundables con clima cálido húmedo ha sido orientada a la protección de la franja de población más vulnerable, representada por comunidades de bajos recursos, donde las tipologías y la materialidad propuestas, al recuperar aspectos connotativos propios del territorio, contribuyen al mantenimiento de peculiares dinámicas y expresiones.

La labor desarrollada por el grupo Ecoenvolventes de la Universidad Piloto de Colombia, ha sido específicamente la de verificar la validez de los planteamientos del proyecto tomando en cuenta unos parámetros básicos que intervienen sobre confort y calidad del aire, implementando posteriormente unas herramientas para simular tanto las condiciones internas que podrían generarse en condiciones normales de uso.

Especialmente importante, en la realización de las comprobaciones, han sido los resultados de las simulaciones de las condiciones fluidodinámicas, internas a las viviendas. Estos análisis han permitido verificar las soluciones físicamente más eficientes desde los diferentes puntos de vista y así identificar, desde el punto de vista fluidodinámico debilidades y fortalezas de los diseños arquitectónicos.

El software utilizado es Design Builder.

## 3. ASPECTOS Y VARIABLES A CONSIDERAR

Los factores propios de todo proyecto bioclimático y que, naturalmente aplican en este



caso son los que intervienen en la determinación del proyecto constructivo e implican aspectos formales, funcionales y tecnológicos y pueden ser reducidos eminentemente a dos parámetros:

1. Exposición a los agentes atmosféricos capaces de alterar condiciones de confort y calidad de la vida al interior de las arquitecturas.

2. Diseño arquitectónico, donde son importantes la relación entre superficie expuesta a los agentes atmosféricos y el volumen, a sabiendas de que la superficie de impacto, por ejemplo de sol, lluvia o viento, son los canales a través de los cuales se genera el intercambio.

#### 4. EL LUGAR Y EL CLIMA

Para tener referencias objetivas, se han considerado las características climáticas de la isla de San Andrés, en cuanto notas y similares a las demás áreas sujetas similares condiciones de variabilidad al cambio climático. Específicamente se ha asumido la temperatura media anual del aire, de  $27,6^{\circ}\text{C}$ , y al régimen de las perturbaciones propio del Caribe, caracterizado por el modelo unimodal, es decir un periodo seco (de diciembre a mayo) alternado a período húmedo (de junio a noviembre) donde el 47% de las lluvias se presentan prevalentemente en las noches. Debido a su localización en la zona intertropical, la Isla de San Andrés presenta mínimas variaciones térmicas a lo largo del año siendo la diferencia de temperatura promedio mensual máxima ( $31,3^{\circ}\text{C}$ ) y mínima ( $23,5^{\circ}\text{C}$ ). [4]

La humedad relativa porcentual promedio es del 83% y las horas de sol por año son 2686, con un promedio de 7,4 horas/día y una variabilidad a lo largo del año de  $\pm 20\%$ .

Los vientos prevalentes son los alisios provenientes de Noreste (40%) y del Este (40%), con mínimo diario entre 0,2 y 0,6 m/s (brisa débil) y máximo entre 19,0 y 25,2 m/s (temporal a temporal duro); estos valores indican como durante todo el año el régimen de vientos sea presente y con una acentuada variabilidad en su manifestación siendo la velocidad promedio entre los 7 y los 8 m/s (brisa moderada).

Aun siendo diferente el régimen de los vientos, en los valores fundamentales de temperatura y excursión térmica así como de humedad relativa

las manifestaciones climáticas de Girardot y San Andrés son similares de tal manera que la eficiencia de soluciones evaluadas o experimentadas en una de las dos localidades puede tener validez y ser por consiguiente replicada a la otra.

#### 5. ESTUDIO DE ARQUITECTURA DE UN PISO

Se considera como objeto de estudio la influencia de flujos de aire aplicados a geometrías sencillas para detectar su eficiencia, el interesamiento de los espacios confinados, intensidad y dinámicas generadas.

##### Modelo físico

Se ha considerado como modelo físico de referencia una construcción sencilla, de planta cuadrangular, confrontando soluciones directamente contra tierra y sobre pilotes, con cubierta plana, a dos aguas o mixta.

Partiendo de un volumen prismático sellado, se desarrollan evoluciones y variantes que permiten identificar cuales factores intervienen y como intervienen en términos de circulación del aire.

