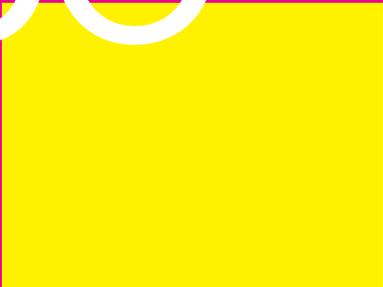




DISEÑO
E
DE VANOS
G
PA

NERATIVO
A EL
CONFORT
DEL
TROPICO





UNIVERSIDAD DEL BÍO-BÍO

Doctorado en Arquitectura y Urbanismo



DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO

TESIS

DOCTORAL María Clara

Betancourt Velasco
Arquitecta

Concepción
CHILE
2013

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO

TESIS

DOCTORAL María Clara

Betancourt Velasco
Arquitecta

Director
Rodrigo García
Alvarado Doctor
Arquitecto

FACULTAD DE
ARQUITECTURA
UNIVERSIDAD DEL BÍO-
BÍO CONCEPCIÓN

CHILE

2013

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es el resultado del esfuerzo de diversas instituciones y personas a quienes quiero expresar mi más profundo agradecimiento.

A la Universidad Bío-Bío por haberme beneficiado con una beca para poder realizar este doctorado y a sus profesores, por el apoyo y sugerencias recibidas.

A mi tutor el Doctor Rodrigo García Alvarado, por su dedicación para dirigir esta tesis, por su apoyo e interés presentado durante estos años.

A la Universidad Icesi, al Rector Francisco Piedrahíta, al Decano de la facultad de Ingeniería Doctor Gonzalo Ulloa, por haberme prestado todo el apoyo y los medios para llevar a cabo esta investigación.

A mis amigos y compañeros de trabajo de la Universidad Icesi por la paciencia y comprensión, en especial a Julián por ser mi interlocutor permanente.

A mis monitores Lina Marcela y Ciro, quienes sin su apoyo y dedicación incondicional no hubiera sido posible la culminación de este trabajo en el tiempo justo.

A Angelo y Luna, quienes han tenido la paciencia de aceptar mi dedicación y mis ausencias sin reclamos durante todo el tiempo que me he ocupado en esta investigación.

Finalmente a mi madre y mis hermanas que han vivido y recogido conmigo todo tipo de ilusiones y alegrías desde que me embarqué en esta aventura y que con su optimismo me ayudaron a persistir.

CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS		11
RESUMEN		20
ABSTRACT		21
1		
CAPÍTULO 1 - Antecedentes		25
Introducción		26
1.1 Justificación		28
1.2 Estado del arte		32
1.3 Objetivo		35
1.3.1 Objetivos específicos		35
1.4 Metodología		35
1.4.1 Revisión de condiciones generales		35
1.4.2 Evaluación y registro de datos		36
1.4.3 Análisis de los casos		36
1.4.4 Definición de los criterios de diseño		36
1.4.5 Implementación y comprobación		36
1.5 Delimitación del estudio		37
2		
CAPÍTULO 2 - Conceptos generales		39
Introducción		40
2.1 Contexto Arquitectónico		41
2.1.1 El vano en la historia de la arquitectura		41
2.1.2 El vano en la zona de estudio		42
2.2 Confort		44
2.2.1 Confort en el clima tropical		45
2.2.2 Confort térmico		46
2.2.3 Confort lumínico		46
2.2.4 Confort Sicológico		48
2.2.5 Normas y Modelos de confort		48
2.2.6 Modelo de confort adaptativo		49
2.2.7 Determinación del estándar de temperatura de confort		50
2.2.8 Determinación del estándar de humedad relativa		54
2.3 El clima tropical		54
2.3.1 El clima de la zona de estudio		56
2.4 Normas de construcción sostenible en países tropicales		58
2.4.1 Normatividad para Colombia		58
2.4.2 Estratificación de la vivienda en Colombia.		59
2.4.3 Normatividad para el Perú		61
2.4.4 Normatividad para el Brasil		62
2.5 Diseño generativo y herramientas para el diseño de vanos		63
2.6 Eficiencia energética		64
3		
CAPÍTULO 3 – Casos de estudio y registro de condiciones		67
Introducción		68
3.1 Selección de los casos		69
3.2 Inventario de vanos		72
3.3 Monitoreo térmico		80

3.3.1	Procedimiento y equipo	80
3.4	Monitoreo lumínico	82
3.4.1	Procedimiento y equipo	82
3.5	Resultados	83
3.5.1	Temperatura	83
3.5.2	Movimientos de aire	84
3.5.3	Humedad relativa	85
3.5.4	Iluminancia	85
3.6	Encuestas de post-ocupación	87
3.6.1	Estructura	87
3.6.2	Aplicación de las encuestas	88
3.6.3	Resultados de las encuestas	89
3.7	Relaciones geométricas de los casos	95
	Conclusiones	100

4

CAPÍTULO 4 - Análisis de datos y condiciones para el diseño de vanos **103**

	Introducción	104
4.1	Parámetros ambientales y factores personales	105
4.1.1	Parámetros de tipo climático	106
4.1.2	Parámetros de tipo espacial	106
4.1.3	Parámetros de tipo visual	106
4.1.4	Factores personales	107
4.2	Evaluación de parámetros	107
5.2.1	Evaluación del confort térmico	107
5.2.1.1	Temperatura	109
5.2.1.2	Humedad Relativa	111
5.2.1.3	Velocidad del viento	112
5.2.2	Evaluación del confort lumínico	114
4.3	Evaluación de factores personales	116
4.4	Resultados generales de la evaluación por casos de estudio	117
4.5	Correlación de datos	122
4.6	Condiciones de diseño de vanos	123
4.6.1	Entorno, orientación y emplazamiento	123
4.6.2	El edificio	125
4.6.2.1	Control solar	125
4.6.2.2	Fachada Norte y Sur	125
4.6.2.3	Fachada Este y Oeste	126
4.6.3	El espacio	126
4.6.3.1	Altura del espacio	128
4.6.3.2	Área del espacio	129
4.6.3.3	Iluminación	130
4.6.3.4	Ventilación	132
4.6.4	Vegetación	132
4.6.5	Conexión con el exterior	134
4.7	Aspectos geométricos	
	Conclusiones	

CAPÍTULO 5 - Implementación de resultados en herramienta generativa para el diseño de vanos residenciales

- Introducción
- 5.1 Evolución del modelado tradicional hacia el diseño paramétrico.
- 5.2 Conceptos básicos de algoritmos genéticos
- 5.3 Estado del arte: Aplicaciones en el diseño sostenible.
- 5.4 Herramientas de software: Rhinoceros®, Grasshopper® y Galapagos®
- 5.5 Procedimiento para la implementación de condiciones de diseño en herramienta generativa
 - 5.5.1 Diseño conceptual y representación paramétrica
 - 5.5.2 Rangos y valores de los parámetros considerados.
 - 5.5.3 Definición de variables y valores a optimizar.
 - 5.5.4 Generación de vanos y protecciones
- 5.6 Descripción de la rutina de optimización
 - 5.6.1 Descripción de la función de adaptabilidad (fitness metrics)
- 5.7 Aplicación de la herramienta en la concepción de un proyecto de vivienda
 - 5.7.1 Ejemplos de aplicación de la herramienta en los casos de estudio.

- 7.2 Condicio
- 7.3 Discusión
- 7.3.
- 1 El confort
- 7.3.
- 2 Incidenc
- 7.4 Proyección

Conclusiones

CAPÍTULO 6 - Validación y comprobación

- Introducción
- 6.1 Evaluación de desempeño
 - 6.1.1 Caso K (El hormiguero – vivienda sub urbana)
 - 6.1.1.1 Proyección de sombras
 - 6.1.1.2 Entrada de luz natural
 - 6.1.1.3 Desempeño térmico
 - 6.1.2 Caso P (Club del Campo – Vivienda sub urbana)
 - 6.1.2.1 Proyección de sombras
 - 6.1.2.2 Entrada de luz natural
 - 6.1.2.3 Desempeño térmico
- 6.2 Validación de la herramienta con arquitectos
 - 6.2.1 Estructura y aplicación de la experiencia de validación profesional
 - 6.2.2 Resultados generales
- 6.5 Aplicación de los resultados en proyecto nuevo de vivienda

Conclusiones

CAPÍTULO 7- Conclusiones

- Conclusiones
- 7.1 Conclusiones específicas
 - 7.1.1 Caracterización del vano y de las condiciones de confort en la vivienda tropical.
 - 7.1.2 Definición de condiciones de diseño de vanos para el desarrollo sustentable.
 - 7.1.3 Implementación de las condiciones de diseño en herramienta generativa.

137

138

139

140

141

142

143

144

145

147

148

148

149

157

159

163

165

166

167

167

167

168

169

171

172

172

173

176

177

177

180

181

183

184

185

185

185

186

187

188

188

189

189

6

7

BIBLIOGRAFIA

193

ANEXOS

205

Anexo 1 - Descripción de las viviendas de donde se construyó el inventario de vanos	206
Anexo 2 - Mediciones de aspectos climáticos de los casos de estudio	228 237
Anexo 3 - Registro de condiciones	271
Anexo 4 - Cuestionario de post-ocupación	289
Anexo 5 - Encuesta de satisfacción del espacio interior de cada vano	292 294
Anexo 6 - Encuesta general de satisfacción	
Anexo 7 - Encuesta sobre la utilización de la herramienta	

Índice de Figuras

- Figura 1.1 Mapa de la investigación.
- Figura 1.2 Viviendas urbanas entre medianeras en barrios tradicionales de alta densidad.
- Figura 1.3 Densidad en zonas de estrato socio económico 1 y 2 de Cali. Figura 1.4 Densidad en zonas de estrato socio económico 5 y 6 de Cali. Figura 1.5 Densidad de los suburbios de Cali.
- Figura 1.6 Edificio Torre de Cali de uso mixto (vivienda-hotel).
- Figura 2. 1 Temperaturas medias del año 2009 para Cali según algoritmo de Nicol. Figura 2. 2 Clasificación climática de Köppen.
- Figura 2. 3 Resumen rosa de los vientos para la Ciudad de Cali. Figura 2. 4 Necesidades Bioclimáticas para la ciudad de Cali. Figura 3.1 Selección de viviendas.
- Figura 3. 2 Ubicación de los casos en el mapa del Valle del Cauca Colombiano. Figura 3.3 Inventario consolidado de vanos.
- Figura 3.4 Estación meteorológica Kestrel.
- Figura 3.5 Mapa de la red meteorológica automatizada RMA. Figura 3.6 Luxómetro Lutron LX-105
- Figura 3.7 Resultados de las encuestas sobre el confort térmico en las viviendas. Figura 3.8 Resultados de las encuestas sobre la calidad del aire en las viviendas. Figura 3.9 Resultados de las encuestas sobre las características del aire en las viviendas.
- Figura 3.10 Resultados de las encuestas sobre el confort lumínico en las viviendas. Figura 3.11 Resultados de las encuestas sobre las preferencias de las ventanas. Figura 3.12 Resultados de las encuestas sobre preferencias en la configuración de las ventanas.
- Figura 3.13 Resultados de las encuestas sobre la preferencia en el contenido visual de las ventanas.
- Figura 3.14 Resultados de las encuestas sobre el uso de sistemas mecánicos de ventilación en las viviendas.
- Figura 3.15 Resultados de las encuestas sobre el efecto psicológico del grado de apertura de las ventanas y efecto restaurador de éstas.
- Figura 3.16 Resultados de las encuestas sobre el efecto psicológico de satisfacción de las vistas ofrecidas por las ventanas y la frecuencia de operación de éstas. Figura 3.17 Relación geométrica de los espacios afectados por los vanos. (A-H) Figura 3.18 Relación geométrica de los espacios afectados por los vanos. (I-P)
- Figura 4.1 Parámetros y factores que afectan el confort en la vivienda. Figura 4. 2 Resultados de la valoración por casos de temperatura.
- Figura 4. 3 Resultados de la valoración por casos de la humedad relativa. Figura 4.4 Resultados de la valoración por casos de confort lumínico.
- Figura 4. 5 Resultados de la valoración por caso de la evaluación de confort psicológico.
- Figura 4.6 Resultados por caso del confort total.
- Figura 4.7 Fachadas largas orientadas en sentido Norte-Sur. Figura 4.8 Diagrama del paso del sol para la Latitud 3°Norte.

F

i
g
u
r
a

4
.
9
P
e
n
e
t
r
a
c
i
ó
n

d
e

l
a

l
u
z

n
a
t
u
r
a
l

p
a
r
a

e
s
p
a
c
i
o

s con vanos en una sola orientación.	27
	29
	30
	30
	30
	31
	50
	55
	56
	57
	70
	71
	73
	80
	81
	82
	89
	90
	90
	91
	92
	92
	93
	93
	94
	94
	96
	97
	105
	108
	111
	113
	115
	117
	122
	124
	128

Figura 4.10	Uso de vegetación para mejoramiento de los movimientos de aire.	131
Figura 4.11	Uso de protecciones solares complementarias para vanos con orientaciones Este y Oeste.	131
Figura 5.1	Diagrama de flujo de la metodología desarrollada para la implementación de condiciones de diseño de vanos.	143 144 145
Figura 5.2	Interconexión de componentes de Grasshopper®	152
Figura 5.3	Componentes geométricos de Grasshopper®	157
Figura 5.4	Ubicación de la nomenclatura en un ejemplo de optimización.	158
Figura 5.5	Interfaz gráfica de Galápagos con información estadística de cada optimización	159 160
Figura 5.6a	Solución para un espacio 12 m2 orientado al poniente, latitud 3°Norte.	160
Figura 5.6b	Solución para un espacio 12 m2 orientado Sur latitud 3°Norte.	160
Figura 5.7	Diversidad de soluciones para un vano de la vivienda urbana El Níspero en tres momentos de la optimización.	161 161
Figura 5.8	Diversidad de soluciones de un vano para la vivienda suburbana El Hormiguero en tres momentos de la optimización.	162 162
Figura 5.9	Diversidad de soluciones de vanos para la vivienda comercial suburbana Club del Campo en tres momentos de la optimización.	168 168
Figura 5.10	Vano original y optimizado para fachada Norte caso B en El Níspero.	169
Figura 5.11	Vano original y optimizado para fachada Oeste del caso K en El Hormiguero.	170
Figura 5.12	Vano original y optimizado para fachadas Norte y Sur del caso P en Club del campo.	172 173
Figura 6.1	Proyección de sombras anuales de la vivienda El Hormiguero.	173
Figura 6.2	Análisis luz natural en la vivienda El hormiguero	173
Figura 6.3	Análisis de luz natural en la vivienda el hormiguero con el vano optimizado.	174
Figura 6.4	Gráfico comparativo de temperaturas en el día más cálido promedio y más cálido con el vano original, y el vano más apto del Club del Campo.	176 176
Figura 6.5	Proyección de sombras anuales de la vivienda Club del Campo.	179
Figura 6.6	Análisis de luz natural en la vivienda "Club del Campo" original.	179
Figura 6.7	Análisis de luz natural en la vivienda Club del Campo con el vano optimizado.	179 180
Figura 6.8	Gráfico comparativo de temperaturas en el día más cálido y más cálido promedio con el vano original, y el vano más apto del "Club del Campo".	180
Figura 6.9	Ingreso de datos mediante el dibujo a mano alzada con la ubicación de los vanos.	
Figura 6.10	Visualización de los datos de entrada en la interface y en Rhinoceros® para posteriormente optimizar.	
Figura 6.11	Planta de cubiertas y localización de la vivienda.	
Figura 6.12	Plantas arquitectónicas.	
Figura 6.13	Resultados de las optimizaciones de los vanos.	
Figura 6.14	Diseño completo de la vivienda con los vanos optimizados.	

Índice de Tablas

- Tabla 2.1 Niveles de iluminancia exigibles para diferentes recintos.
- Tabla 2.2 Lecturas de temperatura más alta y más baja en cada caso de estudio. Tabla 2.3 Resumen climatológico mensual para el año 2009 de Cali.
- Tabla 2.4 Resumen climatológico mensual para el año 2009 de Jamundí. Tabla 2.5 Vivienda tipo según estrato socioeconómico en Cali.
- Tabla 2.6 Recomendaciones Bioclimáticas para las zonas climáticas 8 y 9 del Perú Tabla 2.7 Norma de desempeño térmico de edificaciones para la Zona 8 del Brasil Tabla 2.8 Consumo energético por sectores en Colombia en 2006.
- Tabla 3.1 Registros de iluminancia de los casos de estudio
- Tabla 3.2 Cuadro resumen de orientación, ubicación en plano horizontal, plano vertical y tipo de protección.
- Tabla 3.3 Cuadro resumen de relaciones geométricas de los casos.
- Tabla 4.1 Rangos de valores aceptables de iluminancia por espacio y asignación de puntajes.
- Tabla 4.2 Resultados por casos de la evaluación de confort visual del interior.
- Tabla 4.3 Resultados de la evaluación de los diferentes parámetros que definen el confort de los casos de estudio.
- Tabla 4.4 Correlación entre los parámetros y factores personales de los casos de estudio.
- Tabla 4.5 Significancia de los parámetros y factores personales de los casos de estudio.
- Tabla 4.6 Promedio de la altura de entepiso de los casos de estudio sobresalientes. Tabla 4.7 Promedio de la relación vano/planta de los casos de estudio sobresalientes.
- Tabla 4.8 Promedio y rango de las áreas de los recintos de los casos con mejor evaluación.
- Tabla 4.9 Promedio del porcentaje de apertura permanente.
- Tabla 4.10 Selección de casos de estudio y valores de las relaciones geométricas ideales.
- Tabla 5.1 Determinación de los valores máximos y mínimos de los aspectos geométricos de los vanos sobresalientes.
- Tabla 5.2 Valores para los lineamientos de diseño.
- Tabla 5.3 Nomenclatura utilizada en la función de adaptabilidad
- Tabla 5.4 Índices usados en las funciones descritas anteriormente y su respectivo significado.
- Tabla 6.1 Calificación de confort del vano K de la vivienda El Hormiguero. Tabla 6.2 Temperaturas día promedio más cálido. Simulación vivienda El Hormiguero.
- Tabla 6.3 Calificación de confort del vano P de la vivienda Club del Campo. Tabla 6.4. Registro de temperaturas interiores con vano original, más apto y exterior, en el día más caluroso del año para la vivienda Club del

47

52

53

53

60

61

62

65

86

98

98

112

113

116

120

120

126

127

127

130

133

146

147

152

156

167

171

171

175

RESUME N

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO.

El vano tiene importancia en la estética y espacialidad de un edificio, en el rendimiento energético del mismo y de manera significativa en la generación de confort, ya que es por medio de las aberturas que los ocupantes controlan directamente el ambiente interior. En América Latina, el sector residencial es el de mayor consumo energético por encima del resto de edificaciones, sumado a la escasez de normas de habitabilidad relacionados con la calidad ambiental interior o la inexistencia de políticas gubernamentales hacia las prácticas sostenibles en la arquitectura. Esta situación hace necesario identificar criterios para el diseño residencial, en particular de elementos como los vanos, que pueden otorgar una regulación pasiva del confort interior, como lo evidencia la arquitectura popular del trópico, pero que el actual desarrollo residencial en la zona ha debilitado.

Esta tesis tiene como propósito promover el mejoramiento de la calidad ambiental interior en las viviendas del trópico, mediante el desarrollo de condiciones de diseño de vanos que permitan un adecuado ambiente interior, implementadas en herramienta computacional generativa como estrategia para el proceso de diseño sostenible. Se tuvieron en cuenta aspectos cualitativos y cuantitativos del confort observados en casos relevantes. Se elaboró un inventario de vanos residenciales, mediante el registro y consulta de condiciones ambientales, para definir las directrices que posteriormente se aplicaron en un sistema digital optimizador de relaciones geométricas.

Los criterios desarrollados e implementados son recomendaciones de vinculación con el exterior y refrigeración pasiva extraídos del inventario estudiado, y comprobadas mediante validaciones y evaluaciones con arquitectos, obteniendo resultados significativos de aplicación. Estas condiciones están relacionadas con el uso de elementos artificiales y naturales de protección en los vanos, proporciones dimensionales del recinto, disposición variada en la vivienda y permeabilidad de la envolvente. Esta investigación permitió identificar condiciones relevantes de los vanos en el confort residencial tropical mediante la revisión de aspectos ambientales y personales, además del aporte al proceso de diseño mediante la implementación de una herramienta computacional generativa que fomenta la sostenibilidad de la vivienda tropical desde la etapa de

concepción de un proyecto.

ABSTRACT

**T
GENERATIVE DESIGN OF OPENINGS FOR
TROPICAL HOUSING COMFORT**

Façade openings are important for the aesthetics and spatiality of a building, as much for the energy efficiency and significantly for the generation of comfort because it is through openings that the residents control directly the indoor environment. In Latin America, the residential sector is the greatest energy consumer much more than other sectors. This takes into account the scarcity of housing regulations related to interior environmental quality as well as the nonexistence of government policies regarding sustainable practices in architecture. This situation makes it necessary to identify criteria for residential design, in particular, elements such as openings that may provide a passive control of indoor comfort as this is evidenced in popular tropical architecture. The result is that the current residential development has declined.

The purpose of this thesis is to promote the improvement of interior environmental quality in tropical housing, through the development of design conditions of openings that permit an adequate interior environment by implementing generative tools as a strategy for a sustainable design process. Quantitative and qualitative aspects were taken into account of observed comfort in relevant cases. An inventory of residential openings was worked up through the registering and consultation of environmental conditions. The evaluation and comparison of characteristics was realized in order to define the guidelines that were later applied in to a computational tool that optimizes geometrical relations.

The developed and implemented criteria are recommendations extracted from the studied inventory and verified through validations and evaluations with architects, obtaining significant application results. These comfort conditions are related to the use of artificial and natural elements of protection of openings, the view from the window, the dimensional proportions of the space area and the permeability of the envelope through the revision of environmental and personal factors. Furthermore, the contribution to the design process came from the implementation of a generative computational tool that advocates the sustainability of tropical housing from the conception stage of a project.

**DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA
EL CONFORT EN VIVIENDA
DEL TROPICO**

1

CAPÍTULO

Antecedentes

Introducción

Un edificio es una barrera entre las condiciones climáticas del exterior y las condiciones ambientales del interior, su envolvente

es un filtro que excluye las influencias ambientales indeseadas y

admite las deseadas. Mientras los muros otorgan una contención permanente de ciertas condiciones, la regulación ocasional de radiación solar, la humedad, vistas, el viento y la lluvia entre el exterior e interior, se da mediante la generación de perforaciones en la piel del edificio (Sosa & Siem, 2004). La arquitectura popular tradicional del trópico se caracteriza por tener una envolvente ligera, ventilada con grandes vacíos generados por la ausencia de paredes y con baja inercia térmica. Sin embargo la edificación actual en esta zonas, acomodando nuevos estilos de vida, ha replicado envolventes de otros climas con vanos más limitados, los cuales otorgan un confort insuficiente o confían su regulación a sistemas activos consumidores de energía. Esta situación hace que el diseño de aberturas sea de suma importancia, debido a que la inercia térmica débil de los materiales hace que estas edificaciones de uso diurno y nocturno sean aptas para acondicionarse de manera pasiva.

Por miles de años desde la época de las cavernas hasta hoy, las aberturas de las edificaciones, han aportado a la expresión estética del edificio, a su espacialidad interior, la contribución de las aperturas en la piel de los edificios la confirma Le Corbusier con su aseveración acerca de que la historia de la arquitectura no es más que la historia de cómo los arquitectos han abierto las ventanas en los muros (Leatherbarrow & Mostafavi, 2002).

El punto de partida de este estudio es el diseño sostenible de la vivienda (figura 1), Keeler & Burke (2009) lo definen como un proceso de diseño en el cual se tienen en cuenta, la energía que necesita el edificio para operar, la estética, el medio ambiente y la experiencia de ocupación. El confort de los habitantes es un resultado complejo de la sumatoria de parámetros y factores, los parámetros ambientales son las características que se pueden valorar (cuantitativos) y los factores de confort son percepciones de los usuarios (cualitativos), el confort de un ambiente depende de la combinación de ambos (Serra, 1999).

Las ventanas son uno de los principales medios por los cuales los ocupantes de un edificio pueden controlar el ambiente interior, pueden ser consideradas uno de los mejores sistemas de control térmico utilizados en climas

templados y cálidos (Rijal et al., 2007). El vano como elemento imprescindible en la vivienda,

puede ser aislado de otros problemas de la arquitectura y tiene un alto impacto en el desempeño del edificio, puede predecir interacciones entre los requisitos de luz y ganancias de calor, convirtiéndolo en un campo para aplicación de métodos de búsqueda y optimización de la práctica sostenible (Caldas, 2001).

Por razones mencionadas en párrafos anteriores, esta tesis tiene

como tema central el diseño del vano y la calidad ambiental interior o el confort, concebido éste como una sumatoria de aspectos cuantitativos y cualitativos, en la arquitectura tropical residencial.

En esta parte introductoria se abordarán los antecedentes que son la base para desarrollo de los capítulos sucesivos.



Figura 1.1 Mapa de la investigación.

1.1 Justificación

Actualmente la piel de los edificios es una preocupación creciente en los países industrializados donde existen normas y concientización sobre el impacto de estos en el medio ambiente

y las personas, estas normas siguen de cerca las normas europeas y norteamericanas en las cuales los niveles para el bienestar

humano están decididos a diferentes niveles relativos al del trópico (Eguía, et al., 2004). Las características climáticas del Valle del Cauca Colombiano, implican consideraciones especiales en el diseño de las aperturas de la envolvente aplicables al trópico ecuatorial (franja comprendida entre 5° latitud Norte y 5° latitud Sur del a línea del Ecuador), la respuesta a éstas condiciones son el resultado de acontecimientos naturales como la cantidad de lluvia, la abundante luz del sol, el aire cargado de humedad, la vegetación exuberante, las características de los edificios como la transparencia, ausencia de hermetismo y la penumbra, sumado todo esto a las características de los habitantes, sus herencias culturales, y su historia (Stagno, 1999).

La zona de estudio se concentra en inmediaciones del municipio de Cali (03° 27' 0" N), a 995 m.s.n.m., en el Valle del Rio Cauca al sur occidente Colombiano, posee un clima tropical ecuatorial según la clasificación climática de Köppen. Esta zona está enmarcada por dos cordilleras, vientos provenientes de las montañas, con condiciones de humedad del 73% y la pluviosidad en sus zonas aledañas va de los 900 mm/año hasta los 1.800 mm/año (139 días de lluvias). La temperatura promedio anual de 23°C se encuentra dentro de la zona de confort para el trópico, según Olgyay (1968) la zona de confort para esta latitud oscila entre los 23°C y 26°C y las fluctuaciones diarias de temperatura alcanzan los 10°C.

La zona tropical terrestre se encuentra entre el Trópico de Cáncer y Trópico de Capricornio, es una franja que alberga más de 100 países, un tercio de la población y equivale a un tercio de la masa de la tierra, en esta zona el índice de crecimiento y procesos de urbanización de las ciudades es muy alto, a medida que aumentan los ingresos de las personas por el desarrollo de los países, mayor es la demanda de bienestar, por consiguiente a mayor confort, mayor consumo energético (Grimme, et al., 2006). Colombia es uno de los países que se encuentra en esta franja donde no hay legislaciones apropiadas para la arquitectura tropical y su práctica es el resultado del sentido común y de la evolución de las experiencias de la arquitectura

tradicional del sitio.

Las edificaciones consumen el 40% de la energía total consumida en las ciudades y en América Latina el sector residencial es el

de mayor consumo, lo cual hace necesario establecer criterios y normas para el uso racional de la misma. Se mencionan a continuación varias causas del aumento del consumo energético en los países tropicales en vía de desarrollo.

[1] El desarrollo económico de los países implica mayores salarios y por ende mayor demanda de confort, que se puede traducir en aumento del consumo energético por crecimiento a gran velocidad de las urbes. Ciudades tropicales como Caracas, Bombay, Singapur, Manila y Bangkok entre otras, que antiguamente eran solo pequeñas ciudades y poblados sostenibles, hoy se han convertido en mega ciudades con una planificación no apta al trópico.

[2] La vivienda tropical como edificio independiente no resuelve el problema del ruido, del polvo, y calor creados por la ciudad, no hay otra forma de tratarlo diferente al hermetismo (figura 1.2) hacia el espacio público y por consiguiente al uso de sistemas de aire acondicionado. La arquitectura tropical es aplicable en condiciones suburbanas y difícilmente puede resolver los problemas ambientales y climáticos en los centros de las ciudades (Kheng S., 2008).



Figura 1.2. Viviendas urbanas entre medianeras en barrios tradicionales de alta densidad. Presentan predominio de hermetismo en fachadas con ventanas pequeñas, uso de rejas y calados. (Fotos: Maria Clara Betancourt).

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO

En las figuras 1.3 – 1.5, se puede observar la diferencia de densidad de zonas residenciales urbanas y sub urbanas de la ciudad de Cali, que evidencian el problema del crecimiento de las ciudades tropicales, donde predomina la vivienda entre medianeras sin aislamientos laterales, orientación de la trama urbana en direcciones diversas a las de los vientos y predominio del lleno sobre el vacío.



Figura 1.3. Densidad en zonas de estrato socio económico 1 y 2 de Cali. (Foto: Google earth)



Figura 1.4 Densidad en zonas de estrato socio económico 5 y 6 de Cali. (Foto: Google earth)



Figura 1.5 Densidad de los suburbios de Cali. (Foto: Google earth)

[3] La incorporación de modelos de arquitecturas foráneas de manera indiscriminada que responde a otros requerimientos climáticos y culturales (figura 1.6), de la mano de una planificación urbana que no consideró la ciudad tropical como un todo, solo hubo interés en el desarrollo de edificios individuales.



Figura 1.6. Edificio Torre de Cali de uso mixto (vivienda-hotel), con envolvente de vidrio y ventanas no operables. (foto: [http:// es.wikipedia.org/wiki/Torre_de_Cali](http://es.wikipedia.org/wiki/Torre_de_Cali))

[4] En el caso de Colombia, se ha prestado poca importancia a la gestión del uso eficiente de energía y sus políticas de promoción, porque el país no ha sufrido desequilibrios en la oferta y demanda del mercado energético (PROURE, Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales del Ministerio de Minas y Energía de la República de Colombia). El consumo energético del sector residencial actual de Colombia es del 21.2% (UPME – Unidad de planeación minero energética, 2010) mientras que la ciudad de Cali registra un 42% del consumo total por sectores siendo el que más demanda energía (Alcaldía de Santiago de Cali – Cali en cifras, 2011).

Estas razones pueden ser la causa del aumento del consumo energético en los países tropicales, que se resumen en la ausencia de normas, regulaciones y estándares de habitabilidad relacionados con la calidad ambiental interior en el espacio construido. La no existencia de políticas de incentivos hacia las prácticas sostenibles en la arquitectura y la falta de legislación en la franja ecuatorial agudiza el problema del consumo energético, ya que lograr temperaturas y humedades relativas constantes tiene un alto costo (Stagno, 2004).

1 La influencia del tamaño y la orientación de una ventana en las demandas de refrigeración y consumo energético en viviendas pasivas, han sido ya demostradas y cuantificadas en investigaciones para otras latitudes. A medida que se aumenta el tamaño de la ventana, las necesidades de refrigeración en temporadas cálidas se incrementan, para lograr un balance entre consumo energético, iluminación y confort térmico, es necesario utilizar protecciones contra el sol e incrementar la ventilación (Persson, et al., 2006).

1.2 Estado del arte

El diseño de vanos ha tenido complejas variaciones a lo largo de la historia, las diferencias en los climas, materiales, cultura, tendencias y las tradiciones, han desempeñado un papel importante en satisfacer consideraciones prácticas con respecto al ambiente exterior, incluyendo la manipulación de sus características para darle carácter y estética a los edificios. En la actualidad el diseño de vanos incluye estimaciones sostenibles teniendo en cuenta las normativas de cada país, partiendo del hecho de que todo espacio debe tener vanos que permitan iluminación natural, ventilación y conexión con el exterior.

El recurso de la ventilación natural ha sido una práctica conocida en la arquitectura vernácula en trópico cálido húmedo, se sabe a medida que el movimiento de aire aumenta, el límite superior de confort se eleva por el enfriamiento evaporativo de la humedad en la piel. Estudios en el trópico indican que existe una gran preferencia por poseer ventilación natural y ventanas operables, lo que significa que el movimiento del aire al interior de las viviendas es altamente favorable para el usuario, ya que en este clima el efecto de altas velocidades del viento para refrigerar el cuerpo es inmediato (Feriadi & Wong, 2004). En el trópico, con temperaturas del aire de 24°C a 32°C y humedad relativa entre el 50% y el 90%, se ha comprobado que las personas están confortables sin o con un mínimo de velocidad del viento, el confort en estas condiciones se puede lograr con velocidades mayores a 0,3 m/s (Mallick, 1996), otros estudios indican que la velocidad debe ser mayor a 0,4 m/s y las aperturas deben ser el 40% del total del área del espacio, si la apertura disminuye a un 25% la velocidad desciende a 0,3 m/s (Chen, et al., 2001).

La ventilación natural al interior de las edificaciones no depende solamente de las características de los vientos del

lugar, sino, de los elementos arquitectónicos que se usan para tal efecto (Prianto &

Depecker, 2003), por otro lado, Lei (2009) indica que la ventilación natural, el tamaño del edificio, la orientación, la cantidad de aire que entra y la sombra proyectada, tienen un efecto importante en la reducción de energía necesaria para enfriar las viviendas y generar bienestar. Hoy en día la ventilación cruzada ha ganado una atención considerable en la práctica del diseño sostenible, para utilizar su potencial se consideran la apertura de ventanas, el intercambio de aire y localización de las ventanas con respecto a la vegetación exterior (Akashi, et al., 2005).

La importancia de la penumbra en el trópico es un tema que domina la arquitectura vernácula, el vano en algunos casos se cierra con rejas y celosías para hacer un contraste entre la claridad exterior y la penumbra interior, y favorecer la frescura, este filtro de la luz por medio del tratamiento de los vanos, le imprime un carácter particular a cada espacio. En la arquitectura doméstica contemporánea la vivienda se desarrolla internamente y trae el paisaje al interior por medio de las ventanas como focos puntuales y decorativos (Villegas, 1992).

La luz diurna en los trópicos varía muy poco a través del año y cubre las demandas en oficinas y viviendas, sin embargo investigaciones recientes indican que los habitantes del trópico están habituados a niveles mayores de iluminancia y luminosidad, lo que implica que los parámetros de bienestar visual para estas latitudes deben ser tenidos en cuenta (Laar, 2001). Un balance correcto entre la luz diurna y los elementos exteriores que generen sombra al interior contribuyen a la condición ideal. Según Stagno (1999) y Olgyay (1968), la sombra es necesaria para el bienestar en el trópico, los arquitectos deben considerarla como un elemento de diseño muy importante.

El hombre tiene la necesidad de hacer conexiones con el exterior a través de las dilataciones y aperturas aplicadas a las envolventes, la vista que se tiene a través de la ventana fue analizada por Markus (1967) en medida de contenedor de cantidad de cielo, tierra o ciudad, la vista hacia el cielo hacia el horizonte y la vista inferior tienen significados profundos en las personas. Según el autor, la satisfacción visual que da una ventana parece estar en función del tamaño de ésta, la forma del espacio, proximidad con la vista del exterior e información contenida en ella. El potencial de naturaleza contenido en las visuales de la vivienda, contribuye significativamente a la satisfacción y bienestar de las personas, Kaplan (2001) estudió la relación entre el contenido de la visual contrastado con el bienestar psicológico y satisfacción de las personas, llegando a la conclusión que la vista de elementos construidos como calles, muros,

edificios y parqueaderos, no

afectan la sensación de bienestar de las personas pero si la satisfacción, la vista de naturaleza es el factor más fuerte en efectos de restauración y satisfacción.

1 El confort percibido por el usuario, en algunos casos, está relacionado con aspectos meramente estéticos que afectan la percepción de confort, aunque las mediciones indiquen lo contrario, la percepción de las personas puede estar influida por características muy particulares como la decoración, la altura de entresijos, el ancho de los muros, valor histórico y la cultura de los habitantes (Elzeyadi, 2009). La calidad del ambiente no depende solamente del confort térmico y de la cantidad de luz, también está relacionado con los sentimientos de los ocupantes, su comportamiento y los significados que ellos le dan al ambiente, esta dimensión subjetiva y simbólica en relación con la calidad ambiental interior debe ser considerada en la arquitectura sostenible.

Las investigaciones científicas que se han realizado sobre el confort se han referido al lugar de trabajo, dado que se ha averiguado que un entorno confortable afecta a la moral y, en consecuencia, la productividad de las personas (Farley & Veitch, 2001), (Rybczynsky, 1989). En el contexto de las oficinas ciertos factores individuales y de arquitectura como distancia de una ventana, tipo de vista, calidad de vista y densidad de población, podrán llevar a la molestia física y psicológica en un espacio directamente e indirectamente, a través de percepción de las condiciones ambientales (Aries, et al., 2010).

Las ventanas han sido utilizadas históricamente para proveer iluminación y ventilación, sin embargo, pueden llegar a ser la mayor fuente de des confort, por eso es necesario que los países tropicales desarrollen normas técnicas con el fin de respetar las condiciones ambientales y climáticas y reducir los efectos de los edificios en el medio, desde el proceso de diseño. Países tropicales como Perú y Brasil (NBR15575), cuentan con recomendaciones o regulaciones básicas con respecto a eficiencia energética y confort, como; proveer vanos en todos los espacios para ofrecer ventilación, iluminación y vista, también se definen porcentajes de aperturas con respecto a las áreas interiores o al perímetro de fachada, Brasil y Perú cuentan además con una distribución bioclimática por zonas con sus respectivas recomendaciones. La importancia del confort no ha sido suficientemente integrada en las normas técnicas de construcción, ni de certificación en el trópico, actualmente el Instituto de Arquitectura Tropical (IAT) de Costa Rica, está trabajando una adaptación del LEED en su versión tropical,

con el propósito de enfocarse en las características

ambientales y culturales del trópico, ayudar a cumplir las exigencias ambientales actuales del planeta y conducir a los responsables a enfocarse en temas sostenibles.

1.3 Objetivo

General

El objetivo principal de esta tesis es desarrollar una estrategia para

el proceso de diseño de vanos con el fin de promover el confort en las residencias tropicales. A partir del estudio de la efectividad de las prácticas empleadas por los arquitectos, en relación a la calidad ambiental interior en las viviendas, combinando aspectos cualitativos y cuantitativos observados en los casos de estudio de una selección de vanos de proyectos significativos en la región del Valle del Cauca, Colombia, identificando características apropiadas de diseño, para divulgar su aplicación en proyectos residenciales.

1.3.1 Objetivos específicos

[1] Caracterizar tipos de vanos aplicados en viviendas destacadas de la zona y las condiciones climáticas relevantes de la región.

[2] Definir y prospectar condiciones de diseño de vanos que permiten un adecuado confort y el hábitat sustentable de la vivienda tropical.

[3] Implementar las directrices identificadas en una herramienta generativa que permita optimizar relaciones geométricas de vanos para un confort adecuado, durante la etapa de concepción de un proyecto de vivienda.

1.4 Metodología

La arquitectura de la zona es muy variada en la manera como la cultura local responde este clima para proveer confort, lo que hace complejo y necesario el estudio de las características de los vanos que logran mantener condiciones de confort deseables al interior de la vivienda. Se hizo una investigación experimental y práctica con el fin de evaluar el desempeño de los vanos y definir condiciones para su diseño que se implementarán en una herramienta digital para su comprobación posterior.

1.4.1 Revisión de condiciones generales

Se recopiló información gráfica de los casos para revisión de la información con el objetivo de asegurar su factibilidad de estudio. Se adquirieron los datos climáticos de las

zonas de estudio para conocer el historial de las posibles variaciones mensuales en temperatura, humedad relativa y comportamiento de los vientos. Se revisaron los estándares internacionales de confort

para conocerlos y contrastarlos con las mediciones realizadas. Se seleccionaron unas viviendas destacadas por su calidad ambiental y características formales, que constituyeron el insumo para la construcción de un inventario de vanos.

1.4.2 Evaluación y registro de

datos

En esta etapa se determinaron los valores de los parámetros relacionados con el confort y los vanos. Se midieron las condiciones actuales de confort en las viviendas, teniendo en cuenta parámetros ambientales de tipo espacial, visual, climático (interior y exterior) y los factores personales. Se utilizó el modelo adaptativo para determinar los rangos de confort térmico del usuario y su capacidad de adaptación correlacionado temperaturas interiores y exteriores. Se determinó la relación entre las condiciones ambientales y la percepción de los usuarios con cuestionarios de post-ocupación aplicados a los moradores de cada uno de los casos de estudio.

1.4.3 Análisis de los casos

Se analizó la correlación entre los resultados de las mediciones y cuestionarios de post ocupación y los aspectos geométricos para determinar relaciones significativas entre los parámetros. Una vez obtenidos los resultados estadísticos, se asignó una escala de calificación para los vanos y se seleccionaron los de mejor desempeño con el propósito de utilizar esa información en la definición de las condiciones de diseño de vanos.

1.4.4 Definición de los criterios de diseño

Éstos resultaron de combinar; [1] las condiciones de confort favorables que resultaron de comparar el ambiente interior y exterior de los casos seleccionados, [2] aspectos formales y dimensionales de los vanos y [3] los resultados de las encuestas de post ocupación, mediante regresiones estadísticas.

1.4.5 Implementación y comprobación

La metodología para la implementación de las condiciones de diseño en herramienta generativa, inicia en la definición del problema de diseño y la definición de los límites inferiores y superiores de los parámetros. Se utilizó Grasshopper®, un

editor gráfico de algoritmos integrado en Rhinoceros® que permite construir formas generativas y Galapagos® que optimiza los resultados, utilizando la evolución de los mejores individuos hasta que cumplan con los criterios de diseño deseados. Se

compararon los resultados de confort de los vanos optimizados con los originales, para demostrar la validez de la herramienta y las condiciones de diseño definidas utilizando la herramienta Ecotect®. La utilización de la herramienta de diseño generativo, se validó con arquitectos en una sesión de grupo y se aplicó un cuestionario de usabilidad, con el fin de validar la metodología propuesta.

1

1.5 Delimitación del estudio

El desarrollo de esta investigación, se aplica en una zona particular, la región del Valle del Cauca Colombiano, ubicada en la zona tropical ecuatorial con un clima cálido, húmedo y la aplicación de los resultados solo se puede extender a zonas con climas similares y altitudes entre 0 y 1000 m.s.n.m., para incluir otras zonas y climas sería necesario utilizar la misma metodología para el estudio de otros casos en pisos térmicos diversos.

La combinación de la cantidad de variables en el confort térmico y los factores de los usuarios son diversas y numerosas, sería difícil abarcarlas y combinarlas todas, por eso se estudiarán los parámetros ambientales que más influyen en el confort en el trópico y factores personales relacionados con aspectos psicológicos de percepción del confort. No serán considerados en esta investigación algunos aspectos relacionados con el confort como parámetros auditivos, nivel de vestimenta e índice metabólico, se asumirá que los usuarios tienen una actividad ligera mientras están sentados o parados y con vestuario adecuado para el trópico con condiciones ambientales normales.

Esta investigación está basada en la arquitectura residencial contemporánea, principalmente en zonas de baja densidad y estratos socioeconómicos altos, que pueden sugerir tendencias de desarrollo y aplicaciones en viviendas de otros sectores de la zona de estudio.

2 CAPÍTUL O

Conceptos Generales

Introducción

Con el objeto de establecer las bases teóricas de esta investigación, en el presente capítulo se tratan aspectos relacionados con el confort y la función de los vanos en el clima cálido húmedo tropical. También se mencionan estándares y normas que conllevan a lograr una comprensión de la metodología experimental utilizada en los sucesivos capítulos.

2

2.1 Contexto Arquitectónico

Un recuento de la historia del vano en diferentes momentos de la arquitectura, nos puede revelar que a través de las épocas ha presentado una serie de variaciones en sus diseños, resultado de las diferencias climáticas, los materiales, las costumbres, la moda, las tradiciones y los sistemas constructivos de cada región.

2.1.1 El vano en la historia de la arquitectura

Han sido diversas las funciones del vano y de la ventana a través del desarrollo de la arquitectura; se han utilizado para proteger a la edificación del deterioro causado por las inclemencias de los agentes climáticos como la lluvia y el frío, proveen de luz y comunican el interior con el exterior a partir de la visibilidad. El concepto elemental del vano como perforación en los muros practicado por las culturas antiguas es punto de partida para comprender su evolución; en Egipto el vano ocupó un papel secundario por razones culturales, ceremoniales y religiosas, ya que era de vital importancia excluir la luz del interior de los templos, las necesidades de luz en determinados espacios fue resuelto con el diseño de extensas áreas abiertas en las cubiertas. En la Grecia clásica el tratamiento de los vanos fue similar al de Egipto, en los templos hubo manejo de claro oscuro gracias a la forma alterna como entraba la luz entre las columnas exteriores, los espacios donde se hacía necesario luz natural lo recibieron gracias a los tratamientos hechos en las cubiertas con losas de mármol muy delgado. En Roma los palacios eran de carácter público en los cuales participaba la sociedad, gracias a eso, en el uso del edificio surgió la necesidad de tener aperturas de grandes proporciones al exterior, que permitieron la entrada de luz al interior de los recintos, mientras que en Egipto el interior estaba reservado sólo a los sacerdotes.

En la antigua arquitectura doméstica, existen vestigios de vanos rudimentarios, ejemplo de ello son las viviendas egipcias donde el vano tenía el propósito de permitir la entrada de la luz, aunque el tratamiento de la iluminación dependía de la posición social ya que en las grandes viviendas la iluminación continuaba siendo por lucernarios como en los templos. Vanos de proporciones similares a las practicadas en las viviendas de hoy, fueron encontrados en la arquitectura minoica de Creta, con formas cuadradas y rectangulares practicadas en las fachadas tanto de viviendas como de palacios, mientras en la Grecia helénica las viviendas se cerraron al exterior y se iluminaron y ventilaron desde el compluvium, alrededor del que se agrupaban las

habitaciones,

tal como hoy se practica; fueron los romanos y los griegos quienes utilizaron por primera vez la ventilación e iluminación doméstica a través del patio.