##### Ventilación

Los valores de las simulaciones fluidodinámicas son de 5 metros por segundo, un valor poco inferior a los 18 kilómetros por hora, lo que corresponde a una brisa débil, grado 3 en la escala de Beaufort, cuya entidad se manifiesta con el movimiento de ramas y hojas. Se trata de un valor que se supera todos los meses en la isla y que tratándose de una brisa de origen marino, se genera durante el día como efecto de la mayor temperatura del agua con respecto a la de la tierra generando la subida del calor que se genera en la superficie aflorada. Es esta una velocidad suficiente para evidenciar dinámicas de los fluidos, siendo una condición que se alcanza diariamente en el lugar considerado. [5] El flujo natural del aire genera a su vez en los espacios confinados dos tipos de flujos:

- Ventilación cruzada, es decir: un flujo que penetra en el espacio confinado y sale en la misma dirección intercambiando con el aire presente al interior debido al simple paso del aire en correspondencia de puntos de paso en la misma dirección del viento o brisa que se genera externamente;

- Ventilación inducida por efecto chimenea, es decir: un flujo que entra en el espacio confinado donde la circulación del aire se genera por una diferencia de presión generada por el calor que las superficies de la envolvente expuestas a la radiación solar transmiten al espacio interior y por el movimiento hacia arriba del aire más caliente. Estos flujos son generados por aperturas y configuraciones que re-orientan los flujos aéreos en función de mitigar los efectos de la radiación solar sobre las superficies y la extracción de aire recalentado, gases y olores que pueden generarse por efecto de las actividades humanas en espacios confinados.

El modelo físico inicial (Modelo 0) sufre por tanto progresivas transformaciones que permiten:

- Implementar diferentes soluciones para la inmisión y la salida del aire;
- Desprender el volumen del suelo para generar un ulterior flujo de aire entre pilotes;
- Generar diferentes formas de cubierta para el direccionamiento del aire más caliente y su evacuación.

La necesidad de construir sobre pilotes, además de una solución funcional fluidodinámicamente, [6] representa técnicamente una solución motivada por la necesidad de minimizar la vulnerabilidad de las construcciones en caso de inundaciones, causadas por mareas o lluvias intensas, además de los estacionales desbordamientos de los ríos.

No debe extrañar la difusión de esta solución en cuanto la ubicación de asentamientos humanos en territorios sujetos a este tipo de fenómenos es a menudo motivado por el mismo desbordamiento de ríos y la fertilidad de los terrenos que reciben el depósito de fangos y que son, por consiguiente los terrenos más productivos. La altura de los pilotes, que en condiciones reales depende de la entidad de las manifestaciones de inundación, no ha sido considerada como determinada sino como simple espacio funcional a la fluidodinámica. [7] En otros términos: la modesta altura de los pilotes tiene eminentemente la función de mostrar el comportamiento de los flujos aéreos. Una mayor altura, dependiente de las posibles afectaciones

locales y de la pendiente del terreno, no alteran sustancialmente el comportamiento vectorial del aire, pero sí su cantidad y posiblemente en términos poco apreciables, su temperatura.

La inclinación de la pendiente se debe a diferentes motivos:

- La característica climática de las regiones con clima cálido húmedo, caracterizado por periodos de lluvias intensas,
- la dislocación de las masas de aire caliente,
- la necesidad de generar una diferencia de altura óptima para activar naturalmente el efecto chimenea,
- la generación de flujos apropiados para la extracción natural de aire recalentado.

Los diferentes modelos se han desarrollado con el fin de evaluar comparativamente los comportamientos fluidodinámicos. Al respecto es oportuno recordar que en un flujo inducido como lo es el generado por el efecto chimenea, su eficiencia depende de diversas condiciones y no es solamente la diferencia de altura que lo hace posible y eficiente. Por un lado interviene las propiedades de los materiales que se están implementando, específicamente masa y conductividad térmica; por otro lado es de suma importancia la configuración volumétrica general así como la ubicación de aperturas, tanto en corte como en fachada y sus dimensiones. Es además relevante el tipo de superficie del piso, tanto por rugosidad, inclinación, tipo de material (especialmente masa y conductividad térmica). Se ilustran en seguida diferentes modelos que permiten evaluar comportamientos y niveles de eficiencia en condiciones de clima tropical cálido húmedo.

#### **Modelo 0: Construcción convencional de 1 piso, sobre terreno natural, con techo plano, sin ventilación cruzada**

En termodinámica una transformación adiabática se genera cuando un sistema físico no intercambia calor con su entorno, es decir: que no permite el paso a través de la envolvente de energía. En este caso se trata de una construcción que minimiza el intercambio con el entorno en el cual está ubicada mediante el sellamiento de los espacios confinados. Es esta una condición



usualmente “imperfecta, pero necesaria” para las construcciones que buscan condiciones de confort mediante el uso de máquinas térmicas como el aire acondicionado.