Las ventanas ocuparon un papel secundario en la antigua arquitectura de Grecia, Asia occidental y Egipto, y solo en el imperio romano en Europa, aparecen las ventanas en edificios públicos. Fueron los avances estructurales como el desarrollo del arco, la bóveda, y el descubrimiento del hormigón, los que permitieron la aparición de las mismas; la inicial ausencia del vidrio, obedecía a la fragilidad de este material. Las primeras intenciones de utilizar la ventana datan del siglo XVII en Inglaterra, nacen por dos necesidades: vincular las vistas al interior del edificio y solucionar las insuficiencias de ventilación. La utilización del acristalado con el objetivo de ver el paisaje exterior, y la ventana de guillotina con la intención de satisfacer la demanda de ventilación interior en los periodos estivos, adquirieron un gran valor y significado en el diseño arquitectónico a partir de esta época (Beckett, et al., 1978). Los avances estructurales, el desarrollo e implementación de nuevos materiales, han permitido variaciones en el diseño de vanos y ventanas de gran diversidad a través de la historia, los cuales han contribuido a caracterizar la arquitectura de cada época hasta el presente.

2.1.2 El vano en la zona de estudio

La conquista y ocupación española, basada en la explotación de recursos en las nuevas tierras descubiertas, tuvo la necesidad de fundar asentamientos para albergar su sociedad en el nuevo reino. Entre estas nuevas ciudades, hacia 1536, fue fundada Cali como una de las más importantes de la gobernación de Popayán, a partir de dicha fecha y hasta 1810 se desarrolló el periodo arquitectónico Colonial, el cual se caracterizó por una arquitectura que conllevada por la seguridad se desconecta del exterior debido a la amenaza que representa la sociedad local para el español. Este relevante factor hizo que la vivienda –construida bajo técnicas europeas – tuviera hacia el exterior pequeñas ventanas de proporción vertical, protegidas con barrotes y postigos en madera que permitieron la apertura diferencial de las naves. Fue así como sin un estudio compositivo de la misma, predominó el lleno en las fachadas; los vanos resolvieron necesidades básicas de aire y luz en el interior, se desarrolló el zaguán, este conecta lo público con lo privado, desemboca en el patio interior y crea la apertura para que los espacios se abran, se iluminen y ventilen tal como mencionamos se hizo en la cultura romana y griega.

Es en este período histórico cuando aparece la casa de hacienda que simbolizó el prestigio social y el dominio de la tierra, los factores económicos hacen que sean viviendas rústicas, construidas con mano de obra esclava y materiales de la región como la tierra, la madera rolliza y la piedra de canto rodado. Al finalizar el período colonial la arquitectura se torna más compleja debido a la llegada de nuevos estilos formales de la arquitectura, sufre cambios tanto en el interior como en el exterior, porque se vincula con su

2
entorno, abriendo las fachadas por medio de ventanas.

Las connotaciones de atraso que tuvo la arquitectura colonial, permitieron la recepción de nuevos estilos más cercanos a las tendencias mundiales. A partir de 1820 y hasta 1830 aparece la arquitectura Republicana, caracterizada por adoptar estilos europeos, norteamericanos e incorporar arquitectos e ingenieros en los proyectos. Su máxima expresión fue llevada a edificios de carácter institucional por su escala, se produjo un énfasis en la verticalidad, que llevó a la aparición de vanos de gran altura. A nivel residencial aparecen las villas burguesas tanto urbanas como suburbanas manteniendo el concepto de patio interior pero no como elemento que estructura su distribución en planta, son ornamentales y de servicio, las casas suburbanas se especializan en las funciones de sus espacios sociales, privados y de servicio. La apariencia estética de la vivienda incorpora elementos decorativos extranjeros observables en puertas y ventanas, los vanos están alineados, con ritmos regulares y medidas uniformes, aparecen puertas, ventanas en balcones con postigos en madera y celosías superiores, las fachadas presentan homogeneidad y unidad.

El periodo de transición a la modernidad entre 1930 y 1945, se caracteriza por el reconocimiento del valor de la austeridad colonial y la modernización como tendencia mundial, la ornamentación exagerada se reemplazó por el rigor geométrico en la composición arquitectónica. Aparecen los barrios residenciales con antejardines y se refuerza la conexión interior – exterior. Como elementos nuevos se introducen las forjas ornamentales en cerramientos de antejardín y en ventanas, calados en concreto que conforman grandes áreas de vanos y permiten relacionar la naturaleza exterior con el interior, se hace énfasis en el manejo de luces y sombras en fachadas.

El periodo moderno entre 1945 y 1959, se caracterizó por la búsqueda de una arquitectura moderna, con respuestas a las características propias de la cultura, del medio ambiente y del paisaje del trópico (Jiménez, 2009). Aunque el carácter de la

arquitectura era el estilo internacional, la tendencia de la época fue buscar nuevas formas con soluciones climáticas y ambientales

adecuadas con el uso de la ventilación natural, la buena orientación de la vivienda, el manejo de protecciones solares tales como parasoles, calados y pérgolas, se recupera el patio interior como elemento organizador, los corredores y el manejo del agua y vegetación para crear microclimas interiores, el ornamento en vanos desaparece y se transforma en grandes aperturas que generan transparencias espaciales gracias a la horizontalidad volumétrica y las cubiertas planas.

En la actualidad los procesos de globalización y el desarrollo de las comunicaciones, permiten el intercambio de ideas que de alguna manera han introducido con rapidez tipologías ajenas a las condiciones locales, en la mayoría de los casos adoptadas de latitudes diversas, lo cual ha ocasionado un choque cultural y una pérdida de las tradiciones locales que afectan el confort físico y psicológico de las personas. Características propias de los vanos en la arquitectura actual, se ampliarán con los casos de estudio en el capítulo siguiente.

2.2

Confort

Existen muchas definiciones de confort, según Olgyay (1998, p17), *“El confort para el hombre es el punto en el que para adaptarse a su entorno le requiera un mínimo de energía, y las condiciones bajo las cuales consigue ese objetivo se define como Zona de Confort...”*. Así pues, el hábitat artificial creado por el hombre modifica las condiciones del entorno y ofrece bienestar, contrarrestando los elementos medioambientales.

El confort percibido por las personas es un resultado complejo de la sumatoria de parámetros y factores muy variados. Según Serra (1999), los parámetros ambientales son valores numéricos que se pueden valorar con unidades físicas conocidas, relacionados con cada sentido y que a su vez los afectan, son de tipo espacial, visual, acústico y climático, las cuales pueden ser evaluadas, calculadas y cuantificadas. Los factores de confort son elementos que contribuyen a lograr un efecto determinado, son específicos de los usuarios, son condiciones personales de tipo fisiológico, biológico, sociológico y psicológico. El confort de un ambiente depende de la combinación de parámetros y factores de los usuarios, y tiene una componente geográfica relacionada con los individuos. En este trabajo se adoptará la definición de confort de Serra, como sumatoria de parámetros y factores.

En esta investigación no son objeto de estudio la calidad del

aire, aspectos acústicos, materiales de las viviendas y propiedades físicas de los mismos, aspectos fisiológicos, psicológicos y

culturales, solo y por medio de encuestas se tendrá en cuenta la percepción de las personas.

2.2.1 Confort en el clima tropical

Las condiciones térmicas favorables son aquellas donde la temperatura se encuentra en el frío que se pueda tolerar sin estar incómodo y el punto que le permita adaptarse al calor

sin

demasiado esfuerzo (Olgay, 1998). No existe un criterio único

para precisar las temperaturas de confort, ya que esta varía con las personas, la vestimenta, actividades que realiza, se sabe que también varía de acuerdo con el género, la edad, la cultura, localidad geográfica, ambiente climático e incluso aspectos sociales. Variables como la velocidad del viento y la humedad relativa en el trópico, pueden cambiar la percepción de confort, aunque se ha demostrado que en el trópico humedades del 95% no afectan las personas (Mallick, 1996).

El clima tropical ideal está dado por las condiciones de temperatura del aire en exterior y en la sombra, que idealmente deberían ser iguales a las del interior del edificio o mejoradas con respecto al exterior; la ventilación, temperatura y humedad actúan directamente sobre la piel de las personas y son las que hacen sentir frío o calor. La adaptación del hombre a las temperaturas cálidas húmedas está dada por la transpiración como mecanismo de enfriamiento del cuerpo por medio de la evaporación del agua, imposible si la humedad del ambiente es alta, debido a la saturación de vapor de agua en el aire.

Las técnicas utilizadas por los arquitectos para mitigar las ganancias difieren a lo largo del trópico y están relacionadas con la vegetación, la orientación, los materiales utilizados, el diseño de los vanos, y la distribución en planta. Estas estrategias son aplicadas para lograr el confort al interior de los espacios de manera pasiva, tratando de evitar el uso de sistemas mecánicos de ventilación. Se observan también estrategias aplicadas por los moradores para reducir las ganancias de calor, entrada de aire y la incidencia de la luz solar al interior, logradas con cortinas, persianas, celosías y toldos, los cuales permiten protegerse y adaptarse a los cambios de clima durante el día. Ya que el sol es constante todo el año y lo que hay que tener en cuenta es el ángulo de incidencia sobre la superficie, uno de los métodos más efectivos contra las ganancias de calor en el trópico es el buen diseño de aperturas. En el clima tropical cálido húmedo es ideal distribuir la mayor cantidad de aperturas en sentido norte-sur, aunque diversas orientaciones y protecciones efectivas podemos encontrar en sentido Este-Oeste, cuando la orientación está afectada por características particulares del

terreno como las visuales.

La percepción de confort por las personas en el trópico está dada por la habilidad y adaptación desarrolladas a lo largo de la vida a altas temperaturas y humedades altas, la tendencia en estos climas es permanecer en zonas sombreadas el mayor tiempo posible y aprovechar las brisas refrescantes. Para adaptarse a estas condiciones las personas deben de hacer cambios en sus patrones de vida que van desde la vestimenta, horarios de actividades y el diseño de sus viviendas. Esta adaptación es más fácil de manejar

en zonas rurales, mientras que en las ciudades los cambios en los patrones de vida son más complejos, por consiguiente lograr

el confort urbano implica utilización de sistemas mecánicos de ventilación y por ende mayor consumo energético (op. cit.)

2.2.2 *Confort térmico*

ASHRAE 55-2004 define el confort térmico como “la condición de la mente que expresa satisfacción con el medio que nos rodea”, esto quiere decir que un individuo que se encuentra confortable vive en un estado neutro pues no siente ni calor ni frío. Según Frontczak & Wargocki (2011), luego de analizar estudios hechos por diversos autores, encontraron que la condición más importante para determinar el confort, es el térmico por encima del visual, el acústico, y la calidad del aire interior, además de otras condiciones del ambiente interior. Estos estudios indicaron que el confort térmico varía con los climas y el tipo de edificio; los ocupantes de edificios ventilados naturalmente tienen diferentes actitudes frente a los ocupantes de edificios con aire acondicionado, ya que los primeros toleran mayores temperaturas interiores en verano, y más bajos en invierno, y además, al tratar de adaptarse a las temperaturas exteriores, soportan un rango mayor. Desde hace muchos años se desarrollaron diversos estudios sobre el confort térmico y los modelos adaptativos (Nicol & Humphreys, 2002), (Nicol 2004), (Brager & de Dear, 1998), direccionados hacia el desarrollo de estándares de confort locales para diversos tipos de edificaciones, climas, culturas, expectativas y experiencias de los usuarios. Algunos de estos estudios se han derivado en ecuaciones para con el fin de estimar temperaturas de confort en diversas localidades y climas alrededor del mundo.

2.2.3 *Confort lumínico*

La forma de los edificios, su distribución en planta y el diseño de vanos son las características más importantes con respecto a la distribución y calidad de la luz natural en los

espacios interiores, es necesario determinar las formas apropiadas y áreas de apertura, basados no solamente en aspectos estéticos del edificio sino, de eficiencia energética, ganancias de calor, ventilación, relación

con el exterior y confort. El tamaño de los vanos juega un papel importante en la experiencia lumínica de cada espacio, el diseño del vano está ligado a oportunidades formales y estéticas donde el diseñador debe considerar no solo el paso de la luz natural, también lograr efectos luminosos, contrastes entre luces y sombras, efectos que quiere lograr con la luz, cuanta luz, dónde, a qué horas y qué cantidad.

Los objetivos de trabajar con la luz natural en los edificios pueden ser percibidos desde diferentes puntos; [1] desde el impacto ambiental y el consumo energético, [2] las actividades que se realizan en los espacios con sus requerimientos cualitativos y cuantitativos, [3] la experiencia de los usuarios referente a confort visual, bienestar psicológico y conexión con el exterior, [4] consideraciones estéticas como formas y materiales. Para esta investigación serán motivo de análisis los relacionados con requerimientos cualitativos – cuantitativos de la luz natural en el interior de las viviendas y la experiencia de los usuarios.

Tabla 2. 1 Niveles de iluminancia exigibles para diferentes recintos.

TIPO DE RECINTO	NIVELES DE ILUMINANCIA EN		
	LUX MÍNIMO	MEDIO	MÁXIMO
Areas de circuación y corredores	50	100	150
Escaleras	100	150	200
Baños	100	150	200
Dormitorios	100	150	200
Cuartos de estar	200	300	500
Cocina	100	150	200
Estudio	300	500	750

Las iluminancias de los espacios deben estar ajustadas a los niveles requeridos para realizar actividades dentro de la vivienda, en la tabla 2.1 se encuentran los niveles de iluminancia exigibles para diferentes áreas y actividades según la norma UNE EN 12464-1 de 2003 adoptada por el Ministerio de Minas y Energía de Colombia en el reglamento técnico de iluminación (Resolución No. 180540 de Marzo 30 de 2010).

La utilización de luz natural en el trópico tiene un gran potencial y poca variabilidad gracias a la abundante disponibilidad de luz que hay en la zona por su cercanía al ecuador, los vanos en el trópico requieren de protecciones exteriores para evitar ganancias de calor ocasionadas por la abundante radiación y optimización de sus dimensiones para lograr maximizar el efecto de la luz. Los vanos tropicales presentan dificultades para lograr un cubrimiento

uniforme de la luz natural al interior y los resultados de iluminancia caen notoriamente a medida que nos alejamos de la ventana hacia el interior del espacio. Utilizar la mayor cantidad de luz natural es uno de los objetivos de la sostenibilidad en términos de impacto ambiental y salud visual de los usuarios.

2.2.4 *Confort Sicológico*

Los parámetros ambientales no solamente se refieren a características que se pueden medir en términos de energía, tienen un papel estético debido a las sensaciones que producen en las personas y al grado de satisfacción que puedan ofrecer, los parámetros de luz, sonido, el aire, junto con los conceptos básicos de composición son utilizados por el arquitecto para crear espacios artificiales con mensajes cargados de estética que buscan siempre el bienestar de los moradores. Por lo tanto el diseño ambiental no debe entenderse como un área técnica, debe entenderse como protagonista del proyecto arquitectónico (Serra, 1999).

2.2.5 *Normas y Modelos de confort*

Existen importantes estándares internacionales de confort (ISO

7730, ASHRAE estándar 55-2004 y Norma Europea EN 15251) basados en el análisis de intercambio de calor entre las personas y el medio ambiente que lo rodea. Generalmente sus resultados vienen de experimentos realizados en laboratorios de clima, controlados y basados en sensaciones térmicas con condiciones diversas a las del trópico. Algunos autores (Nicol & Humphreys, 2002) (Nicol, 2004), (Brager & De Dear, 1998), han realizado estudios donde se sugiere que estos estándares no describen las condiciones de confort reales y deben de ser complementados con estándares de confort adaptativos obtenidos de resultados de encuestas practicadas a las personas de cada localidad.

Las variables de confort de estos estándares internacionales son exclusivamente de tipo térmico como [1] Índice Metabólico, [2] Vestimenta, [3] Temperatura del aire, [4] Temperatura radiante, [5] Presión de vapor del agua, [6] Velocidad relativa del viento. Ninguna variable está relacionada con aspectos fisio-sicológicos y culturales. Los cambios y adaptaciones que puedan lograr las personas en el entorno habitable, en viviendas ventiladas naturalmente

para lograr el confort, no han sido considerados, en el trópico cuando la gente se siente incómoda cambian sus vestidos, abren ventanas, cierran cortinas o persianas, cambian de actividad.

A continuación se describe el modelo de confort adaptativo, que es referencia para la comprensión del modelo que esta investigación utilizará.

2.2.6 Modelo de confort adaptativo

Los modelos adaptativos consideran las variaciones del clima exterior para definir las condiciones aceptables en el interior, el

2 cuerpo humano se adapta al clima local y las personas consideran un rango más amplio de temperaturas de confort que en los otros modelos permitiendo la integración de tecnologías pasivas de refrigeración.

Lograr definir una temperatura interior ideal en el trópico es muy complejo, la temperatura donde las personas se sienten confortables está ligada a la temperatura que están sintiendo en el momento, la gente se adapta para sentirse confortable acorde a la temperatura que está percibiendo. En edificios ventilados naturalmente la temperatura interior tiende a reflejar lo que sucede en el exterior y lo que siente la persona responde a una adaptación de la temperatura exterior. Nicol (2004), hizo un análisis de información recolectada alrededor del mundo en encuestas y definió una relación entre la temperatura de confort y la temperatura media exterior. Esta relación permite predecir la temperatura en la que las personas se pueden encontrar confortables en un edificio de ventilación natural, calculando mes a mes las temperaturas de confort. En la figura 2.1, encontramos la aplicación del algoritmo de Nicol a las temperaturas medias mensuales del año 2009 para la ciudad de Cali, en donde observamos que la media de confort se encuentra en los 25.4°C, estando por encima de la temperatura media mensual anual.

Todos los modelos de confort poseen un gran valor ya que cada uno en su momento contribuyó a la comprensión del confort térmico. Esta investigación se desarrollará bajo el concepto de los modelos adaptativos, ya que consideran variables de tipo personal y no solamente variables relacionadas con el ambiente y el confort térmico.

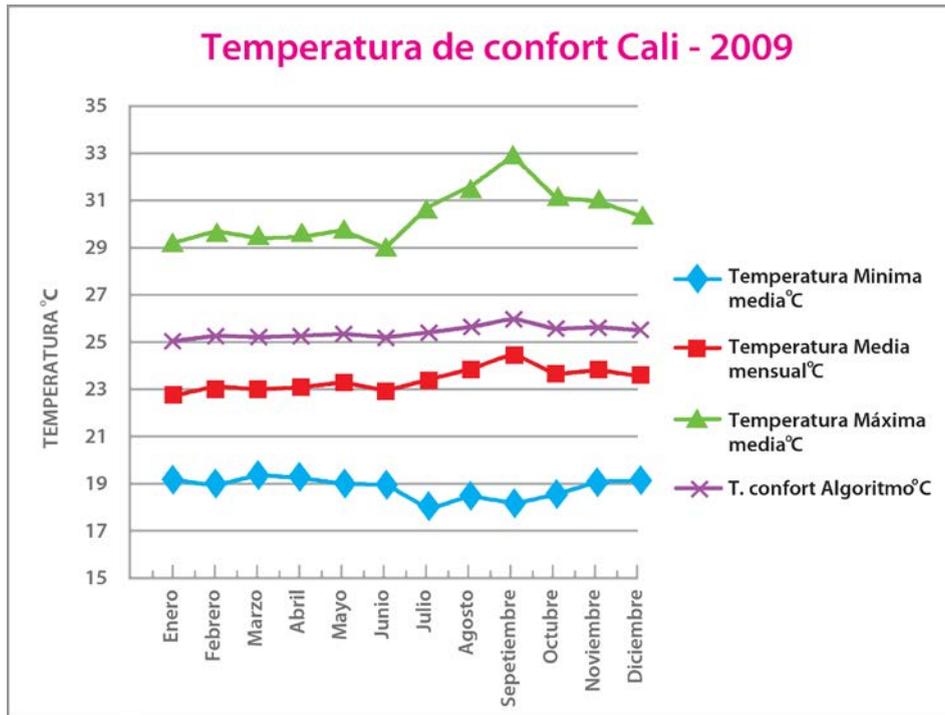


Figura 2. 1 Temperaturas medias del año 2009 para Cali según algoritmo de Nicol, la temperatura de confort promedio se encuentra en los 25.4°C.

2.2.7.1 Determinación del estándar de temperatura de confort

Durante muchos años se han desarrollado estudios sobre el confort térmico y la respuesta del cuerpo humano frente al clima, actualmente no hay normas precisas que permitan una aplicación global de estándares, debido a la variedad de climas y culturas. Se ha demostrado que la gente tiene la capacidad de adaptarse a su entorno y en muchos casos por encima de las condiciones térmicas establecidas por los estándares internacionales (Bravo, et al., 2009). A continuación se explica cómo se definieron los estándares de confort térmico para efectos de esta investigación, basado en investigaciones recientes sobre el confort adaptativo en estudios realizados por Brager & de Dear (1998), Nicol & Humphreys, (2002).

Los estándares de confort térmico son herramientas necesarias para que los diseñadores provean al interior de un edificio el ambiente que sea confortable a nivel térmico, esta definición es muy importante no solo para que los espacios posean las

condiciones adecuadas para los usuarios, sino porque esta decisión define el consumo energético y sus efectos en la sostenibilidad ambiental (Humphreys, 1996) (Humphreys & Nicol, 2002).

Los estándares universales no pueden ser replicados para todas las zonas climáticas del mundo, ni tampoco aplicables a todas las personas y a todos los edificios, la mayoría de los estándares actuales no consideran el diseño de edificios ventilados

2 naturalmente, lo cual hace necesaria la modificación de éstos hacia modelos adaptativos en los que consideraciones tales como el comportamiento activo de las personas frente a las condiciones interiores y sus expectativas frente al ambiente en regiones tropicales, exigen una arquitectura responsable con las condiciones climáticas que no solamente consume menos energía, sino que da a los ocupantes sensación de confort, placer y conexión con el clima y la cultura (Brager & De Dear, 1998).

Nicol (2004), determinó un algoritmo que permite predecir la temperatura de confort en términos de la temperatura exterior, el autor evidencia que la temperatura de confort en edificios ventilados naturalmente depende de la temperatura exterior. Esta ecuación para la temperatura de confort la define como:

$$T_c = 0.534T_e - 12.9$$

Donde T_c es la temperatura de confort y T_e el promedio mensual de la temperatura exterior. En esta investigación se ha adoptado este algoritmo para definir el estándar de confort en la zona de estudio. El procedimiento fue el siguiente:

1. Se tomó el registro exterior diario de cada caso del inventario y a cada una de las 24 lecturas obtenidas se le aplicó el algoritmo, obteniendo un nuevo listado de temperaturas de confort, del cual se tomó el resultado de temperatura más alto y más bajo para cada caso de estudio, obteniendo así un rango diferente para los 16 casos (tabla 2.2). Las lecturas de aspectos climáticos de

cada caso del inventario se encuentran en el anexo 2.

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Tabla 2.2 Lecturas de temperatura más alta y más baja en cada caso de estudio, una vez aplicada la ecuación a la temperatura exterior de cada uno.

	Vivienda Vernácula	27,30	22,9	
		28,10	24	
	Vivienda Urbana	27,70	23,9	
		27,30	23,1	
		29,00	22,9	
		29,30	23,1	
		27,10	22,4	
Rebeca Alcoba			27,70	22,9
Cuchos Sala			27,56	23
	Vivienda Sub Urbana	27,10	22,9	
		27,70	22,8	
		28,20	22,4	
		25,60	22,8	
		27,80	22,5	
	Proyecto Comercial	27,90	21,8	
		28,40	21,8	
		27,74	22,8	

2. Una vez obtenidos todos los mínimos y máximos de temperatura, se promediaron para obtener un rango en el que se pudiera determinar que hay confort. El rango estuvo entre 27.7 y 22.8°C

3. Para corroborar la validez del rango encontrado, se aplicó la misma ecuación a las lecturas medias de todo el año (2009) en Cali y Jamundí, se promediaron los resultados, encontrando que la temperatura media de la zona de confort para Cali fue de 25.4 °C y para Jamundí 24.9°C (tabla 2.3 y 2.4). Si promediamos estas dos lecturas la media para la zona de estudio estaría en 25.15°C y la media del rango obtenido con las lecturas de cada caso de estudio es de 25.25°C, lo cual indica que la variación entre las temperaturas medias obtenidas por ambos métodos es muy cercana (diferencia 0.1°C), y se podría validar la zona de confort para Jamundí y Cali entre 22.8 °C y 27.7°C, para efectos de esta investigación.

4. La temperatura media mensual para ambas ciudades, está por debajo de la temperatura de confort obtenida siguiendo el método anterior, ubicándose siempre dentro de la franja de confort definida como estándar.

Tabla 2.3 Resumen climatológico mensual para el año 2009 de Cali.

RESUMEN CLIMATOLOGICO DE 2009 - RED CLIMATOLÓGICA DE LA INDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZUCAR COLOMBIANA. CENICAÑA. ESTACIÓN MELÉNDEZ					
Mes	Temperatura Minima absoluta °C	Temperatura Minima media °C	Temperatura Media mensual °C	Temperatura Máxima media °C	Temperatura Máxima absoluta °C
Enero	17,8	19,1	22,7	29,2	32,2
Febrero	17,1	18,9	23,0	29,6	31,1
Marzo	17,9	19,3	23,0	29,4	31,5
Abril	17,5	19,2	23,1	29,4	32,0
Mayo	17,2	19,0	23,2	29,7	31,8
Junio	17,2	18,9	22,9	29,0	32,0
Julio	14,8	17,9	23,3	30,6	34,3
Agosto	15,9	18,4	23,8	31,5	34,4
Septiembre	16,0	18,1	24,4	32,9	36,4
Octubre	16,6	18,5	23,6	31,2	34,7
Noviembre	16,5	19,0	23,7	31,0	33,2
Diciembre	17,1	19,1	23,5	30,4	33,0

2

Tabla 2.4 Resumen climatológico mensual para el año 2009 de Jamundí.

RESUMEN CLIMATOLOGICO DE 2009 - RED CLIMATOLÓGICA DE LA INDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZUCAR COLOMBIANA. CENICAÑA. ESTACIÓN JAMUNDÍ					
	Temperatura Minima absoluta °C	Temperatura Minima media °C	Temperatura Media mensual °C	Temperatura Máxima media °C	Temperatura Máxima absoluta °C
	16,4	17,9	21,8	28,5	31,0
	15,5	17,8	22,2	29,0	30,7
	17,5	18,2	22,1	28,8	31,2
	16,2	17,9	22,2	28,8	30,9
	15,7	17,8	22,3	29,0	30,9
	15,5	17,7	22,0	28,2	31,2
	13,6	16,9	22,6	30,1	33,2
	14,6	17,4	23,0	30,5	33,4
	13,1	17,0	23,6	31,8	35,3
	14,8	17,5	22,6	30,1	33,5
	15,6	18,1	22,6	29,8	31,6
	15,6	18,0	22,5	29,3	32,0

2.2.7.2 Determinación del estándar de humedad relativa

Definir el estándar de humedad para una región es de gran complejidad por ser precisamente relativo, investigaciones realizadas en climas cálidos y húmedos han encontrado un efecto pequeño de la humedad en la percepción del confort térmico,

son necesarios estándares internacionales e investigaciones que evidencien los resultados de estudios de campo en los trópicos

(Nicol, 2004).

Se sabe que al incrementar la humedad en climas cálidos y húmedos disminuye la sensación de confort, pero aspectos culturales hacen que este estándar deba ser definido a través de la práctica de encuestas para cada zona en el mundo, sobre todo en los trópicos, cuyos estándares no han sido considerados aún.

Para esta investigación se determinará el estándar de humedad relativa entre el 50 y el 80% acorde a los resultados de las encuestas de post-ocupación realizadas.

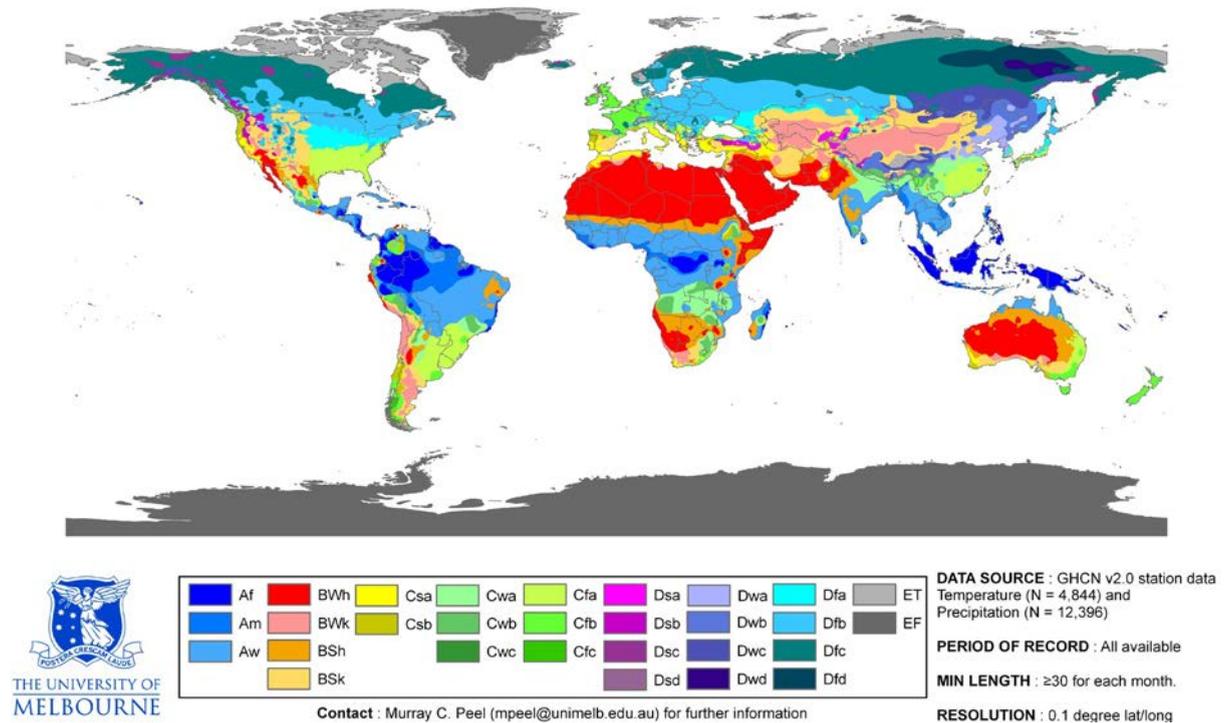
2.3 El clima tropical

Existen diversas clasificaciones climáticas una de las más utilizadas es la de Köppen (figura 2.2), la cual se ha adoptado en esta investigación para describir el clima de la zona de estudio, esta clasificación está basada en la relación entre el clima y la vegetación. Uno de los principales objetivos del arquitecto es ofrecer las condiciones óptimas de confort, logrando así diversas tipologías alrededor del mundo, aún estando en climas similares se encuentran características arquitectónicas variadas gracias a las tradiciones constructivas, culturales locales y su entorno.

La característica propia de los climas tropicales es que la temperatura media anual supera los 18°C y las precipitaciones durante el año son superadas por la evaporación. La clasificación tropical de Köppen tiene cuatro sub grupos; [1] Af Ecuatorial, con lluvias durante todo el año, temperatura media anual por encima de los 25°C, mucha vegetación verde y altas precipitaciones. Ciudades donde se da este clima son Iquitos, Kuala Lumpur, Salvador de Bahía, Santos, Singapur. [2] Am Monzónico, clima con precipitaciones muy altas y estación seca muy marcada,

entre las ciudades con estas características se encuentran, Miami, Rio de Janeiro, Jakarta. [3] As Sabana, su periodo seco se da en verano, se da en ciudades como Puerto Plata, Honolulu. [4] Aw Sabana, El

World map of Köppen-Geiger climate classification



2

Figura 2. 2 Clasificación climática de Köppen.

período seco se da en invierno y en esta clasificación se encuentra

Cali, Bombay, Caracas, Barranquilla, la Habana, Veracruz.

Debido a la incidencia perpendicular de los rayos en las zonas tropicales, la radiación solar es constante durante todo el año. Como consecuencia del paso del sol la radiación debe controlarse principalmente en las superficies horizontales y en las caras Este y Oeste. Esto implica tomar decisiones frente a la orientación, con el fin de evitar ganancias de calor en el interior de los edificios, el manejo cuidadoso de superficies horizontales y el aprovechamiento de la gran cantidad de energía.

En el trópico el clima varía con la latitud y la altitud. La temperatura varía con la latitud a razón de 1°C cada 150 kilómetros que nos alejemos de la línea del Ecuador, hasta una latitud de aproximadamente 20° hacia el sur o el norte, a partir de la cual el decrecimiento no es constante. La temperatura también decrece con la altura sobre el nivel del mar a razón de 1°C por cada 187 metros de altitud, esto permite clasificar diferentes niveles térmicos dentro de un margen de 400 metros, obteniendo diversas categorías. De 0

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS
a 1000 metros zona cálida, (el 83% del

territorio de Colombia se encuentra en esta zona). De 1000 a 2000 zona templada (9% del territorio ocupa esta zona), de 2000 a 3000 zona fría (6% del territorio) y más de 3000 zona de páramo (2% del territorio).

2.3.1 El clima de la zona de estudio

La Ciudad de Cali posee un clima de sabana tropical (tabla 2.3), con temperaturas promedio de 23°C, alta humedad y presión de vapor durante todo el año con un promedio de humedad relativa de 74%, con cielos cubiertos de nubes en la mañana. Las precipitaciones son frecuentes y de fuertes aguaceros que se dan alrededor de los meses de abril y noviembre alcanzando hasta 1800 mm al año. Los vientos inician a media mañana y se intensifican en horas de la tarde hasta las 20:00, la dirección y frecuencia de los vientos es según la figura 2.3, de 79% de calma, 7% Oeste, 4% Noroeste y 3% Norte. Como se aprecia la figura 2.4 de necesidades bioclimáticas para Cali (elaborado por Victor Olgay en 1968), en la madrugada hay necesidad de proveer calor, mientras que a partir del medio día y hasta las 18 horas sucede lo contrario.

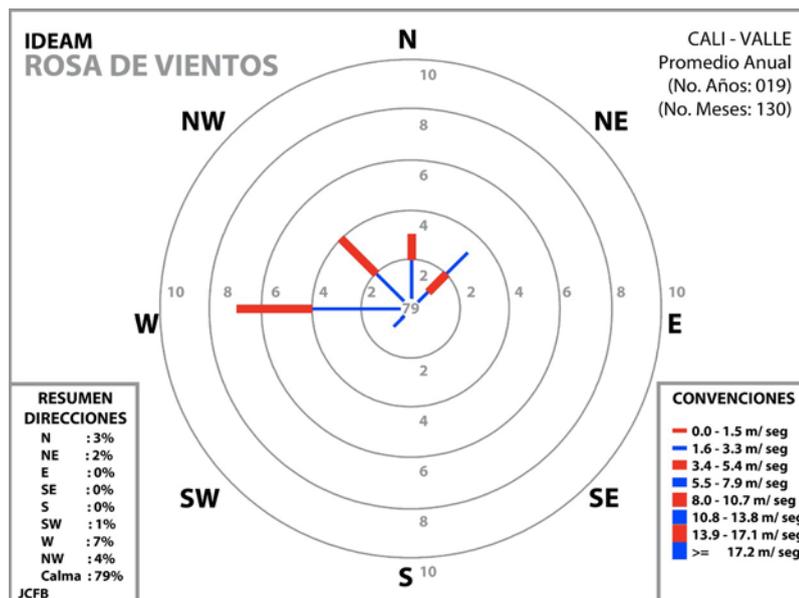


Figura 2. 3 Resumen rosa de los vientos para la Ciudad de Cali.

Este cinturón de la tierra se caracteriza por condiciones meteorológicas y orográficas extremas, como altas montañas, ríos caudalosos, selvas con variada vegetación y especies animales donde las personas comparten su hábitat con la flora y fauna circundante. La característica más importante del estilo de vida tropical, se basa en la relación que existe entre las personas y el entorno, en el trópico las personas están más expuestas a los cambios de la naturaleza debido a la simbiosis que existe entre

2 ambos, la vida pasa en el exterior buena parte del día, por eso la mayoría de viviendas poseen espacios de carácter social que miran al exterior a través de grandes vanos creando un vínculo necesario para la vida del ser tropical.

En las zonas cálidas y húmedas la temperatura promedio generalmente se encuentra dentro de los márgenes de confort durante todo el año y nunca alcanzan a ser extremas, hay lluvias fuertes, frecuentes y cielos cubiertos que difuminan la radiación solar intensa, las condiciones climáticas permiten que el hombre pueda vivir sin morada ni vestido, debido a esto las exigencias de las viviendas se limitan a la construcción de paredes exteriores permeables sin efectos aislantes importantes debido a la poca amplitud térmica entre el día y la noche, se requiere una buena ventilación para que el sistema de refrigeración del cuerpo humano no se sobrecargue por la combinación de altas temperaturas y humedad, la solución para estas condiciones es una gran cubierta que proteja del sol y la lluvia.

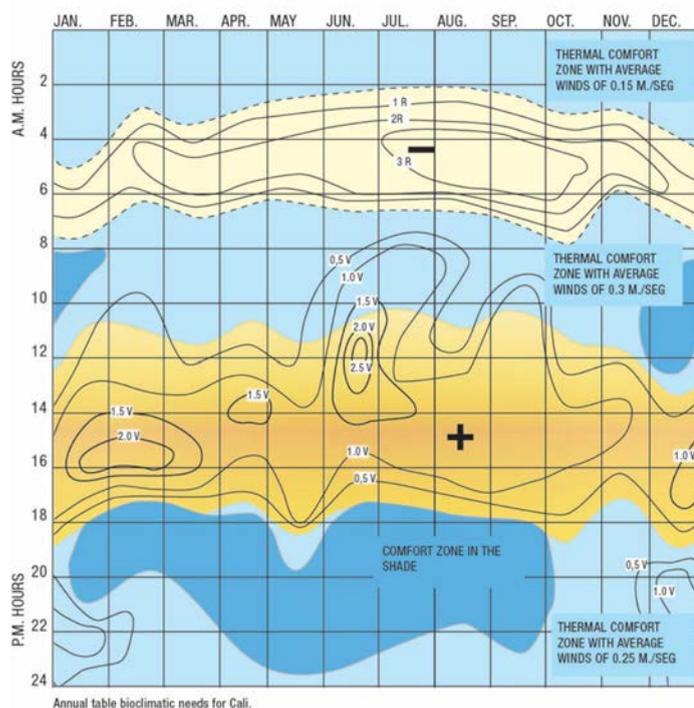


Figura 2. 4 Necesidades Bioclimáticas para la ciudad

de Cali

Estas zonas poseen una arquitectura popular característica por ser ligera, bien ventilada y protegida por todos los costados de la radiación solar y las fuertes lluvias tropicales. Las viviendas presentan plantas alargadas que en algunos casos que se levantan del suelo para permitir una mejor ventilación. La arquitectura vernácula es de grandes y altas cubiertas que cubren todos los volúmenes a la vez, con aleros que protegen los muros de los

agentes del clima, sus ventanas son alargadas siempre a la sombra proyectada por el alero, predomina la penumbra en el interior y

los espacios poseen aperturas que permiten la deshumidificación del ambiente con las corrientes de aire, las ventanas con celosías y enrejados se convierten en filtros contra las lluvias y el brillo exterior.

Las paredes pesadas, herencia de la arquitectura española, logran demorar el paso de calor por algunas horas pero perjudican el paso de las brisas, es más conveniente utilizar elementos ligeros permeables operables, acorde a las necesidades. El uso de la vegetación es indispensable como complemento de la arquitectura para refrescar y filtrar la luz exterior, la relación entre edificio y naturaleza se confirma con el uso tradicional del patio y el corredor, esta arquitectura depende de la naturaleza y se funde con ella.

Al contrario de otras latitudes la penumbra es considerada tan indispensable como el viento, la arquitectura tropical tiene tantas aperturas y tan grandes como sea posible para introducir el aire fresco.

2.4 Normas de construcción sostenible en países tropicales

El trópico es la región comprendida entre el Trópico de Cáncer y Trópico de Capricornio, conocida también como zona Intertropical o Tórrida, que se encuentra entre las latitudes 23° 26' 16" N y 23°

26' 16" S. Se encuentran también en el trópico más de 100 países para los cuales es necesario el desarrollo de manuales, normas o lineamientos que regulen el sector de la construcción para favorecer el desarrollo de proyectos sostenibles.

2.4.1 Normatividad para Colombia

La legislación vigente de vivienda en términos de normas, decretos y leyes está estructurada alrededor de las normas del Código de Construcciones Sismo Resistentes (Ley 400 de

1997) y a las Normas de Sanidad del Código Sanitario (Ley 9 de 1979), actualmente no

hay decretos que reglamenten el código sanitario en lo referente a las condiciones mínimas de la vivienda. El artículo 40 de la Ley 3 de

1991 establece que el Gobierno Nacional reglamentará las normas mínimas de calidad de la vivienda de interés social, especialmente en cuanto a espacios servicios y estabilidad de la vivienda, esta información se encuentra en el Decreto 2060 de 2004, por el cual se establecen las normas mínimas para vivienda de interés

social urbana, provee las normas mínimas para la construcción de

2

vivienda en relación al área mínima del lote del área construida, la

densidad habitacional y porcentaje de cesiones urbanísticas.

Las normas Colombianas relacionadas con diseño de viviendas y en particular sobre las aperturas de fachadas son ambiguas y se pueden interpretar de diversas maneras, a pesar de ser este un territorio de variados climas gracias a los pisos térmicos, no existen tampoco caracterizaciones de estos ni recomendaciones para ningún tipo de edificación relacionadas con el clima de cada zona. Tampoco existen actualmente normas o recomendaciones referentes a la calidad mínima de los espacios interiores, la norma se limita a establecer índices de habitabilidad de las viviendas dependiendo de la cantidad de habitantes partiendo de 25m² como unidad mínima conformada por una alcoba y una batería de baños.

2.4.2 *Estratificación de la vivienda en Colombia.*

La vivienda en Colombia se ha estratificado para que el gobierno pueda hacer diagnósticos en base a la condición socioeconómica de la población, este mecanismo de estratificación, permite clasificar los inmuebles residenciales en distintos estratos que tienen características sociales y económicas similares. En todos los municipios del país las viviendas se clasifican en estratos, estos se determinan por cada lado de manzana según el DNP (Departamento Nacional de Planeación) en donde se estudian las características de cada lado para poder definir su estrato, van del uno que corresponde al estrato más bajo, hasta el seis que sería el más alto. En la tabla 2.5, se ilustra el tipo de viviendas representativas de cada uno de los estratos de la ciudad de Cali y el porcentaje de viviendas que pertenecen a cada uno.

Tabla 2.5. Vivienda tipo según estrato socioeconómico en Cali. Fuente fotografías: <http://planeacion.cali.gov.co/dapweb/index.asp>

				CANTIDAD DE VIVIENDAS (UNIDADES)
		195.893	16,6%	99.231
		112.793	27,5%	164.388
		402.127	32,6%	194.875
		138.101	11,1%	66.353
		463.271	9,3%	55.593
		183.183	2,9%	17.336

Los barrios del Sur de Cali están destinados en su mayoría al desarrollo de viviendas de estrato cinco y seis, se localizan en el perímetro suburbano, son globos de terreno dotados de servicios públicos de manera parcial, en muchos casos es el propietario quien termina las obras para obtener servicios públicos, los cuales no están integrados a la infraestructura urbana. Estos predios están destinados al uso residencial privado, poseen áreas complementarias de carácter comunal privado al interior de los conjuntos.

En los estratos cinco y seis, predomina el desarrollo de viviendas en condominios o ciudadelas con un modelo de urbanismo típico norte americano.

Según el Censo de Colombia del 2005, el 69,7% de las viviendas del Departamento del Valle del Cauca son casas y en el municipio de Cali el 57.7% de las viviendas son casas, hay preferencia en

2 la escogencia de la casa como unidad habitacional sobre los apartamentos

2.4.3 Normatividad para el Perú

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento del Perú tiene clasificaciones climáticas y recomendaciones de diseño para construcción y diseño de edificaciones bioclimáticas para 10 climas diversos. En el siguiente cuadro (tabla 2.6) se encuentran las recomendaciones para la zona climática húmeda tropical y sub tropical.

Tabla 2. 6 Recomendaciones Bioclimáticas para las zonas climáticas 8 y 9 del Perú

2 Orientación este-oeste de eje de edificio
Espacios orientados a norte y protegidos de so

CONSTRUCCIÓN DE EDIFICACIONES BIOCLIMÁTICAS CON EFICIENCIA ENERGÉTICA - PERU - ZONA CLIMÁTICA 8-9	
	Alumbramiento interior en cobertura
	techos evada de sue o
	Altura mínima de ambiente 2,5m
	Evitar el uso de materiales que absorban materia a uti izar
	OBTENCIÓN
	Sistema de drenaje de as precipitaciones
	A eros para proteger muros, zóca os y exteriores de so y humedad
	PISOS Y MUROS
	Pisos antides izantes por as precipitaciones
	Zóca os de protección sobre cimientos ante humedad
	Evitar ca entamiento de paredes por radiación so ar
	VANOS
	Materia termica baja para muros
	Área de vanos/Área de piso:>30% para i uminación
	Área de vanos/Área de piso:>15% para venti ación
	ILUMINACIÓN Y PARASOLES
	Uso de paraso es en vanos
	VENTILACIÓN
	Considerar y aprovechar a dirección de os vientos oca es
	Orientación que permita venti ación cruzada
	Generar efecto Venturi
	VEGETACIÓN
	Crear sombras y espacios verdes para impedir a radiación indirecta

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

2.4.4 Normatividad para el Brasil

Brasil está dividido en 8 zonas bioclimáticas, para generar las directrices de cada zona bioclimática y las estrategias de condicionamiento térmico pasivo fueron consideradas el tamaño de las aberturas, protección de las aberturas, aislamientos externos y las estrategias de condicionamiento térmico pasivo. La zona 8 del Brasil (tabla 2.7), representa el clima cálido húmedo tropical y recomendaciones para éste se encuentran en el Reglamento

térmico para eficiencia energética de edificaciones residenciales y en la norma de desempeño térmico de edificaciones – zonas térmicas bioclimáticas y directrices constructivas para viviendas unifamiliares de interés social.