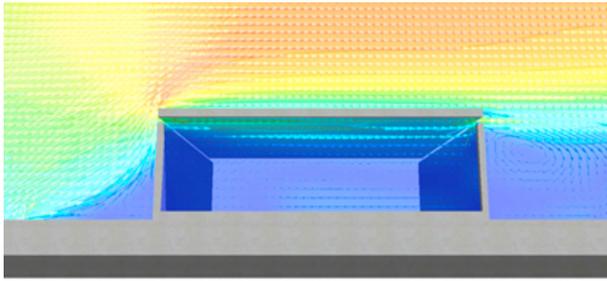


Ilustración 1. Volumen de referencia.

Necesaria en cuanto menor es el escape del aire, menor es el volumen a tratar; imperfecta en cuanto a menudo delega a las mismas máquinas la función de generar el confort.

El volumen prismático del Modelo 0 es completamente sellado pudiéndose observar que no se genera algún movimiento de aire al interior, mientras que la simple oposición del volumen al flujo lineal del aire exterior genera una deflexión del mismo a barlovento y una turbulencia a sotavento.

Esta imagen, por tanto, sirve como referencia a los demás modelos que desarrollan esta forma prismática elemental y adiabática.

### Modelo 1: Construcción convencional de 1 piso, sobre terreno natural, con techo plano y ventilación cruzada superior

Este modelo permite apreciar los efectos de una solución presente con cierta frecuencia en zonas tórridas, donde se necesita absolutamente evacuar el calor en exceso; usualmente esto se da mediante celosías fijas puestas al intradós del entrepiso superior o de la cubierta.

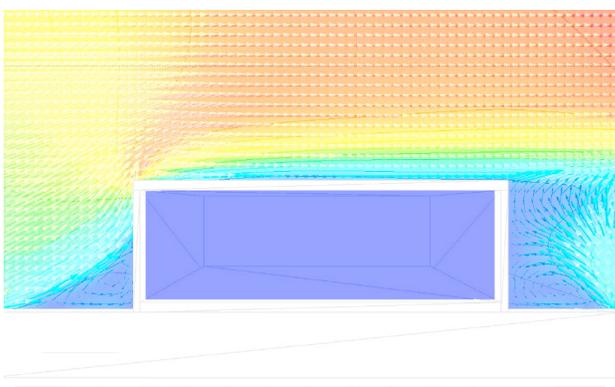


Ilustración 2. Sección convencional de construcción de 1 piso, sobre terreno natural, con techo plano y ventilación cruzada superior.

El esquema evidencia los efectos de esta solución donde es posible observar un flujo laminar superior cruzado que interesa la sección superior del volumen generando inferiormente dos flujos periféricos que interesan las partes que afectan directamente a las personas. Se trata de flujos de modesta velocidad, inducidos por el flujo superior que funcionan eminentemente como mezcladores del aire menos caliente contribuyendo, si bien modestamente a no generar áreas puntuales de discomfort.

### Modelo 2: construcción de 1 piso, sobre terreno natural, con techo plano, ventana a barlovento y ventilación cruzada superior

Si al modelo anterior agregamos a barlovento una ventana se observan cambios sensibles en los flujos de aire. La ventana se ha diseñado como una doble guillotina con el fin de reconocer en una sola apertura la efectividad y la dirección de los flujos superior e inferior. Como es obvio una mayor permeabilidad al aire permite un mayor movimiento de la masa de aire interior y, en general un interesamiento en el flujo principal de una mayor masa de aire. Las mayores velocidades se presentan en correspondencia de las secciones menores y especialmente en la apertura a sotavento; pueden observarse diferentes flujos: una inmisión principal en correspondencia de la alfajía que se difunde en el espacio confinado; una parte de este aire es literalmente succionado superiormente para salir a barlovento por la celosía superior, mientras que el flujo principal se extiende uniformemente al interior saliendo por la celosía de sotavento. Un flujo menor, a barlovento, genera una turbulencia que interesa el área de barlovento inferior.

Puede por tanto observarse que las ventanas generan una mayor homogeneidad en los flujos internos facilitando un intercambio uniforme, un cambio de aire óptimo y unas condiciones más similares en todo el volumen.