Tabla 2. 7 Norma de desempeño térmico de edificaciones para la Zona 8 del Brasil.

NORMA DE DESEMPEÑO TÉRMICO DE EDIFICACIONES- DIRECTRICES CONSTRUCTIVAS - BRASIL - ZONA CLIMÁTICA 8	
1	VANOS
	Grandes aberturas para ventilación
	Aberturas con protección del sol
2	CUBIERTA
	Ligera y reflectiva
3	MUROS
	Ligera y reflectiva
4	VENTILACIÓN
	Mantener ventilación cruzada permanente
	El sistema pasivo de ventilación será insuficiente durante las horas más calientes
	Aprovechar los vientos predominantes de la zona
	Enfriamiento artificial será necesario para lograr el confort en las horas mas calientes
	Ecuación para las aberturas con relación a la ventilación:
	$A > 10$
	$A = 100 \cdot \left(\frac{A_A}{A_p} \right)$
A: Porcentaje de apertura de ventilación en relación al área del piso	
A A: Área efectiva de apertura para ventilación	
Ap: Área de piso del ambiente	
5	ILUMINACIÓN
	En ambientes de permanencia la suma del área de la aberturas debe ser no menor a 1/8 del área del piso

2.5 Diseño generativo y herramientas para el diseño de vanos

La utilización de herramientas durante el proceso de diseño para simulaciones de desempeño se ha convertido en una práctica común, aunque en el trópico el diseño está basado generalmente

en las experiencias propias y en el sentido común. Las aplicaciones

2 digitales gráficas desarrolladas hasta hoy, permiten el manejo de

información geométrica de manera paramétrica y además con la posibilidad de obtener resultados con un desempeño deseado por medio de con la utilización de software generativo.

La concepción evolucionaria y el diseño generativo tienen sus orígenes en las ciencias informáticas, ciencias de la concepción y la biología. Su principio está basado en la evolución natural de una población para hacer una mejora iterativa de su desempeño global (se considera iteración como sinónimo de repetición, en este caso, de una serie de instrucciones a un software). Los mecanismos evolucionarios pueden ayudar al arquitecto en su actividad de concepción y simulación de la creatividad, durante la búsqueda de una idea (Marin, et al., 2008). Con la llegada de las herramientas paramétricas y la tecnología en el campo del diseño el rol del diseñador ha cambiado, pasó de creador de una obra o solución única a un creador de soluciones que responden a las limitaciones de un problema.

EL diseño generativo está basado en la utilización de algoritmos genéticos, se ha comprobado que éstos han sido eficientes en resolver problemas de optimización de energía y diseño de fachadas (Caldas & Rocha, 2001), confort térmico y aires acondicionados (Essia, et al., 2007), optimización térmica (Sambou V. et al., 2009) y diseño de ventanas (Suga, et al., 2010). Un algoritmo se puede definir como una secuencia de pasos, para lograr solucionar un problema planteado, los algoritmos evolucionan una población de individuos, sometiéndolos a combinaciones y selecciones aleatorias como sucede en la naturaleza de los seres vivos, de acuerdo a algún criterio dado tratando siempre de optimizar en la búsqueda. Cuando el algoritmo alcanza su solución óptima (función de adaptabilidad), o condición de término (condiciones que cumplen los vanos para ser aptos), se deberá detener utilizando los criterios de detención determinados previamente.

La utilización de herramientas de concepción evolucionaria conduce a soluciones innovadoras cambiando el proceso de diseño, ya que la herramienta se convierte en un aliado que ofrece soluciones inesperadas. La herramienta permite conocer los mejores modelos resultado de diversas generaciones y el arquitecto al final define de manera subjetiva las apropiadas al proyecto acordes a la estética del mismo.

Los desafíos del diseño sostenible apuntan hacia el bajo consumo de energía, selección correcta de los materiales de la construcción y la calidad ambiental interior, que se pueden alcanzar utilizando estrategias innovadoras en diseño. En la concepción de un proyecto las decisiones que se toman durante la etapa de diseño afectan el desempeño del edificio durante toda su vida útil. En un proceso integrado de diseño, los involucrados en el desarrollo de un proyecto pueden racionalizar su proyecto a través de la información de diseño digital coordinada, conocidas actualmente como herramientas BIM (Modelado de información de edificios – Building Information Modeling, por su sigla en inglés). Es un proceso integrado que permite a un equipo explorar digitalmente un proyecto antes de su construcción, este proceso permite diseñar proyectos innovadores, visualizar su apariencia, y su desempeño real como costos e impacto ambiental, permite, diseñar, simular y visualizar el ciclo de vida completo del edificio y actualizar la información de manera veloz aun durante la ejecución de la obra. Los arquitectos no tienen tiempo y facilidad de utilizar herramientas para tomar decisiones con rapidez, una práctica común es hacer la mayoría del proceso manualmente lo cual es ineficiente y toma mucho tiempo, los sistemas BIM permiten visualizar y manipular una gran cantidad de información permitiendo optimizar procesos (Donath & Lobos, 2009).

2.6 Eficiencia energética

El consumo de energía en la tierra se ha incrementado progresivamente y aumenta a razón de un 2% anual, mundialmente hay tres tipos de consumidores, [1] los países desarrollados con un alto consumo de energía per cápita, [2] los países que se están integrando a los desarrollados con crecimiento alto en la demanda de energía y disminución de su población y, [3] los países en vías de desarrollo con un bajo consumo per cápita pero con gran crecimiento poblacional. El aumento de la población terrestre y los

desarrollos en tecnología, demanda novedosas formas de confort que implican un aumento en el

consumo energético para satisfacer estas necesidades, lo cual implica revisar las edificaciones ya que son las encargadas de casi un 40% de la demanda total de energía mundial, “Se estima que hacia el 2030 más de la mitad de la demanda mundial energética provendrá de los países en desarrollo, comparado con el 40% de hoy” (Colciencias, 2005).

Tabla 2. 8 Consumo energético por sectores en Colombia en 2006. Fuente: UPME 2010 (Unidad de Planeación Minero Energética)

2

CONSUMO FINAL DE ENERGIA POR SECTORES EN COLOMBIA - 2009	
Transporte	34.9%
Industrial	28.3%
Residencial	21.2%
Agropecuario y Minero	6.9%
Comercial y Público	5.4%
Otros	3.4%

En Colombia el consumo residencial para el año 2009 representó el 21.2% de la energía total final por sectores (tabla 2.8), donde la fuente de energía más comúnmente utilizada fue la eléctrica con un 31.7%, seguida de la leña en 27.8% y el gas natural con 19.8%, esto implica que el gobierno adelante programas prioritarios a nivel residencial desde el diseño, construcción, adecuación y uso eficiente y sostenible de las viviendas para desarrollar sistemas de arquitectura bioclimática con conceptos de eficiencia energética (PROURE – Programa de uso racional y eficiente de energía y fuentes no convencionales del Ministerio de Minas y Energía de Colombia). Minimizar el uso de sistemas convencionales de refrigeración en el trópico, aprovechando las condiciones favorables del clima como la luz y la ventilación natural, con el fin de generar confort mediante un acondicionamiento natural, constituye una práctica pasiva que contribuye a disminuir el consumo de energía. Arquitectos e ingenieros se ven en la necesidad de enfrentar desde el inicio del proyecto el problema y presentar soluciones adecuadas y balanceadas para el medio ambiente y las personas.

Las condiciones interiores en el trópico demandan refrigeración activa según el modelo de Fanger (1972), es probable que las temperaturas de confort calculadas por el modelo adaptativo para la zona tropical puedan ser alcanzadas usando estrategias pasivas de refrigeración, con el uso de recursos tradicionales como el agua, la vegetación, los patios, la instalación de protección solar en vanos y

sobretudo permitir la ventilación diurna y nocturna.

3 CAPÍTUL O

Casos de estudio y registro
de condiciones

Introducción

Para iniciar el estudio del vano en la arquitectura doméstica tropical del Valle del Cauca, es preciso comenzar desde la arquitectura colonial y sus casas de hacienda, porque países tropicales como Colombia tienen una tradición de edificios sostenibles en su arquitectura vernácula, las casas coloniales son parte de la herencia cultural de una región agraria y tienen su

origen en formas ibéricas adaptadas a las circunstancias locales,

a los recursos, al clima, al paisaje y a la cultura (Barney & Ramírez, 1994).

Se presenta en este capítulo un inventario de vanos que ilustra las estrategias, soluciones y tipologías desarrolladas en la arquitectura colonial y actual de viviendas consideradas de valor histórico y arquitectónico en ubicaciones tanto urbanas como sub-urbanas. El valor de esta muestra es la riqueza, profundidad y calidad de la información que se presume se puede encontrar en cada caso, hay gran variedad de vanos para mostrar las diferentes perspectivas del problema a estudiar; el propósito de esta sección es documentar la diversidad, encontrar las diferencias y coincidencias, patrones y particularidades.

En este capítulo también se consignan los resultados de los registros relacionados con el confort del ambiente construido y sus vanos, las condiciones que se han registrado corresponden al confort térmico y lumínico, obtenidas por mediciones in situ y comparadas con sus estándares equivalentes. Los resultados de los registros de confort psicológico se obtuvieron por medio del análisis estadístico de las encuestas de post ocupación. Relaciones geométricas del espacio y su envolvente, se explican gráficamente para complementar los valores de los registros realizados.

3.1 Selección de los casos

Una vez analizado el contexto arquitectónico y el problema de la investigación, se definió una muestra de carácter propositivo referente a diversas soluciones de vanos en la arquitectura tropical, para determinar el número de casos se analizó; [1] la capacidad de recolección y análisis de datos, acorde a los recursos y tiempo destinado para esta investigación, [2] número de casos que responden a las preguntas de la investigación, [3] accesibilidad de los casos y el tiempo que llevaría recolectar la

información. El tamaño de la muestra sugerido por Hernández

et. al., (2010) para estudio de casos en profundidad es de 6 a 10 casos, para esta investigación se han seleccionado 16 vanos de 9 viviendas diferentes. En un estudio preliminar integral se analizó cada vivienda y de cada una, se identificaron uno o dos vanos que dieron señales de mejor calidad ambiental interior para conformar el inventario. La selección de los vanos se basó en la variedad y efectividad de éstos en la vivienda urbana y principalmente sub-urbana. En la figura 3.1, se pueden observar las características de cada vivienda de donde se extrajo el inventario.

Otros criterios fueron tenidos en cuenta para la selección de las viviendas, por su valor histórico como La Teja, por su valor arquitectónico como Los Cuchos, La Queja, La Rebeca y El Níspero, ganadoras de premios de arquitectura. Algunas simplemente son una muestra de la arquitectura contemporánea de la región como la Casa Cárpena-Escobar y El Hormiguero, proyectos como el Club del Campo la Morada representan la tipología de desarrollos urbanos que han tenido éxito en los últimos años. Otros criterios para la selección tuvieron que ver con la variedad en su ubicación (figura 3.2), la mayoría de los proyectos son sub urbanos mientras que La Queja y El Níspero se encuentran en uno de los barrios tradicionales de la Ciudad, donde la tipología de viviendas entre medianeras presenta diversas soluciones frente al clima por su condición urbana y La Teja por su condición rural. Todas las viviendas se encuentran en una altitud similar, de manera que el clima no tuviera variaciones notables.

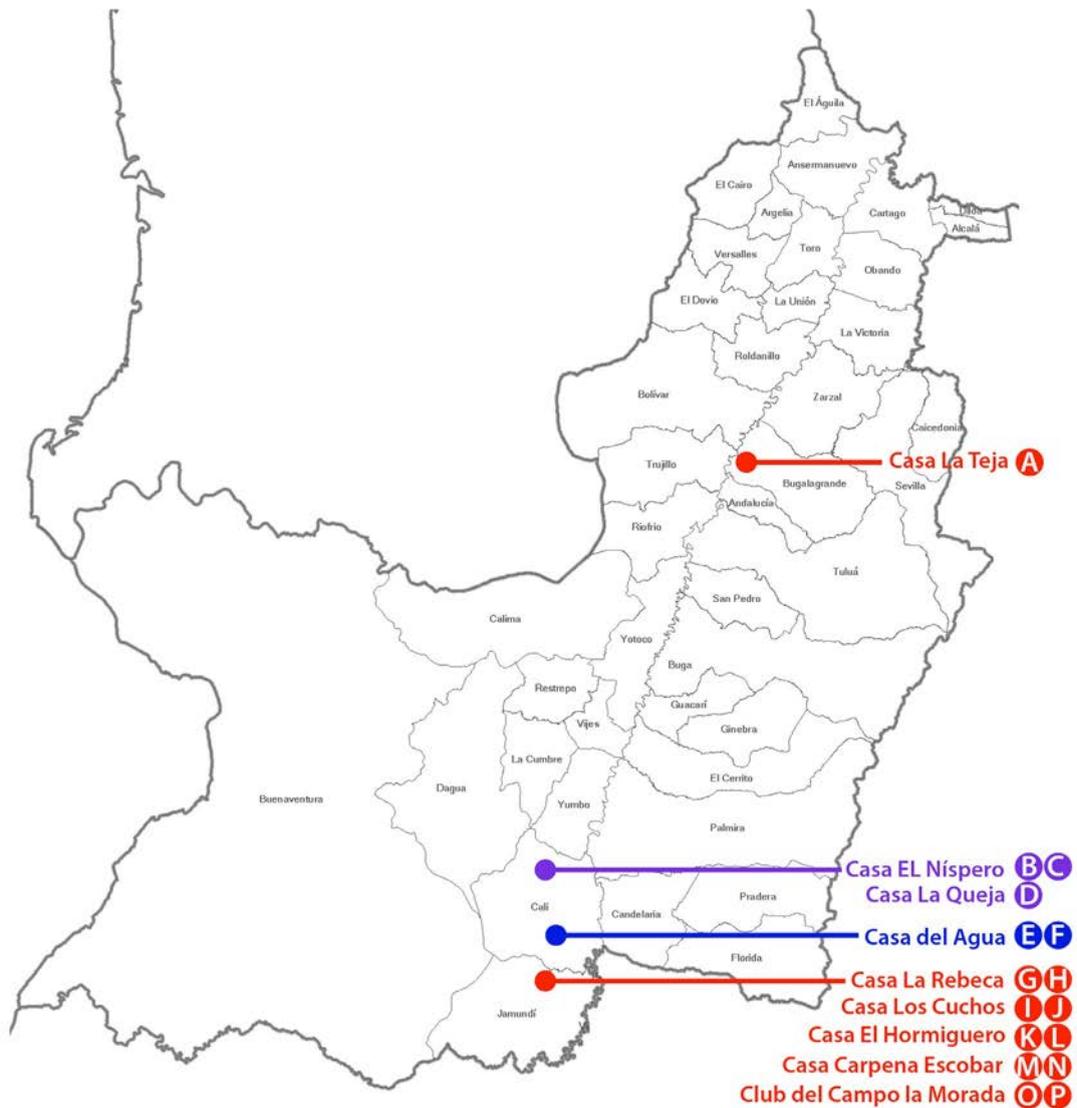


Figura 3.1 Selección de viviendas. (1) La Teja, (2) El Níspero, (3) La Queja, (4) Casa del Agua, (5) La Rebeca, (6) Los Cuchos, (7) El Hormiguero, (8) Cárpena-Escobar, (9) Club del Campo.

La vivienda sub urbana de la región presenta algunas ventajas en el manejo del confort con respecto a la vivienda urbana, debido a que se encuentran aisladas de otras viviendas, en sitios de menor densidad, en lotes más grandes, con un gran potencial para aprovechar el viento, las visuales, la dirección del sol y estar en zonas donde el aire es más limpio. En estas viviendas la efectividad de la refrigeración pasiva depende de un buen manejo del clima y la vegetación a partir de la permeabilidad de las fachadas, el manejo de la piel. Entre las características de la arquitectura más significativa de la región del Valle del Cauca, está la inclusión de elementos tradicionales como las fuentes, las terrazas, el patio, las circulaciones y los balcones (Jiménez, 2009).

Saldarriaga (1996) describe y exalta de la casa sub urbana Colombiana como la fusión e interpretación entre lo moderno y lo histórico, destaca la utilización de elementos tradicionales de la arquitectura local, su reinterpretación o utilización innovadora, que en ningún momento tratan de imitar, sino evocar tradiciones constructivas. Sus principales fortalezas se aprecian en su forma,

en el trabajo de sus muros y sus aberturas, su emplazamiento, su autenticidad, el sentido del lugar y el clima, con una interpretación contemporánea. El clima en el trópico define todas las protecciones necesarias contra la vegetación, lluvias, inundaciones y la radiación solar.



VALLE DEL CAUCA

Ubicación de los casos de estudio

Figura 3. 2 Ubicación de los casos en el mapa del Valle del Cauca Colombiano.

Fuente mapa: OCHA <http://www.colombiassh.org/site/spip.php?article32>

En la arquitectura doméstica Colombiana el vano no solamente sirve para la ventilación, su rol visual es muy significativo, en la época colonial se hacía con el fin de dominar el territorio, ampliar la visual, vigilar el trabajo en el campo, enmarcar vestíbulos y el verde exterior, anunciar los patios o los exteriores y como remate visual (Villegas, 1992). El vano, en algunos casos, se cierra con rejas y celosías para hacer contraste entre la claridad exterior y la penumbra interior, para favorecer la frescura, este filtro de la luz por medio del tratamiento de los vanos, le imprime un carácter particular a cada espacio.

La arquitectura de las viviendas contemporáneas de donde se seleccionó el inventario de vanos representa un momento histórico, es el resultado del incremento de edificaciones de naturaleza privada promovida por un estancamiento de la construcción de finales de los años noventa en el país, es una arquitectura de formas y geometrías simples donde se evidencia un interés por la búsqueda de valores estéticos, las tradiciones, la calidad ambiental y la respuesta al lugar, desarrolladas por una joven generación de arquitectos en búsqueda de una identidad de expresión (Jimenez, 2009). Las características y reconocimientos de algunas de estas viviendas han hecho que se puedan establecer como referentes de identidad o considerados de avanzada, por ser representativas de la arquitectura de la zona constituyendo parte de la historia de un territorio. Las características que las destacan están dadas por un interés evidente en la calidad ambiental interior y la respuesta al lugar. Las descripciones, planos y fotografías de estas viviendas se encuentran en el anexo 1.

3.2 Inventario de vanos

De cada una de las 9 viviendas seleccionadas previamente, se tomaron uno o dos vanos que representaran la diversidad en las estrategias utilizadas por el arquitecto en la composición de sus fachadas, la distribución, caracterización de sus espacios y el manejo del clima. En el siguiente inventario se encuentra una descripción cualitativa y dimensiones de los vanos y ventanas seleccionadas de cada obra con sus opciones de apertura vistas desde el exterior de la fachada.

En la figura 3.3, se observa el conjunto de vanos su ventana respectiva del inventario el cual permite evidenciar las características de cada uno respecto a su apertura, composición y permeabilidad.

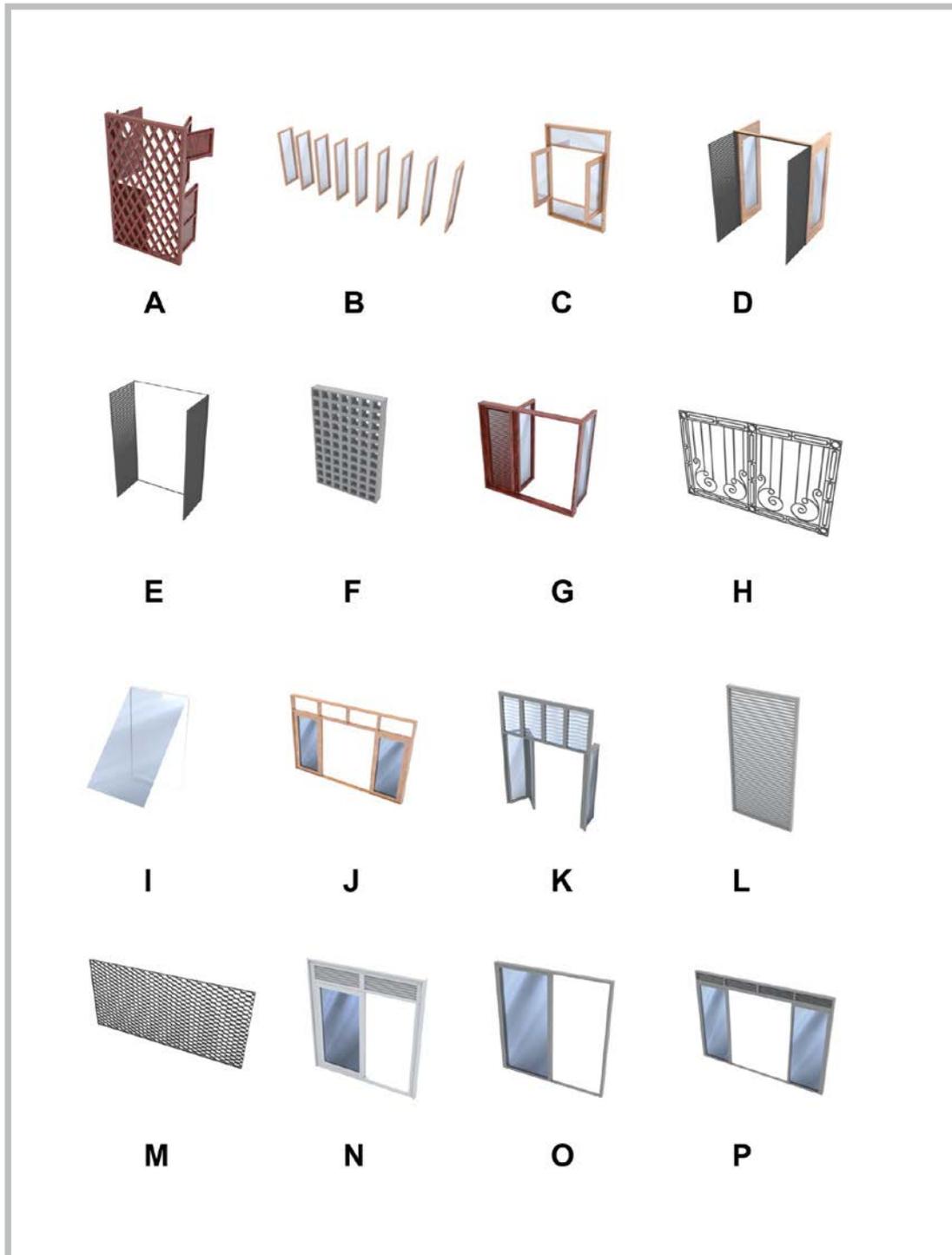
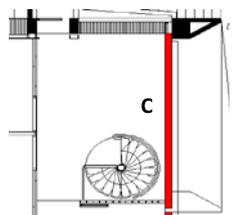
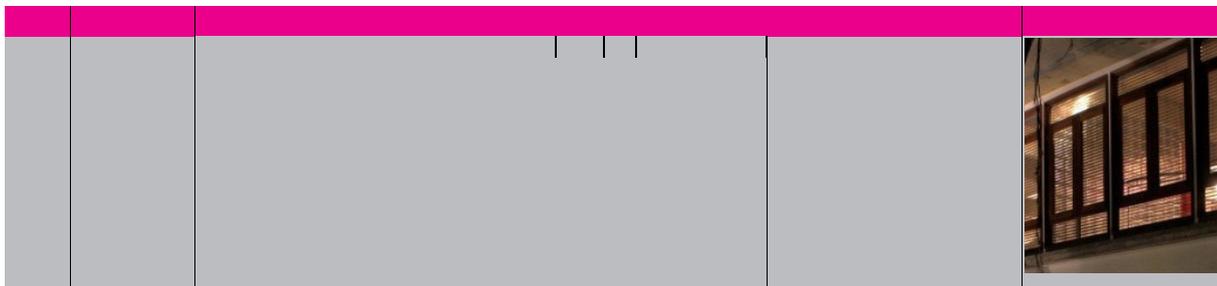
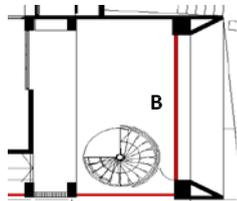
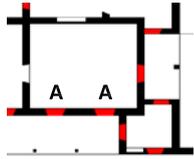


Figura 3.3 Inventario consolidado de vanos. (A) La Teja, (B - C) El Níspero, (D) La Queja, (E - F) Casa del Agua, (G - H) La Rebeca, (I - J) Los Cuchos, (K - L) El Hormiguero, (M - N) Cárpena-Escobar, (O - P) Club del Campo.