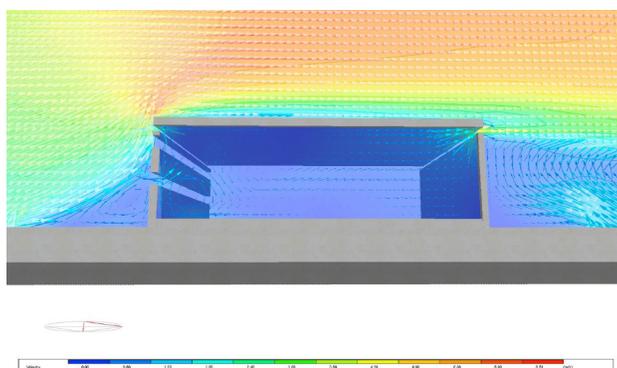
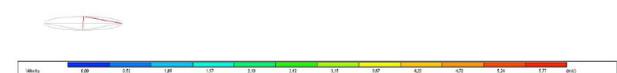
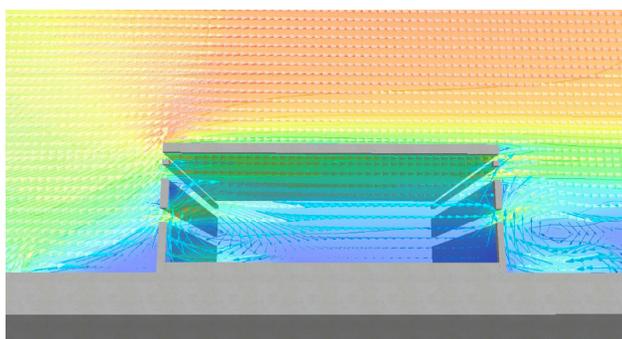


Ilustración 3. Sección convencional de construcción de 1 piso, sobre terreno natural, con techo plano ventilación cruzada superior y ventana a barlovento.

### Modelo 3: construcción de 1 piso con techo plano, ventanas opuestas y ventilación cruzada superior

Si al modelo 2 se agrega una segunda ventana, idéntica a la primera, esta vez a sotavento, se observa un cambio aún más sensible en las condiciones internas: se mueve una cantidad mucho mayor de aire, que adquiere una mayor velocidad cuando el flujo se mantiene lineal. Parece una solución que acelera el intercambio térmico interesando mayormente los volúmenes donde el aire es menos denso. Sigue presentándose una ligera turbulencia a barlovento y un interesamiento menor del volumen próximo al piso.

### Modelo 4: Construcción de 1 piso, sobre pilotes, con techo plano, ventilación cruzada superior realizada y con ductos de inmisión aire fresco inferiores



**Ilustración 4.** Sección convencional de construcción de 1 piso, sobre terreno natural, con techo plano ventilación cruzada superior y ventana yuxtapuestos.

El modelo 4 retoma sustancialmente el anterior modelo 1 con la diferencia de haber “levantado” el volumen para permitir un flujo lineal por debajo del primer entrepiso y la apertura a nivel de piso de una delgada apertura en el entrepiso en correspondencia de las fachadas de barlovento y sotavento. Es interesante ver como el flujo superior alcanza un mayor volumen de extracción y que una extensa masa de aire a mediana altura viene evacuada inferiormente por la apertura de sotavento generando además una mayor turbulencia exterior, lo cual induce un ulterior intercambio térmico por convección tanto en la cara interna como en la externa de la pared interesada; por otro lado se observa como el flujo entre pilotes, aun manteniéndose laminar, adquiere una mayor velocidad que la superior manteniendo muy fresco todo el entrepiso. Las aperturas verticales inferiores muestran además que no solamente permiten la buena evacuación

de la masa de aire sino que permiten la inmisión de aire en vertical, lo que refresca la cara interna de la pared de barlovento, siendo su masa de mayor temperatura integrada en el flujo horizontal superior y succionada a sotavento.

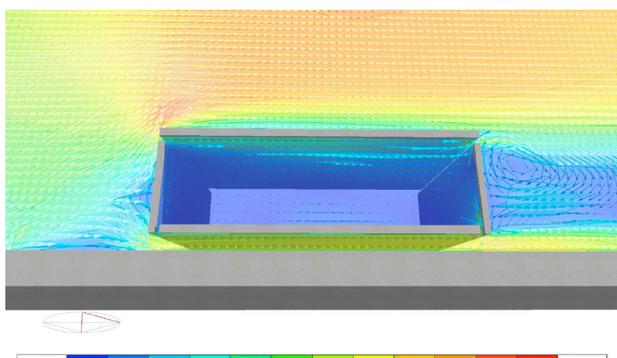
### Modelo 5: Construcción de 1 piso con techo plano, sobre pilotes, con ventana a barlovento, ductos de inmisión de aire fresco inferiores y ventilación cruzada superior

Es este un modelo análogo al modelo 2, pero siendo sobre pilotes y con aperturas en el piso en correspondencia de las paredes. Como en el caso anterior (modelo 4) se observa como la solución de realzar el piso para permitir el acceso del aire inferior incrementa sustancialmente la masa de aire tratada, sobre todo en la parte inferior, donde se genera de hecho un doble circuito donde la mayor movimentación se presenta en la parte inferior.

Puede en efecto observarse que flujos que entran desde la ventana se encausan hacia abajo en vez de dirigirse, como encontrado en el modelo anterior, hacia arriba.

Esta clara indicación le permite al proyectista desarrollar soluciones capaces de mejorar pasivamente el confort utilizando de manera apropiada materiales masivos para incrementar la inercia en las superficies de piso.

Vale la pena observar como aperturas análogas por colocación (en extremo superior e inferior respectivamente), ambas de pequeñas dimensiones generen dinámicas diferentes; las aperturas en entrepiso en efecto, obligan el aire succionado a un recorrido mayor con respecto a las superiores, de tal manera que, para volver a canalizarse en los flujos entre pilotes, adquiere una mayor velocidad, (en este caso aproximadamente 1,64m/s, frente al 0,55m/s del flujo superior) favoreciendo el intercambio térmico.

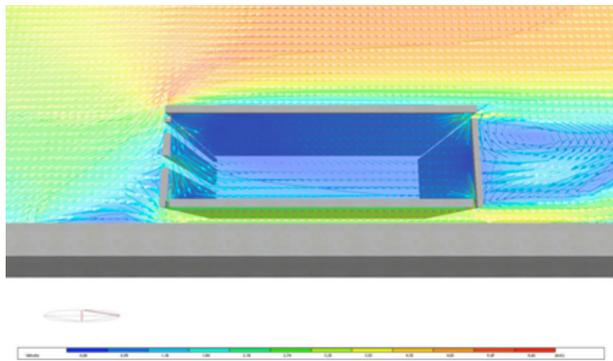


**Ilustración 5.** Sección de construcción de 1 piso, sobre pilotes, con techo plano, ventilación ascendente y ventilación cruzada superior.



### Modelo 6: Construcción de 1 piso con techo plano, realizada, con ventana a barlovento, ductos de inmisión de aire fresco inferiores y ventilación cruzada superior

Vale también en este caso la analogía con un modelo anterior, el 3, pero con la diferencia residente en el pilotaje y las aperturas del entrepiso en correspondencia de las paredes. En este caso se aprecia una sustancial similitud entre los dos modelos en cuanto a dirección, intensidad y velocidad de los flujos; inmisión y extracción del aire inferior son funcionales a la movimentación del aire en la mitad inferior, pero se trata de flujos modestos con velocidad baja, contrariamente a lo observado en el modelo 5.



**Ilustración 6.** Sección de construcción de 1 piso, sobre pilotes, con techo plano, ventilación ascendente, ventana a barlovento y ventilación cruzada superior.

Inversamente puede observarse como el diseño especular y la dimensión de las aperturas superiores mantiene las mismas características del modelo convencional 3 con buena ventilación cruzada.

La mayor diferencia que se observa es que la masa del aire inferior sale en el modelo 3 por la parte inferior de la ventana de sotavento, mientras que en el presente modelo 6 la salida se genera por la apertura de entrepiso, siempre a sotavento.

Puede por tanto concluirse que, en caso de una perfecta condición de ventilación cruzada realizada mediante ventanas y celosías, las aperturas inferiores de entrepiso adquieren menor importancia que en los casos en que los espacios confinados oponen a una pared con ventana otra sin apertura o con una sola celosía, persiana o sobreluz de la puerta superior.

### Modelo 7: Construcción de 1 piso con techo asimétrico, con sola salida de aire caliente en cumbre

El volumen prismático sencillo evidencia los comportamientos fluidodinámicos de una configuración muy usual, pero pensada más en

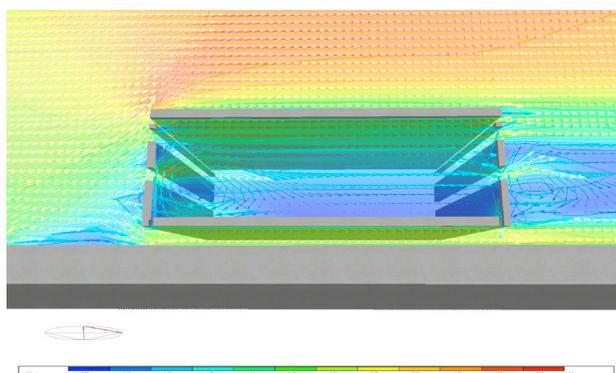
función de principios de ahorro en costos y de sencillez constructiva que para optimizar el confort pasivo; sin embargo la proximidad de la superficie de cubierta a las personas hace que sean más fuertes los efectos de convección que, en caso de superficies que reciben directamente radiación solar y lluvia, genera condiciones de disconfort que pueden sí ser mitigadas, en caso de radiación solar, por una ventilación eficiente, pero pueden ser mejoradas sustancialmente si se interviene en la misma forma de la cubierta.