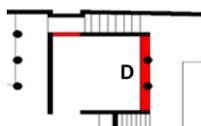
DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

3



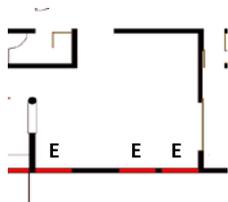
DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

VANO	ESPACIO	LA QUEJA - VIVIENDA URBANA - DESCRIPCIÓN	FOTOGRAFÍA
D	Alcoba	<p>Este tipo de ventanas se repite en toda la vivienda, está compuesta de una ventana interior de madera y vidrio y una exterior en forja metálica con elementos en sentido horizontal, ambas tienen iguales dimensiones 2.20 m de alto por 1.40 de ancho. Sus naves son batientes hacia lados opuestos, las interiores hacia dentro y las exteriores hacia afuera, cada ventana tiene dos naves. La apertura de la exterior implica abrir la interior. Existe además una cortina como protección adicional. Los tres vanos del espacio están separados por columnas de concreto y cubren toda la fachada.</p>	<p>Área abierta 0% Área del espacio 15.56 m² Área ventana 9.6 m² Relación 61% Altura ambiente 2.5 m % apertura 0,00% Orientación Sur Protección Nb Operable Si, 2 naves</p> 

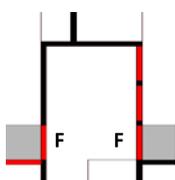


3

VANO	ESPACIO	LA QUEJA - VIVIENDA URBANA - DESCRIPCIÓN	FOTOGRAFÍA
E			

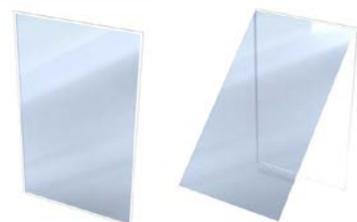
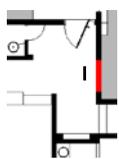
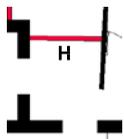
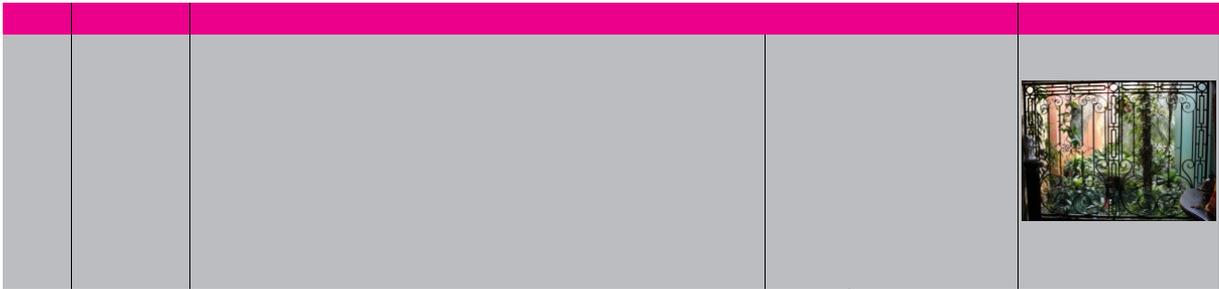
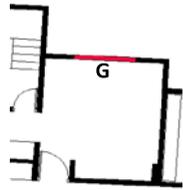


VANO	ESPACIO	LA QUEJA - VIVIENDA URBANA - DESCRIPCIÓN	FOTOGRAFÍA
F			

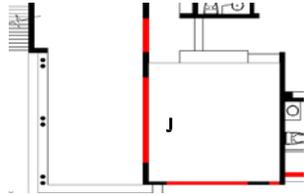


DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

3

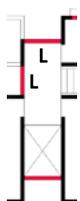
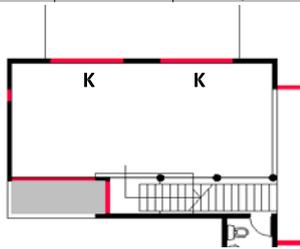


DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

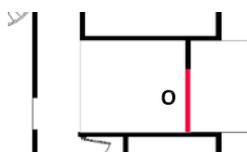
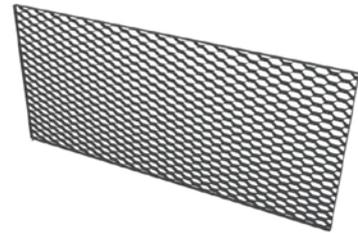
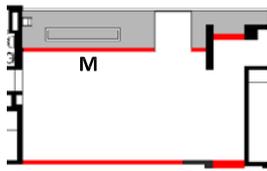
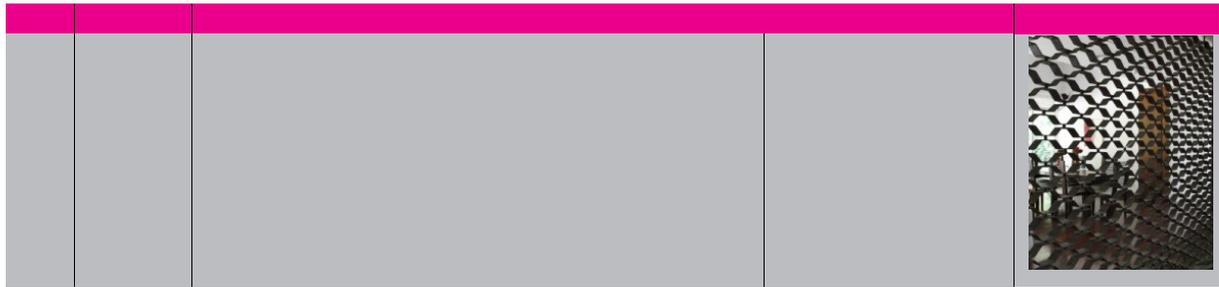


3

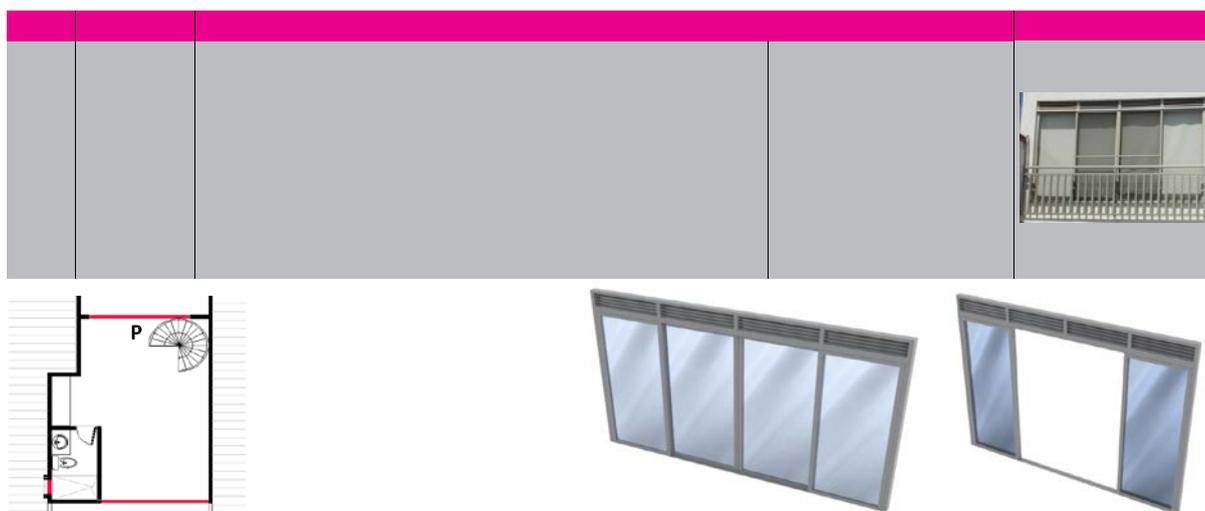
VANO	ESPACIO	EL HORMIGUERO - VIVIENDA SUB URBANA - DESCRIPCIÓN		FOTOGRAFÍA
K	Salón	<p>Puerta ventana de 3,40 m de altura y 2,40 m de ancho. Está compuesta por dos cuerpos, el superior una celosía operable de vidrio y aluminio de cuatro naves, de un metro de altura y 0.60 m de ancho. El cuerpo inferior está conformado por cuatro naves de vidrio y aluminio blanco operables tipo fuele que permite apertura total hacia el interior del espacio. Tienen como protección la cubierta de una terraza que sobresale 1.50 m de la fachada. El espacio tiene dos de estas puertas ventanas separadas una de otra dispuestas de manera simétrica en la fachada.</p>	<p>Área abierta 5.04 m² Área del espacio 36.31 m² Área ventana 15.84 m² Relación 43% Altura ambiente 3.4 m % apertura 31.81% Orientación Oeste Protección Alero Operable Si, 4 naves</p>	



DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS



3



Las cifras que aparecen en la columna con asterisco (*) de todos los vanos del inventario, se refieren a características de éstos, su relación con el entorno y el espacio que afectan, estos datos serán tenidas en cuenta en capítulos posteriores para el análisis de cada caso. A continuación se da una descripción de cada ítem.

Área abierta: corresponde al área de la ventana que no tiene vidrio o elementos que bloqueen el paso del aire dentro del espacio y que está abierto de manera permanente.

Área del espacio: es el área del espacio en piso que está directamente relacionada con esa ventana.

Área de la ventana: es el área total de la ventana incluyendo todos sus elementos.

Relación: es la relación que resulta de dividir el área del piso por el área de la ventana.

Altura del ambiente: es el promedio de altura interior del espacio. Porcentaje de apertura: es el porcentaje de área que permanece abierta de la ventana con respecto al área total de la misma. Orientación: Sentido de la exposición al sol de la ventana. Protección: se refiere a elementos arquitectónicos o vegetación que se encuentren en el exterior del edificio.

Operable: Si la ventana es operable en su totalidad, parcialmente o no es operable para el usuario.

Los vanos que afectan los espacios de esta selección incluyen circulaciones, espacios sociales, estudios y habitaciones, se descartaron áreas de servicios (cocinas, ropas, lavandería, etc.) por no ser de permanencia o alto tráfico por parte de los habitantes.

3.3 Monitoreo térmico

La toma de registros de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento, se realizó con el propósito de obtener datos de la situación real del desempeño de las ventanas y poder comparar las lecturas tanto interiores como exteriores. El monitoreo se hizo durante 24 horas con registro de lecturas cada 60 minutos, en cada uno de los 15 casos, en los meses de Marzo y Abril del 2011. Las mediciones de aspectos térmicos fueron hechas posicionando el equipo en el centro de cada espacio, evitando la cercanía a las ventanas en donde fuera posible, la altura de las mediciones estuvo en un rango entre 60 y 170 centímetros de acuerdo a la actividad realizada en el sitio, considerando posiciones de una persona sentada o parada, como recomienda la Norma ASHRAE STANDARD 55-2004. La ausencia de estaciones y el ángulo de incidencia del sol en zonas del trópico, hacen que la oscilación térmica más importante sea la diaria, y no la anual, motivo por el cual el monitoreo se hizo en 24 horas comparando las lecturas interiores con las exteriores.

3.3.1 Procedimiento y equipo

Para medir y registrar las condiciones climáticas en los interiores se utilizó una estación meteorológica portátil Kestrel de referencia 4500 (figura 3.4), este equipo mide velocidad del viento con una precisión superior al 3%, su alcance es de 0,4 a 60 m/s, posee un impulsor de 2,5 cm de diámetro con eje de precisión. Mide la temperatura con una precisión de 1° con un alcance de -45 a 125°C. La humedad relativa la mide en %HR, con un alcance de 0 a 100% y una precisión de 3%HR. Este equipo mide otros aspectos que no son tenidos en cuenta en esta investigación como altitud, presión barométrica, índice calórico, punto de rocío, temperatura a bulbo húmedo, viento de cola y viento lateral. Esta estación fue calibrada antes de ser usado para asegurar precisión en los registros durante el estudio.



Figura 3.4 Estación meteorológica Kestrel. Certificado CE -
Certificado y calibrado bajo estándar NIST

Las condiciones climáticas exteriores se midieron con diversas estaciones localizadas cerca a la zona geográfica donde se encuentran los casos, en la zona de Bugalagrande (BLG), en Jamundí (JAM) y en el sector de Meléndez (MEL), se utilizaron los datos registrados por la red meteorológica automatizada de la Industria de la Caña de Azúcar de Colombia (CENICAÑA), los datos suministrados (ver anexo 2) fueron temperatura, humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento. En la figura 3.5 se puede ver la localización de las estaciones y los casos de estudio en

la red automatizada de CENICAÑA. Para los datos meteorológicos

de la zona céntrica de la ciudad de Cali, se utilizó la estación del

Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA), ubicada en la Escuela República de Argentina en el centro urbano de la ciudad de Cali. La frecuencia de los registros fue de cada hora, ajustándose a la suministrada por las estaciones meteorológicas exteriores tanto de CENICAÑA como del DAGMA.

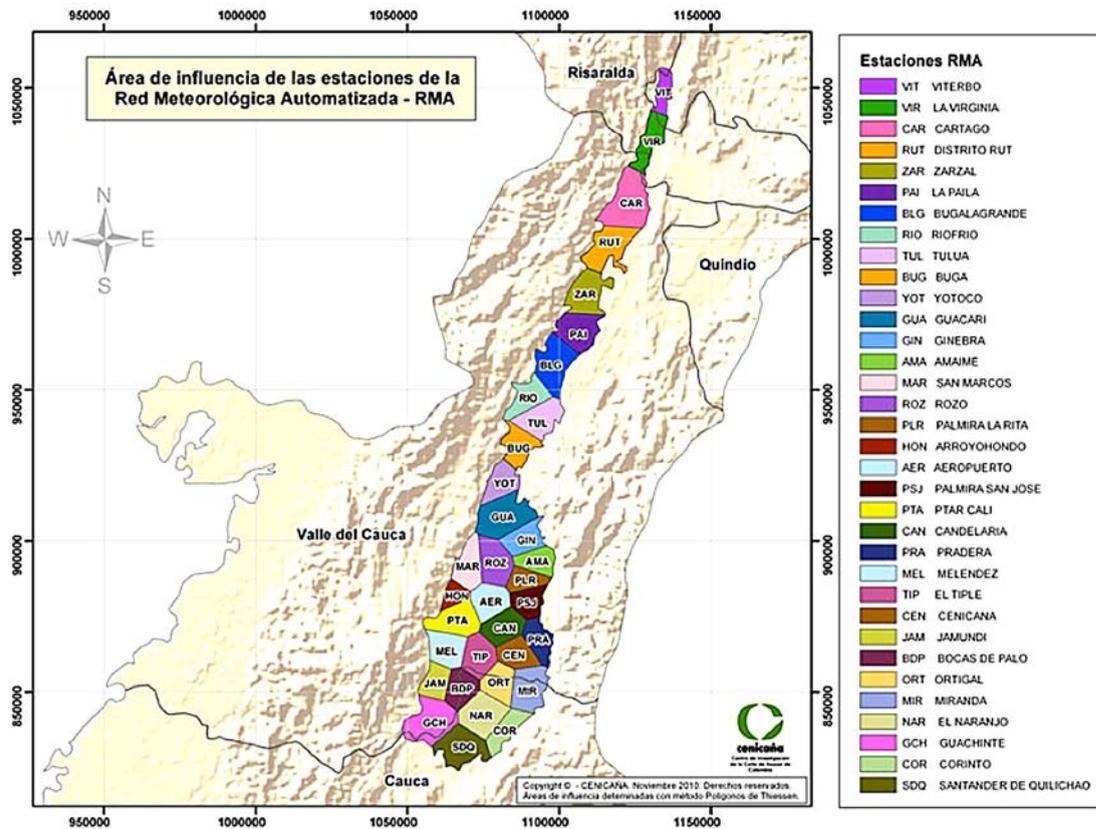


Figura 3.5 Mapa de la red meteorológica automatizada RMA. Fuente: http://www.cenicana.org/clima_/boletin_meteoro_diario.php.

3.4 Monitoreo lumínico

El uso y aprovechamiento de la iluminación natural puede significar una reducción en el consumo energético de las viviendas, más aún cuando la ubicación geográfica de la zona de estudio se encuentra en la zona ecuatorial en donde la cantidad de horas de luz es de 12/h/d en promedio, teniendo en cuenta que las mayores ganancias de temperatura se obtienen por la radiación solar.

El objetivo de este procedimiento consiste en medir la iluminancia

recibida sobre una superficie horizontal interior, para

caracterizar y evaluar las condiciones de luz natural de los espacios que están

afectados por el inventario de vanos.

3.4.1 Procedimiento y equipo

Se midieron los niveles de iluminación natural interior horizontal con las ventanas en el estado en que se encontró el espacio, sobre un plano de trabajo ubicado al interior, se utilizó un luxómetro Lutron LX-105 digital (ISO 9001-CE-IEC), con rango entre 0 y 20.000 lux (figura 3.6). El sensor se colocó centrado en el espacio o en línea perpendicular al centro del vano estudiado y a la altura del plano de trabajo acorde al tipo de actividad desarrollada en el sitio, estas alturas oscilaron entre 60 y 90 centímetros del nivel del piso.



Figura 3.6 Luxómetro Lutron LX-105

Se registraron en el formato de iluminación, la hora de medición, los elementos de protección existentes al interior y exterior que afecten la calidad de luz que entra al espacio y el registro obtenido del luxómetro, el cual se tomó tres veces

seguidas y se promedió el resultado. Este monitoreo se realizó en horas de la mañana entre las 8:00 y las 12:00 o en horas de la tarde entre las 14:00 y las 17:00 horas.

Las condiciones generales en la zona presentan en las mañanas cielos cubiertos, siendo esta la condición ideal al ser las más desfavorables para los valores de iluminación natural (González, et al., 2008), aunque no en todos los casos fue posible registrar datos en la mañana.

3.5 Resultados

El confort en los espacios puede variar por múltiples características relacionadas con la materialidad, orientación, protecciones exteriores, vegetación y una de las más importantes, por las características que tengan sus vanos y sus ventanas. A continuación se describen las características más importantes relacionadas con factores como temperatura, humedad relativa, características del espacio y luz natural de los casos estudiados. Todos los datos y registros relacionados con aspectos de tipo térmico por caso de estudio, se pueden consultar en el anexo 3. Se presentan a continuación el resumen de los resultados obtenidos de las lecturas e interpretación de los datos de tipo térmico, lumínico y espacial.

3

3.5.1 *Temperatura*

Los registros de temperatura evidencian la diversidad existente entre los casos de estudio y permite analizar los efectos de algunos gestos arquitectónicos como protecciones con aleros, la vegetación, la permeabilidad del vano, los componentes de éste, la orientación y la ubicación, ya sea en zona urbana o suburbana. Se describen a continuación algunas de las rasgos más destacados de las lecturas de tipo térmico.

Características propias de la arquitectura tradicional colonial de hacienda (caso A, La Teja), como el ancho de los muros entre 0.40 - 0.60 m y grandes aleros hasta de 4.60m, logran mantener interiormente estable la temperatura y la humedad relativa, sin variaciones importantes durante todo el día y la noche, desfavoreciendo la iluminación natural.

En las viviendas suburbanas del Valle del Cauca encontramos que los vanos que están permanentemente abiertos sin vidrios, con ventanas en forja de hierro o similares, la temperatura y la humedad relativa suben y bajan rápidamente acorde a las condiciones exteriores obteniendo rápidamente ganancias y pérdidas, ya que las condiciones externas e internas tienden a igualarse por la

permeabilidad de los vanos, como se observa en algunos casos (Caso E,F en Casa del Agua, Caso H en La Rebeca y caso L en el Hormiguero). Al contrario, las ventanas herméticas como el caso

O y P de Club del Campo, sin posibilidad de intercambio de aire permanente, tienen ganancias en las horas calurosas y en las horas frescas no logran tener pérdidas que refrigeren el espacio, manteniendo temperaturas altas durante todo el día y la noche, aún estando orientadas en sentido Norte o Sur. La humedad relativa que se registra en la vivienda El club del Campo es la más baja que en los demás casos, debido a la poca incidencia de los factores externos en el espacio por la hermeticidad de los vanos. Según los registros, en la noche y en la madrugada es necesario

controlar el grado de cerramiento del espacio durante unas 14 horas en promedio, debido a que las temperaturas bajan (22°C

y 16°C) y se registran por debajo de la zona de confort. En las viviendas suburbanas esto se da entre las 19:00 y las 9:00 horas y en las urbanas entre la 1:00 y las 11:00 horas. Cuando se puede controlar la apertura de los vanos en la noche, la temperatura interior no desciende de la zona de confort, según lo observado en los casos estudiados como; caso G en La Rebeca, Caso I, J en Los Cuchos y caso M, N en Cárpena – Escobar.

En los casos estudiados no se registran ganancias significativas ni en horas de la mañana, ni en la tarde aún en los vanos que están orientados al naciente (caso G en La Rebeca, caso N en Carpena- Escobar, caso O en Club del Campo), ni tampoco al poniente en casos K y M (El Hormiguero y Cárpena- Escobar). Los espacios con vanos orientados al Oeste tenían características como grandes aperturas permeables durante las 24 horas, vegetación frondosa frente al vano o alturas de entrepiso generosas, que mantuvieron dentro de la zona de confort la temperatura del espacio durante las horas críticas (14:00 horas en viviendas urbanas y 16:00 horas en viviendas suburbanas).