En este modelo la cubierta es mixtilínea, con una pendiente a barlovento y una superficie plana a sotavento, donde se prevé una sola apertura superior con el fin de elevar el nivel que ocupa el aire más caliente en cuanto menos denso. Se trata de simular unas condiciones de no permeabilidad al aire en las demás superficies para verificar si efectivamente, aun en condiciones no favorables, esta apertura genera extracción de aire.

Efectivamente se reconocen dos flujos principales que van encausando el aire hacia el exterior. A barlovento se genera un flujo circular en sentido horario muy lento, mientras que a sotavento se evidencia un flujo extractivo que abarca toda esta porción confinada, que adquiere velocidad al mezclarse los dos flujos.

Resulta interesante observar cómo tanto el flujo extractivo como la forma de la cubierta generan una turbulencia localizada que interesa la superficie de cubierta plana favorecida por la presencia de un mayor flujo turbulento a sotavento.

Al no configurarse como ventilación cruzada, la sola extracción no puede operar sobre un volumen continuo y pasante de aire, lo cual la hace menos efectiva del modelo 1 en puros



**Ilustración 7.** Sección de construcción de 1 piso, sobre pilotes, con techo plano, ventilación ascendente, ventanas yuxtapuestas y ventilación cruzada superior.

términos fluidodinámicos, pero presenta aspectos que se pretende desarrollar para una más extensa y diciente comparación que se refiere a la influencia de la forma de cubierta en el comportamiento fluidodinámico.

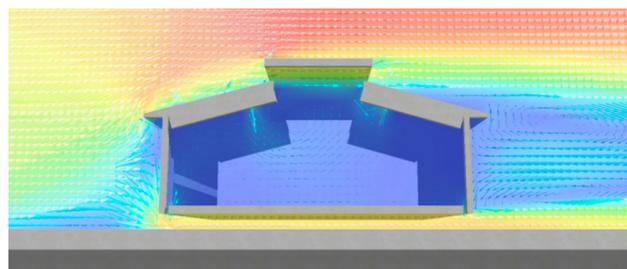
**Modelo 8: Construcción de 1 piso con techo de dos aguas, sobre pilotes, con ductos de inmisión de aire fresco inferiores y salida de aire caliente en cumbrera**

Al atribuirle a la construcción una cubierta simétrica de dos aguas con una dilatación superior para permitir el flujo cruzado de aire y aleros en la línea de canal, se observa una mayor complejidad de los flujos de aire. A barlovento el flujo se desdobra para ser encausado hacia abajo y retomar su dirección laminar horizontal en zona de pilotaje, mientras que el flujo desviado superiormente genera mayor turbulencia en correspondencia del alero para retomar una sustancial linealidad una vez superada la línea de canal. El flujo ascendiente que se observa en la falda de barlovento, retoma su horizontalidad al cruzar la cubierta, donde se mezcla con aire del volumen confinado que así genera una succión que acelera el acceso, por la apertura inferior de barlovento: en la zona inferior del volumen arquitectónico se genera un flujo suave que entra y sale de las hendiduras ubicadas a nivel de piso a sotavento.

**Modelo 9: Construcción de 1 piso, sobre pilotes, con techo de dos aguas, ductos de inmisión de aire fresco inferiores, ventana a barlovento y salida de aire caliente en cumbrera**

Este modelo le agrega una ventana de doble guillotina al anterior diseño, donde la presencia de la apertura modifica sustancialmente la fluidodinámica interna generando una intensa movimentación de aire. El acceso del aire, desde tres diferentes puntos, favorecido además por la inclinación de la cubierta, genera un movimiento convectivo en sentido horario que interesa gran parte del espacio confinado. El aire más caliente presente en la parte superior, se mezcla y viene parcialmente succionada en la corriente que cruza la cubierta, mientras que la otra masa de aire, continua siguiendo su giro siendo parcialmente evacuada inferiormente por la hendidura de piso a sotavento.

Resulta evidente, en este caso, como la forma del volumen, la ubicación y dimensión de las aperturas juegan un papel importante en la

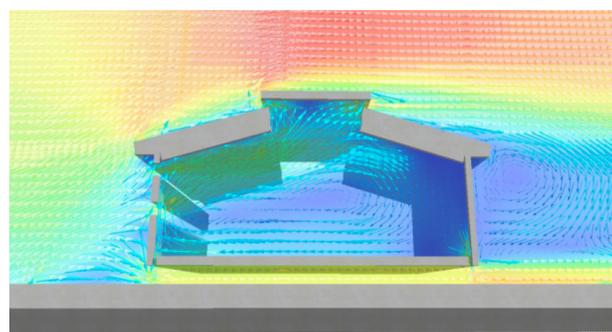


**Ilustración 9.** Sección de construcción de 1 piso, sobre pilotes, con techo inclinado, ventilación ascendente y ventilación cruzada superior.

economía fluidodinámica del espacio.

**Modelo 10: Construcción de 1 piso con techo de dos aguas, realzada, con ductos de inmisión de aire fresco inferiores, ventanas opuestas y salida de aire caliente en cumbrera**

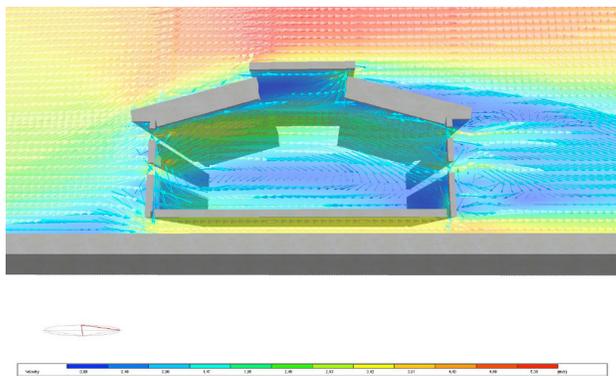
En este modelo se hace evidente como la dimensión de las aperturas genera una prevalencia en los flujos siéndolo aún más cuando estos mantienen la misma dirección del viento externo. Es esta una consideración fácilmente intuible, pero, por efecto del confort general resulta más interesante analizar más detalladamente los flujos. En la dilatación de la cumbrera el ducto fluidodinámico que se genera interesa solo relativamente el aire del espacio confinado operando como simple ducto que casi no intercambia con el aire interno. El espacio interno presenta un flujo laminar horizontal prevalente en correspondencia de las aperturas de las ventanas; el vano superior de la doble guillotina interesa además un área superior que permite la extracción del calor generado por convección en las superficies de cubierta, lo cual responde a las necesidades de remover el aire de estas que son las superficies que más ganancia térmica generan por efecto de la radiación solar.



**Ilustración 10.** Sección de construcción de 1 piso, sobre pilotes, con techo inclinado, ventilación ascendente, ventana a barlovento y ventilación cruzada superior.



El vano inferior de la ventana genera un flujo menos lineal al ser influenciado por las pequeñas aperturas en correspondencia del piso; específicamente la de barlovento genera un movimiento ascensional que genera una corriente secundaria que forma un recorrido en sentido horario, donde una parte del aire es extractado a nivel de piso, mientras que resulta evidente el flujo rasante a nivel del entrepiso que refresca su superficie, permitiendo una configuración de flujos eficiente.



**Ilustración 11.** Sección de construcción de 1 piso, sobre pilotes, con techo inclinado, ventilación ascendente, ventanas yuxtapuestas y ventilación cruzada superior.

## 6. CONCLUSIONES

Se ha implementado la herramienta de la simulación fluidodinámica para analizar el comportamiento de los flujos al interior de espacios confinados sencillos. La referencia geoclimática es la isla de San Andrés, lugar donde el recurso ventilación es presente con continuidad, si bien con intensidades que van de la 0 a la 10 de la Escala de Beaufort. El objeto de estudio, un volumen sencillo de un solo piso le apunta a favorecer condiciones pasivas de confort especialmente en consideración de los severos límites presupuestales impuestos en viviendas de tipo social, implementando soluciones pasivas de ventilación que conjugan al mismo tiempo la eficiencia y la economía tanto constructiva como de energética durante la vida útil: estas soluciones han sido encontradas asociando ventilación natural e inducida por efecto chimenea, prestando en este último caso atención al diseño de cubierta para favorecer la extracción de aire caliente.

Las características climáticas de la isla, que pueden asimilarse a asentamientos aislados y campesinos en el resto del país, permiten un aprovechamiento cuidadoso y sostenible de los

recursos naturales para reducir la dependencia energética y el impacto ambiental sobre el equilibrio ecosistémico.

Lo anterior mediante soluciones pasivas sencillas y eficientes para las condiciones climáticas isleñas.