3.5.2 Movimientos de aire

Vanos orientados hacia las cuatro direcciones N, S, E y O en el mismo espacio y permeables, igualan las temperaturas del interior y exterior, no siendo posible controlar los agentes climáticos como temperatura y humedad, pero sí tuvieron registro de movimientos de aire por encima de los 0,4m/s en diversas horas del día como se observó en el pasillo de la vivienda El Hormiguero (caso L). En el trópico las personas pueden obtener confort con velocidades de viento al interior de los espacios mayores a 0,3 m/s (Mallick, 1996) y 0,4m/s (Chen, et al., 2001), ya que en este clima el efecto de altas velocidades del viento para refrigerar el cuerpo es inmediato (Feriadi, et al., 2004).

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Orientaciones dobles dentro del mismo espacio hacia el
Este y
Oeste con aleros en ambas direcciones y protección de
vegetación

no registraron altas temperaturas (caso K en El Hormiguero, caso M en Cárpena- Escobar), mientras que espacios con doble orientación Norte-Sur, herméticos sin vegetación y sin aleros, evidenciaron ganancias considerables y pocas pérdidas en las horas de la noche y la madrugada (Caso P en Club del Campo).

3.5.3 Humedad relativa

Con respecto a la Humedad Relativa, se observó en los casos que cuando hay mucha vegetación y sombra cerca al espacio, la HR

interior es más alta que en el exterior (caso B en El Níspero y caso

H en La Rebeca). Las variaciones de HR en el interior son menores cuanto más cerrado y hermético sea el espacio, aunque esto desfavorece las pérdidas de calor si los vanos son de gran tamaño y poseen ventanas de vidrio. En ventanas muy permeables la HR tiene variaciones entre el interior y exterior hasta de 30 puntos porcentuales en promedio, la HR promedio está casi siempre igual o más alta a la exterior. Cuando hay aperturas parciales operables se controla la humedad al interior y la temperatura. La HR promedio registrada en 24 horas en el interior de todos los casos que tuvieron menor registro interior que exterior estuvo en 79,14 %.

3.5.4 Iluminancia

La iluminación natural dentro de los espacios depende directamente de las proporciones del mismo, del tamaño, la ubicación y tipo de vano por donde penetra la luz solar. Las proporciones del espacio tienen particular importancia para el ingreso de la luz natural y está condicionado por la altura de entepiso, la profundidad del espacio y el tamaño y ubicación del vano.

En los registros realizados según protocolo descrito, las viviendas La Teja Caso A, El Níspero Caso B y C, La Queja caso D y Casa del Agua caso E y F, presentaron niveles de iluminancia por debajo del estándar de la norma UNE EN 12464-1 de 2003 en todos los espacios (tabla 3.1), mientras que el resto de las viviendas presentaron niveles por encima del estándar.

Los registros variados de iluminación dentro de cada espacio

estudiado, reflejan las características arquitectónicas de cada caso, en A La Teja, los registros son bajos debido a que el espacio se encuentra en el centro del volumen con un alero y corredor antes del vano, que hacen difícil la entrada de la luz durante las horas del día, haciendo necesario el uso de iluminación artificial para las actividades propias del espacio. En caso B y C El Níspero

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

la orientación Norte de los vanos evita la radiación directa del sol y la entrada de luz se ve obstruida por la vegetación circundante y los elementos de protección adicional al interior del espacio como persianas, aunque el vano es corrido de toda la longitud de la envolvente y de piso a techo en ambos pisos, se registraron bajos niveles de iluminación. Espacios orientados al sur también registran bajos niveles de luz natural, como en el caso A La Teja y caso E de La Casa del Agua por la utilización de protecciones interiores como cortinas y la distancia de los vanos de la envolvente al exterior respectivamente.



Tabla 3.1 Registros de iluminancia de los casos de estudio

REGISTROS DE ILUMINANCIA					
Caso	Horario	Iluminancia (lx)	Distancia (m)	Área (m²)	Condición
Proyecto 1 - Vivienda Urbana Entre Medianera					
Estudio	15:57	54	300		N
Caso 2 - Vivienda Urbana Entre Medianera					
Acaba	11:45	17	150		S
Caso 3 - Vivienda Sub Urbana					
Acaba	11:15	11	300		S
Estudio	11:17	34	300		E-O
Acaba	10:44	225	150		E
La Rebeca - Vivienda Sub Urbana					
Piso 0	10:50	205	100		E
Piso 1	11:11	482	100		N
Los Cuchos - Vivienda Sub Urbana					
Piso 0	11:14	1078	300		S
Saón	14:00	608	300		O
Formiguero - Vivienda Sub Urbana					
Piso 0	14:05	750	100		N-E
Saón	11:18	765	300		O
Casa Cárpena - Vivienda Sub Urbana					
Acaba	11:25	951	150		E
Campo - Proyecto Comercial					
Estudio	10:20	955	300		N

3.6 Encuestas de post-ocupación

Las investigaciones acerca del confort se han practicado desde hace mucho tiempo en cámaras climáticas controladas y en un ambiente artificial diferente a las condiciones reales que afectan la percepción real del usuario, la tendencia actual está orientada hacia la medición de aspectos tanto objetivos como subjetivos del confort. En esta investigación se practicaron encuestas a los moradores en su sitio de habitación para que la calidad del ambiente percibido pudiera ser evaluada de manera objetiva.

3.6.1 Estructura

Mediante la utilización de cuestionarios de post-ocupación se hizo una correlación entre aspectos relacionados con la percepción de la persona (subjetivo), el ambiente físico (objetivo) en la vivienda suburbana del trópico y los vanos. A partir de encuestas realizadas a los usuarios de las viviendas, se analizó la información obtenida con el propósito de adquirir datos reales de confort psicológico y cómo los aspectos físicos medibles impactan los ocupantes.

El proceso de elaboración de las encuestas inició con la búsqueda de cuestionarios de post ocupación más utilizados y aceptados por la comunidad científica como los de ASHRAE 55-2004, HEFCE (Higher Education Funding Council for England) y EN 15251-2007. La necesidad de recopilar información relevante para esta investigación, implicó la personalización de las encuestas consultadas en las fuentes mencionadas, ya que los modelos existentes responden a necesidades particulares de proyectos o climas diversos en donde la reacción de las personas frente a los aspectos físicos puede variar notablemente. A continuación se describen algunas características de los tres tipos de encuestas practicadas.

La primera encuesta basada y adaptada de la guía de post ocupación de HEFCE (2006) se enfocó en cinco aspectos del desempeño del ambiente interior de la vivienda (1) seguridad, (2) Calidad del aire, (3) temperatura, (4) Luz natural y (5) conexión con el exterior (Anexo 4). La segunda encuesta de satisfacción del espacio interior, permitió obtener información acerca de la percepción térmica de un espacio en particular y el vano que lo afecta, aspectos relacionados con la posibilidad de operar los vanos, horas y fuentes de des confort (Anexo 5). La última encuesta o encuesta general de satisfacción (Anexo 6), enfocada a obtener información acerca de las horas y

frecuencia de utilización de ventilación mecánica y luz artificial, además de aspectos como

la calidad del aire y la temperatura (Mercado V. et al., 2008).

En las preguntas de satisfacción general se usó una escala de valor de (siete) 7 puntos iniciando con; (1) poco significativo, (3) punto neutro, (7) muy significativo, como se ha utilizado en diferentes experimentos (Brager, et al., 2008) (Hanna, 1997) (Zagreus, 2004) (ASHRAE 55, 2004). En el cuestionario de satisfacción del espacio interior, se utilizó la metodología para evaluación subjetiva de la norma EN 15251:2007.

3.6.2 Aplicación de las encuestas

Se realizaron tres encuestas durante diferentes meses, el intervalo y la fecha de aplicación no es relevante debido a que la ausencia de estaciones en la zona de estudio no afectaría la percepción del usuario. Las encuestas fueron dejadas y recogidas en las viviendas personalmente para darle a los moradores la libertad de responder en el momento que pudieran, no fue posible encuestarlos en un horario predeterminado, debido a la diferencia de horarios y la alta movilidad de sus ocupantes. Responder cada encuesta tomaría cerca de 10 minutos debido a que las preguntas realizadas fueron de selección múltiple, en total se practicaron los tres tipos de encuestas a mínimo dos ocupantes adultos de cada vivienda obteniendo un total de 49 encuestas diligenciadas equivalente al 96% del total de encuestas repartidas. Aunque los resultados no son estadísticamente significativos por el tamaño de la muestra, las correlaciones y comparaciones arrojan datos que pueden ser importantes para futuras exploraciones en la vivienda tropical.

La primera encuesta pretendió evidenciar aspectos psicológicos relevantes con respecto a la totalidad de la vivienda, para determinar con mayor facilidad puntos en los que se pudiera profundizar más adelante. De acuerdo con los resultados iniciales los espacios con mayor demanda de los moradores fueron habitaciones, zonas sociales o estudios, debido a que la mayoría solo permanecía en su casa en horas de la noche, por consiguiente los vanos elegidos para analizar se encuentran casi en su totalidad en estas áreas.

El segundo cuestionario evaluó el desempeño de los vanos una vez realizado el inventario preliminar, para cada vivienda se escogieron dos vanos que por sus características fueran representativos, logrando así un total de 16 casos de estudio en 9 viviendas, a excepción de dos viviendas donde los vanos eran iguales en todos los espacios (viviendas La Teja y La

Queja). Se complementó ésta con preguntas acerca de las preferencias y características geométricas de los vanos, como, posición, tamaño, orientación, forma, control y tipo de vista o paisaje. La segunda y



3.6.3 Resultados de las encuestas

La totalidad de las encuestas fue realizada a mayores de edad con un porcentaje de 50% hombres y 50% mujeres en la primera encuesta y 35,7% hombres y 64,3% mujeres en la segunda encuesta. El carácter de las encuestas tabuladas y graficadas en este apartado corresponden a aspectos generales de cada una de

las viviendas seleccionadas y no particulares de cada espacio y su vano, los aspectos evaluados son de tipo psicológico.

Confort térmico

Los resultados de la evaluación subjetiva acerca de la temperatura en general en las viviendas sin discriminar los espacios, indican que no hay ningún efecto negativo significativo de ésta en las actividades que realizan los ocupantes al interior. En la figura 3.7 se observa que la satisfacción de la sensación térmica es aceptable en casi todos los casos con una calificación neutra y más baja en el Club del Campo.

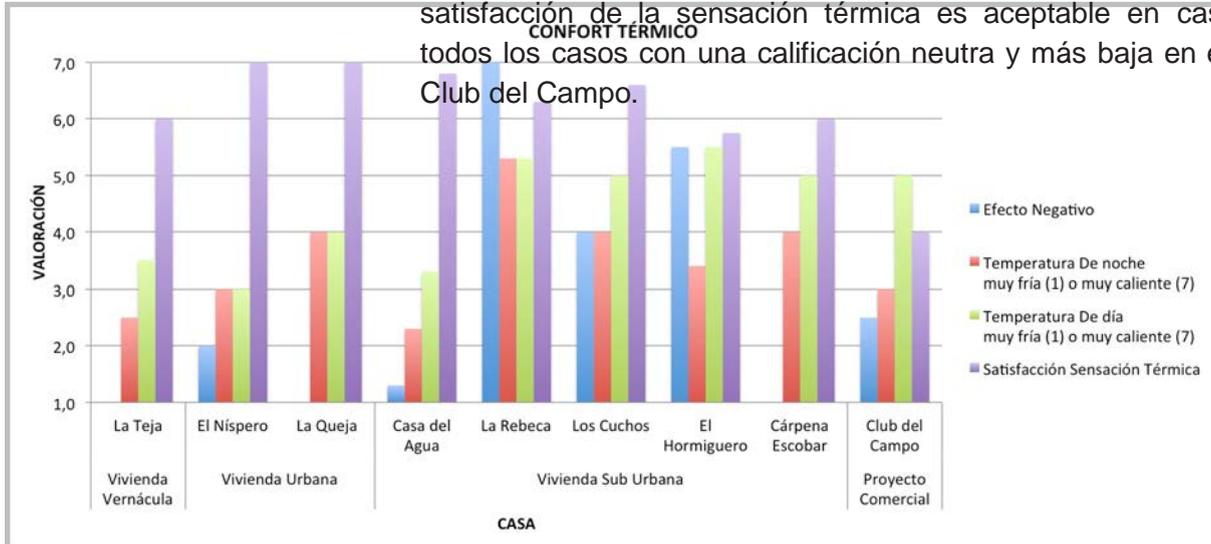


Figura 3.7 Resultados de las encuestas sobre el confort térmico en las viviendas.

Calidad del aire

Las respuestas subjetivas acerca de la calidad del aire se

orientación, forma, control y tipo de vista o paisaje. La segunda y

refieren a ventilación, sensación de frescura, humedad y olor. Con respecto a la ventilación hay percepción de movimientos de aire en 6 de las



viviendas y control de la ventilación no es posible en dos de ellas como Club del Campo y Casa del Agua (figura 3.8).

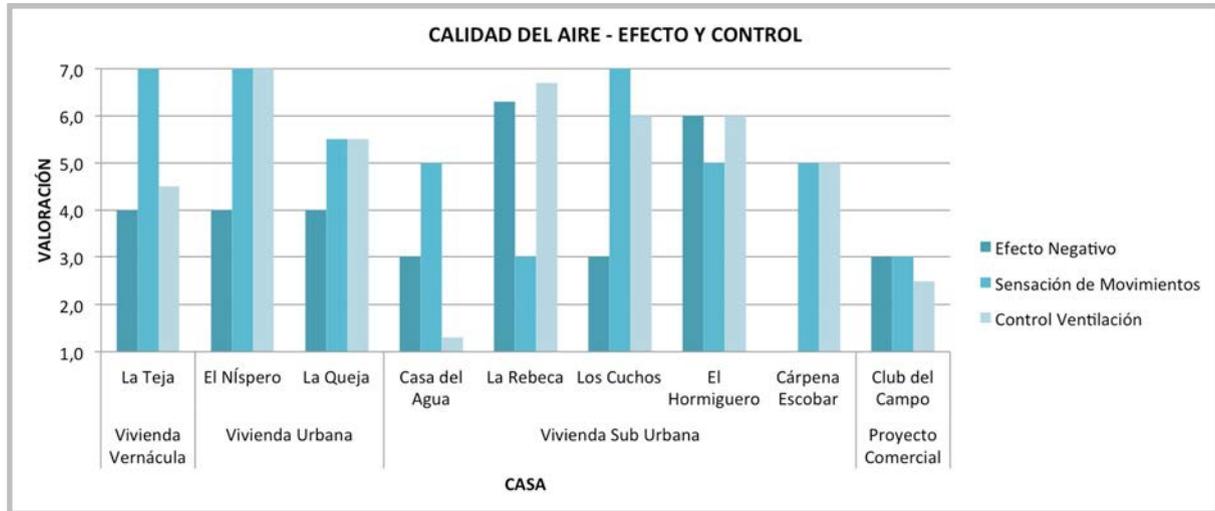


Figura 3.8 Resultados de las encuestas sobre la calidad del aire en las viviendas.

En las viviendas sub urbanas (Casa del agua, La Rebeca, Los Cuchos, Carpena Escobar, El Hormiguero) los moradores percibieron algo de olor en el aire lo cual es indicio de exceso de humedad en el interior. Respecto a la frescura del aire la calificación más baja la obtuvo el Club del Campo, se observa que la mayoría de los casos dan calificación alta a este aspecto (figura 3.9).

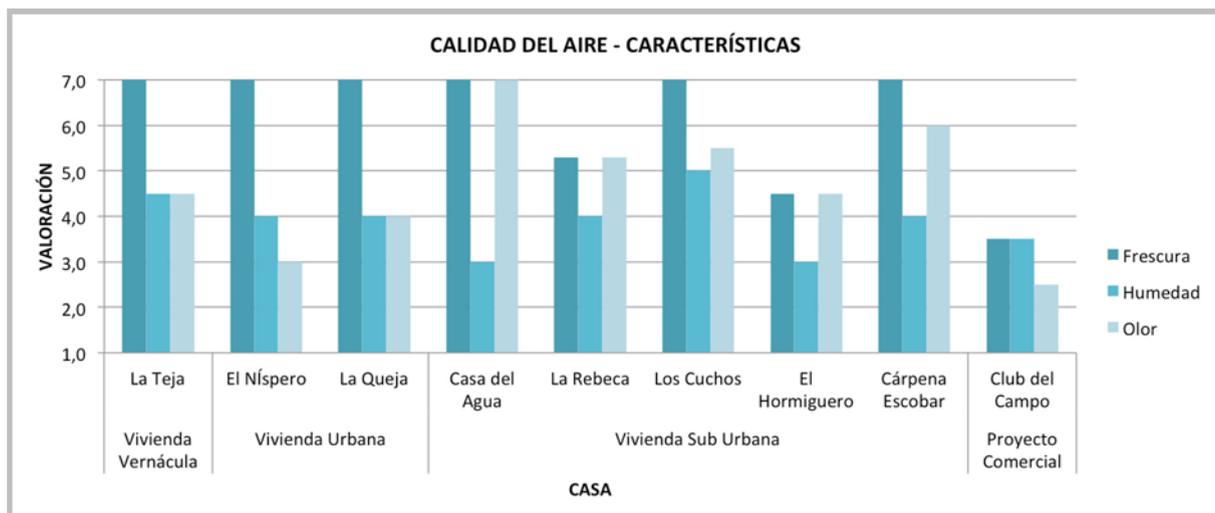


Figura 3.9 Resultados de las encuestas sobre las características del aire en las viviendas.

Confort lumínico

Este aspecto valora la cantidad de luz natural que perciben las personas en general en las viviendas y posible efecto de deslumbramiento de la luz natural dentro de los espacios. Las valoraciones más bajas fueron dadas por los habitantes de Casa del Agua, La Rebeca y La Teja. Las demás valoraciones se encontraron en niveles de satisfacción muy altos. Deslumbramiento provocado por la luz natural fue percibido en niveles bajos y poco significativos en El Hormiguero y Club del Campo (figura 3.10)

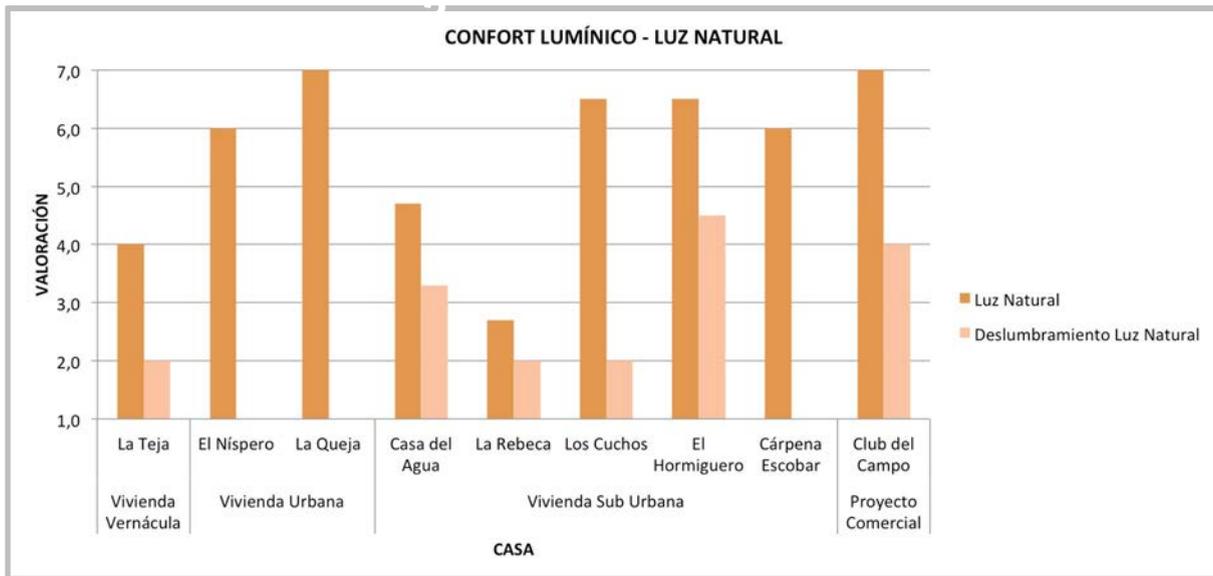


Figura 3.10 Resultados de las encuestas sobre el confort lumínico en las viviendas

Preferencias de las ventanas

Una vez realizadas las encuestas generales de las viviendas se practicó una encuesta acerca de las preferencias que tenían las personas de sus ventanas referentes a aspectos formales, como tamaño, ubicación y tipos de vistas. Las personas manifestaron en un 42% preferencia de ventanas altas y más altas que anchas. Lo cual indica que prefieren las ventanas tipo piso-techo o puertas ventanas para lograr mayor vinculación y relación del exterior con el interior (figura 3.9).

3



Figura 3.11 Resultados de las encuestas sobre las preferencias de las ventanas.

Otras de las características más apetecidas por los moradores fueron la ubicación centrada en el espacio, las ventanas sin vidrio (tipo calados o celosías), que sean operables y que tengan divisiones (figura 3.12). Por otro lado manifestaron preferencia por las vistas con contenido de naturaleza y vista lejana de objetos (figura 3.13).

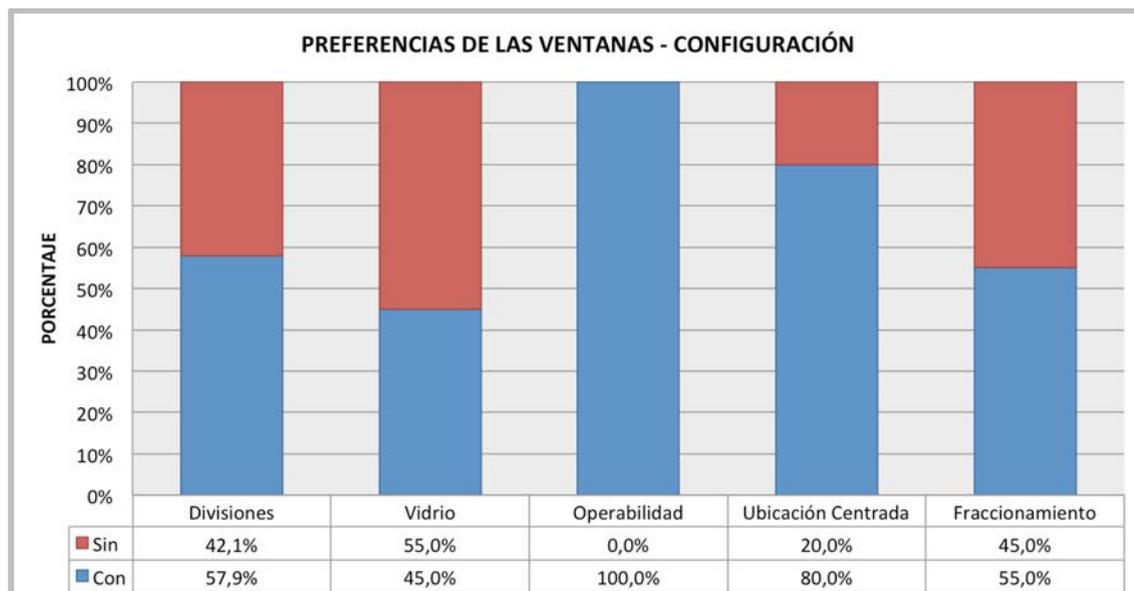


Figura 3.12 Resultados de las encuestas sobre preferencias en la configuración de las ventanas.