Del análisis comparativo de los 11 modelos puede desprenderse unas consideraciones que pueden agruparse en los siguientes factores:

- Factor de forma;
- Factor pilotaje;
- Factor configuración de cubierta.

La forma prismática resulta ser estrictamente funcional a los flujos horizontales reduciendo la circulación rotatoria del aire que no está directamente interesada al recorrido más breve entre un punto de entrada y uno de salida. Esta condición mejora cuando a las aperturas -como ventanas o celosías a intradós de la placa- se agregan aperturas a nivel del piso que incrementan la circulación a niveles inferiores. Simplemente implementando una forma mixtilínea de cubierta se genera un movimiento circular allá en donde tenemos la pendiente y eminentemente lineal en correspondencia del techo plano.

El pilotaje permite una mayor exposición a los flujos externos permitiendo además aperturas en zonas protegidas, a nivel de primer entrepiso, que, por tener una direccionalidad vertical, activan un movimiento también en este sentido. Con esta solución se incrementa además la turbulencia a sotavento que permite incrementar el intercambio térmico de estas superficies externas.

Al implementar una ligera inclinación de la cubierta (15%) se complementa con flujos laminares internos con cuyo recorrido es guiado por la misma forma de la envolvente. El mayor volumen interno determinado por las faldas de cubierta permite encausar progresivamente el aire más caliente hacia la cumbre. Al generar en la extremidad superior un ducto de paso del aire externo, se observa que este flujo a fuerte velocidad engloba y arrastra una parte del aire que ha ganado calor al subir por pared y falda de barlovento favoreciendo la succión de aire más fresco desde el primer entrepiso y así mejorar



las condiciones internas. Si bien la dimensión de estas últimas hendiduras sea intencionalmente reducida (para no limitar el uso de los espacios), se observa que el aire que circula internamente a sotavento viene a su vez arrastrada y succionada a nivel de entrepiso.

En otros términos puede observarse, de la comparación entre los 11 modelos, que interviniendo sobre factores sencillos es posible generar dinámicas de fluidos que permiten generar flujos al interior de los espacios confinados capaces de refrescar personas y superficies generando condiciones de confort sobre las cuales puede intervenir mediante presencia de apertura, dimensionamiento, ubicación y porcentaje de superficie permeable al aire. La optimización de la eficiencia depende de específicas condiciones climáticas de asentamiento y entorno, funciones, condiciones de uso y actividad de los usuarios, lo cual deberá obviamente evaluarse específicamente en cada caso.

En san Andrés se reconoce, por analogía de modelos con las tradicionales viviendas isleñas, que las soluciones empíricas presentan una buena eficiencia fluidodinámica detectando en el aprovechamiento de la circulación de aire en el área de pilotaje una optimización de los flujos aéreos al interior con soluciones sencillas, por tanto aptas para vivienda social, que inducen una circulación en forma de looping que interesa a todo el volumen reduciendo pasivamente los efectos de la radiación solar directa. La asociación de hendiduras en el entrepiso y en cumbre favorece la extracción por efecto chimenea del calor radiante; por otro lado los

flujos que se generan a nivel de piso favorecen el efecto inercial de pisos masivos.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Varini, Claudio.** (2012). Architectural eco-envelopes with high thermal performance and low environmental impact for tropical areas. En: Proceedings VI Congreso Internacional de Envolventes Arquitectónicas. Donostia-San Sebastián: Ed. Tecnalia.
- [2] **Ruiz Murcia J. F.** (2010). Cambio climático en temperatura, precipitación y humedad relativa para Colombia usando modelos meteorológicos de alta resolución Bogotá: IDEAM Cap. 6
- [3] **IDEAM** (2005). Atlas climatológico de Colombia. Bogotá: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
- [4] **IDEAM** (2010). Datos climáticos aeropuerto Rojas Pinilla de San Andrés, Bogotá. [S.P.]
- [5] **Aynsley Richard.** (Mayo 2007). Natural Ventilation in Passive Design, Environment Design Guide. En: [http://www.yourbuilding.org/library/1\\_TEC02.pdf](http://www.yourbuilding.org/library/1_TEC02.pdf) Visionado: 14.05.2013
- [6] **ASHRAE.** (2005). Airflow Around Buildings. En: Handbook of Fundamentals. Atlanta: ASHRAE.
- [7] **Anh-Tuan Nguyen, Quoc-Bao Tranb, Duc-Quang Tranc, Sigrid Reiter.** (2011). An investigation on climate responsive design strategies of vernacular housing in Vietnam. En: Building and Environment, Volume 46, nº 10, October 2011.