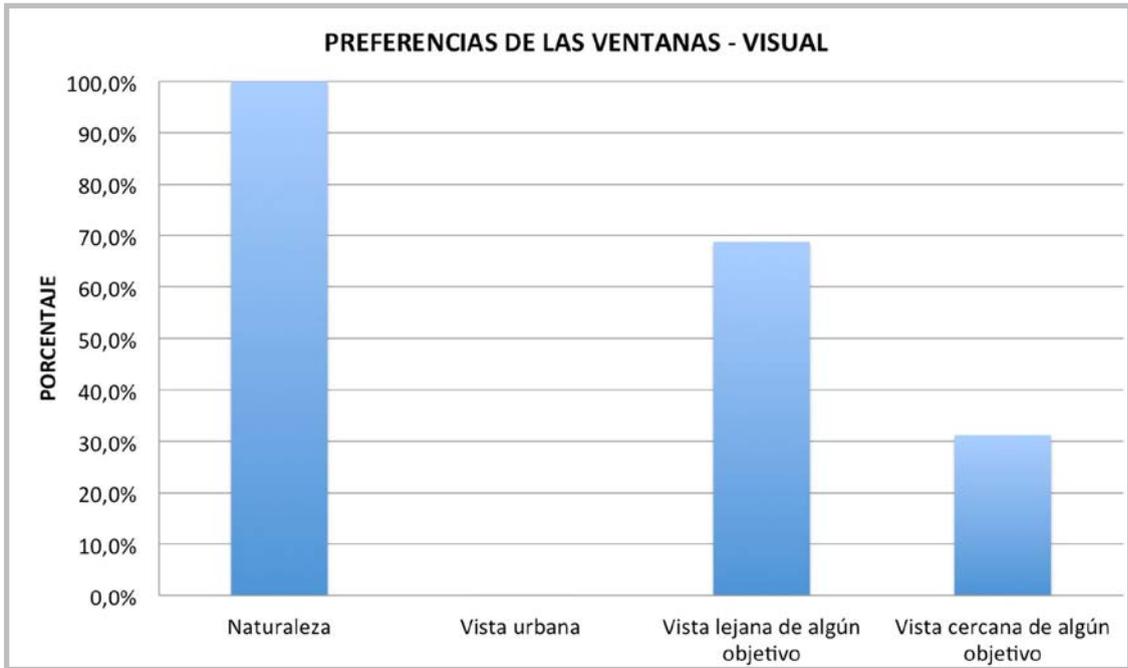


Figura 3.13 Resultados de las encuestas sobre la preferencia en el contenido visual de las ventanas.

Uso de sistemas mecánicos de refrigeración

Se registró una gran cantidad de equipos mecánicos de ventilación en las viviendas ubicadas en las zonas sub urbanas, en su mayoría ventiladores y aires acondicionados solamente en zonas de habitaciones (figura 3.14). Los ventiladores operados en horas diurnas y los aires acondicionados en las nocturnas.

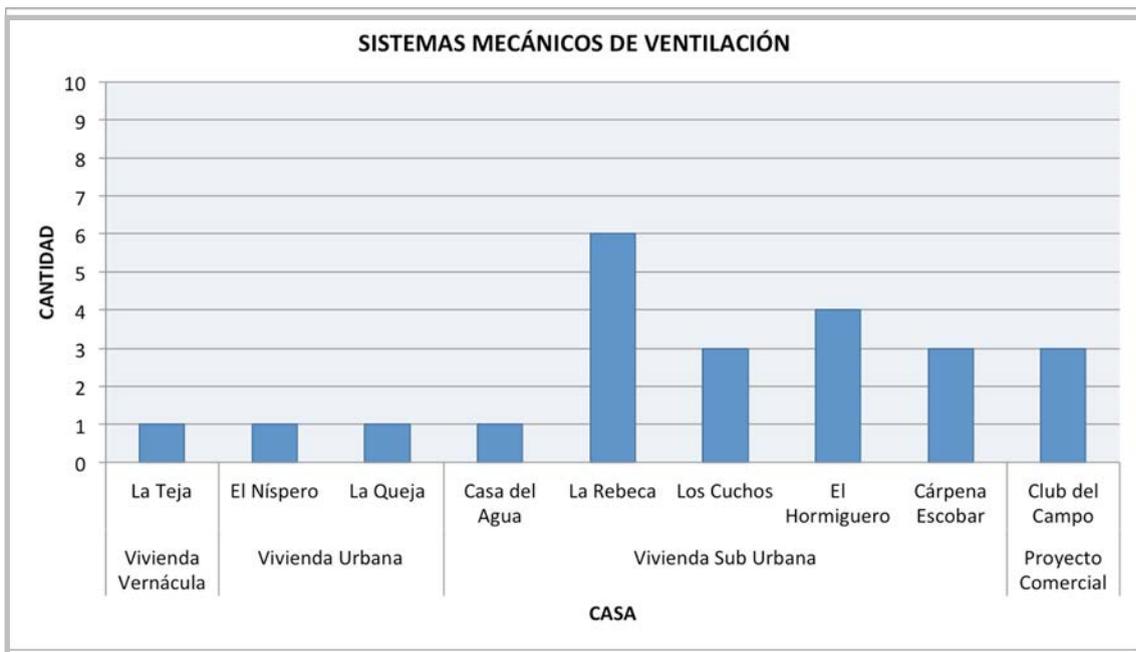


Figura 3.14 Resultados de las encuestas sobre el uso de sistemas mecánicos de ventilación en las viviendas.

Conexión con el exterior

En el cuestionario de post-ocupación se preguntó si la persona sentía algún tipo de efecto negativo con respecto a la apertura de las ventanas y en el caso de La Rebeca y El Hormiguero, manifestaron alto grado de des confort, mientras que todos los casos manifiestan algo grado de confort con respecto al efecto restaurador que pudiera tener el contenido visual de sus ventanas (figura 3.15).

3

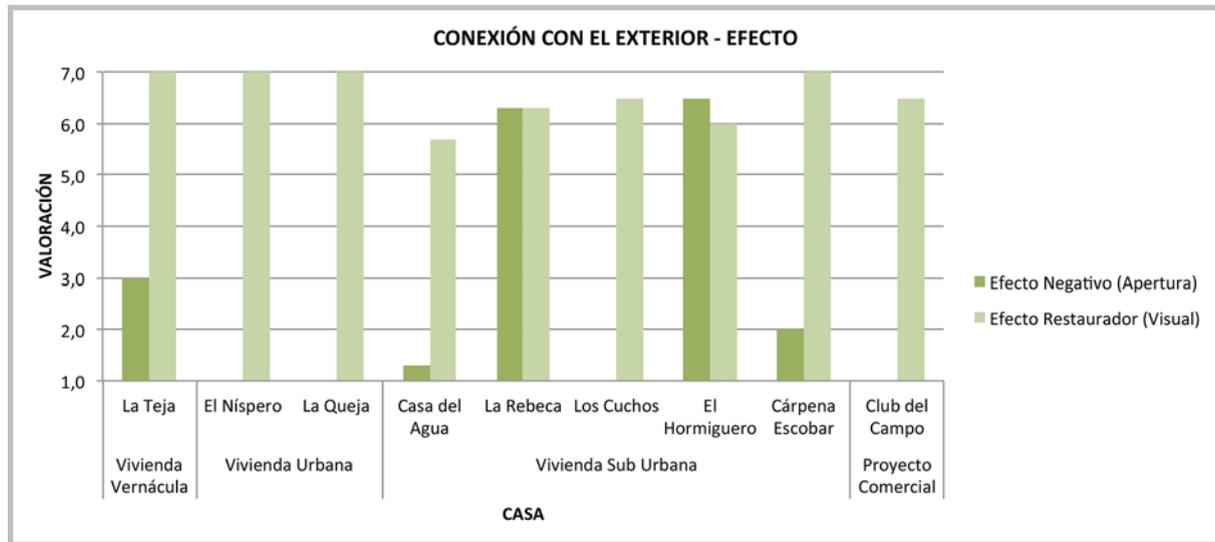


Figura 3.15 Resultados de las encuestas sobre el efecto psicológico del grado de apertura de las ventanas y efecto restaurador de éstas.

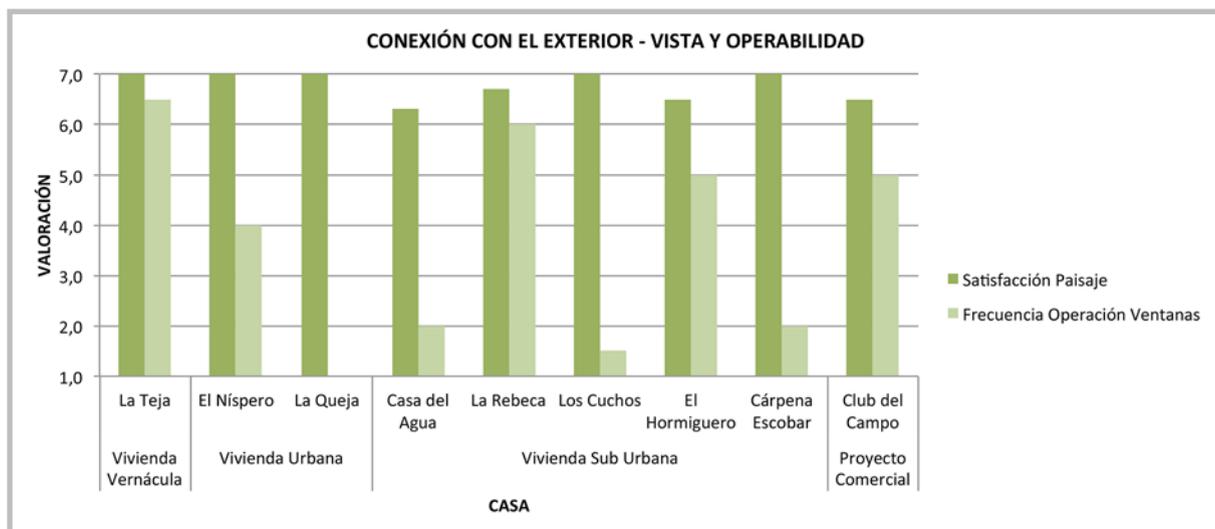


Figura 3.16 Resultados de las encuestas sobre el efecto psicológico de satisfacción de las vistas ofrecidas por las ventanas y la frecuencia de operación de éstas.

La operación de ventanas es frecuente en cuatro casos, debido al exceso de humedad o de calor al interior de la vivienda, en la figura

3.16, se observa que no hay apertura de ventanas en gran parte debido a que las personas no permanecen en la casa durante las horas del día.

Las conclusiones más importantes acerca de la valoración subjetiva son las siguientes; el 94% de los encuestados no cambiaría la orientación de su vivienda, el 40% valoran la sensación térmica

de su vivienda como neutra y un 20% como ligeramente cálida, el

100% percibe la temperatura de su vivienda en un nivel aceptable

y claramente aceptable, el 63% no haría cambios en la temperatura de su casa y el 36.8% la quisieran más baja, en cuanto a la luz natural, el 45% cree que su casa no es ni oscura ni clara.

3.7 Relaciones geométricas de los casos

En el diseño arquitectónico existen dimensiones diversas tanto espaciales (x,y,z) como la percepción (color, acústica, luminosidad, confort) y la geometría, esta última incide en la definición del espacio de manera primordial y particular en cada arquitecto y época, en el caso de esta investigación nos aporta medidas, ubicación y proporciones precisas para entender la configuración de los vanos en la envolvente con respecto a la planta del espacio que afectan. La geometría tiene impacto en el confort de personas no solo a nivel interior sino a nivel urbano en donde lograr un ambiente confortable es indispensable en el trazado de las ciudades.

El diseño de una vivienda busca en la geometría conseguir las formas ideales de los elementos que la componen para cumplir funciones diversas, esta no solamente genera formas, sino que interactúa con consideraciones de confort, ergonómicas y perceptivas del habitante del espacio construido, convirtiéndose en un elemento importante durante el proceso creativo del arquitecto.

3

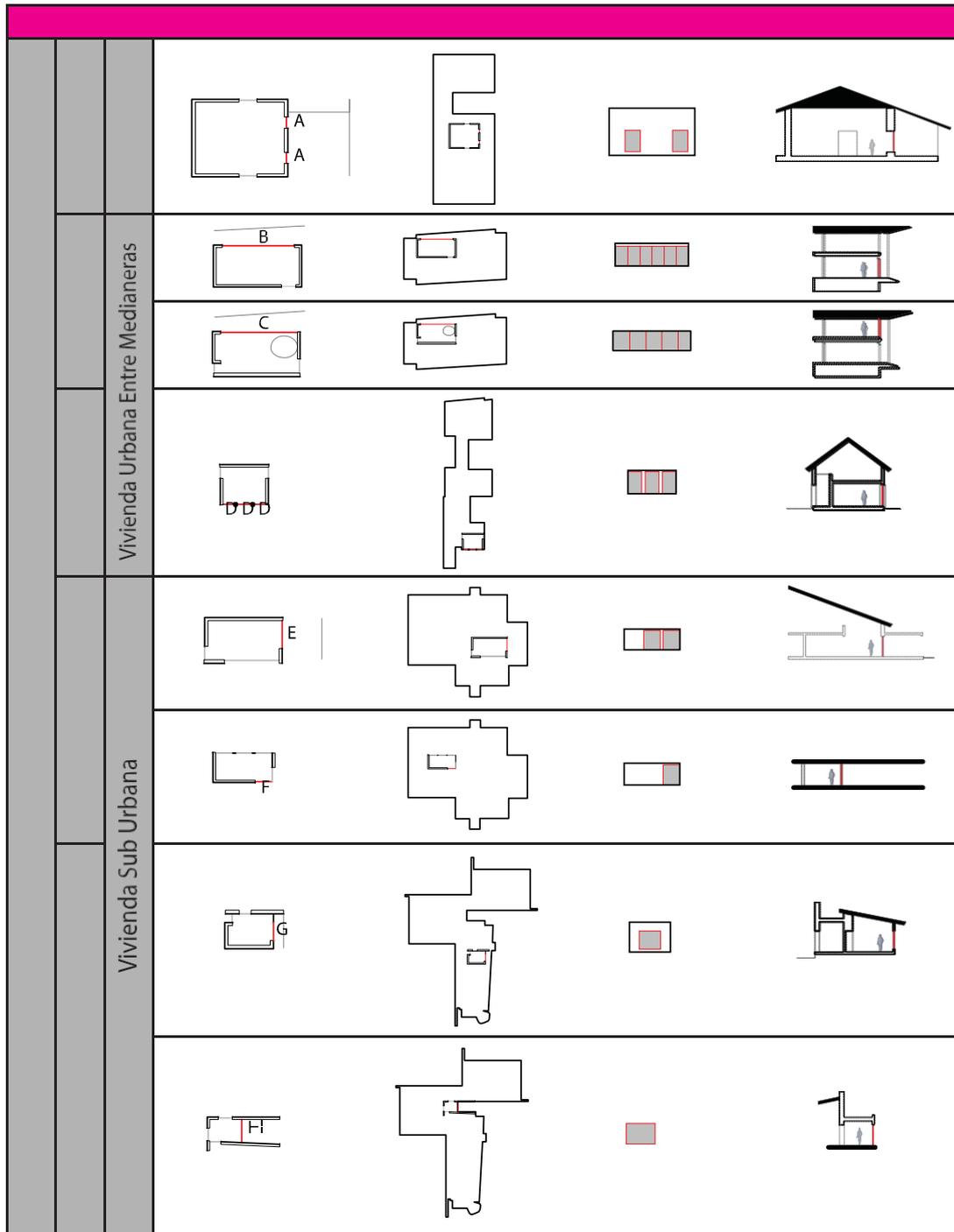


Figura 3.17 Relación geométrica de los espacios afectados por los vanos.(A-H)

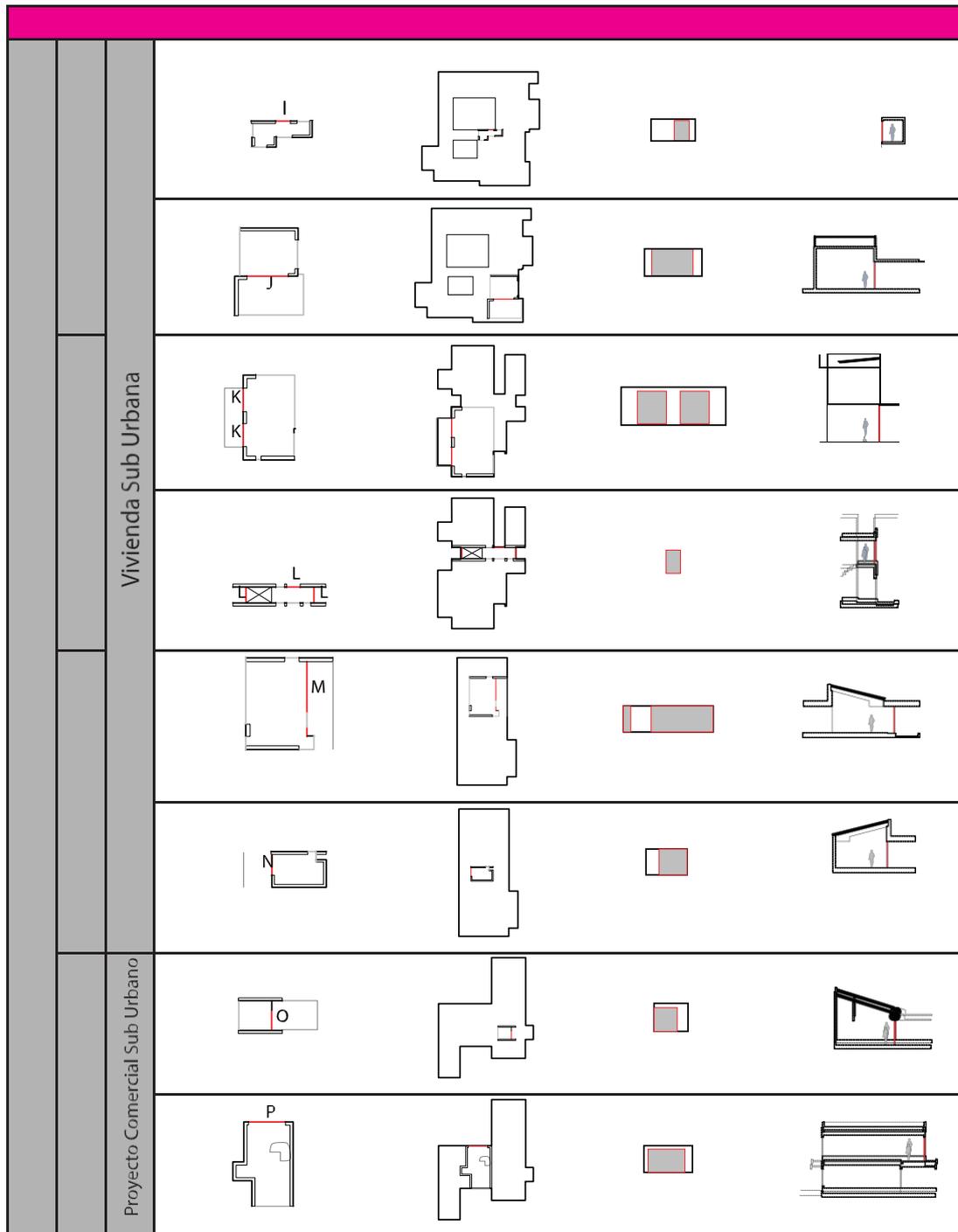


Figura 3.18 Relación geométrica de los espacios afectados por los vanos. (I-P)

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Se presentan en la figura 3.17 y 3.18, las características geométricas de los casos de manera gráfica, buscando simplificar la gran variedad de recursos de diseño utilizados por cada diseñador, se han aislado del resto de la vivienda las plantas y fachadas de cada espacio, de manera que se pueda entender mejor el recurso geométrico utilizado como; la orientación geográfica, vanos complementarios que no hacen parte de la envolvente, posición dentro del edificio, modularidad y proporción de los vanos representados en una planta del espacio, una fachada y un corte perpendicular de la envolvente que contiene los vanos a estudiar.

Tabla 3.2 Cuadro resumen de orientación, ubicación en plano horizontal, plano vertical y tipo de protección.

VANO	VIVIENDA		ORIENTACIÓN	UBICACIÓN EN PLANTA	UBICACIÓN EN FACHADA	PROTECCIÓN	OPERABLE	
A	La Teja	Vivienda Vernácula	E	Central int.	Lat. Simétrica	Correaabr	Si, 4	
B	El Nispero	Vivienda Urbana	N	Lateral	Central	Aler-Veget	Si,	
C			N	Lateral	Central	Aler-Veget	Si, naves	
D			La Queja	S	Esquina	Central	No	Si, 2 naves
E	Casa del Agua		S	Lateral	Lateral	Alero	Si, 2 naves	
F			E-O	Central	Lateral	Alero	No	
G	La Rebeca	Vivienda Sub Urbana	E	Central	Central	Alero	Si, 3 naves	
H			E	Central	Central	Vegetación	No	
I	Los Cuchos		N	Central	Lateral	Vegetación	Si, 1	
J			S	Lateral	Central	Alero	Si, 2 naves	
K	El Hormiguero		O	Lateral	Lat. Simétrica	Alero	Si, 4 nave	
L			N-E-O	Central	Central	No	No	
M	Cárpena-Escobar		O	Central	Central	Aler-Veget	No naves	
N			E	Central	Central	Alero	Si, 1	
O	Club del Campo		Proyecto Comercial	E	Central	Lateral	Alero	Si, 1
P				N	Central	Central	No	Si, 2 naves

nave

Tabla 3.3 Cuadro resumen de relaciones geométricas de los casos expresadas en áreas, porcentajes y longitudes.

VANO	VIVIENDA	AREA PLANTA (M2)	AREA ENVOLVENTE (M2)	AREA VANOS (M2)	RELACION VANO/PLANTA (%)	RELACION VANO/ ENVOLVENTE (%)	ALTURA ESPACIO (M)	PORCENTAJE DE APERTURA PERMANENTE (%)	AREA DE APERTURA PERMANENTE (M2)	DIMENSION ALERO (M)
A	La Teja	66,13	36,76	2,82	8,52	7,67	5,20	100,00	2,82	4,60
B	El Nispero	30,76	14,97	12,90	42,00	86,17	2,15	0,00	0,00	2,64
C		30,55	14,14	14,14	46,00	100,00	2,15	0,00	0,00	2,64
D		La Queja	15,56	10,49	9,60	61,00	91,52	2,50	0,00	0,00
E	Casa del Agua	36,00	11,04	9,24	25,66	83,70	3,41	100,00	9,24	3,30
F		4,21	6,16	3,08	73,16	50,00	2,40	100,00	3,08	6,70
G	La Rebeca	11,74	10,32	3,23	28,00	31,30	3,50	26,00	0,84	1,00
H		6,64	5,10	5,10	77,00	100,00	2,50	100,00	5,10	0,00
I	Los Cuchos	7,45	8,25	3,28	44,00	39,76	2,73	0,00	0,00	0,00
J		22,98	13,26	9,61	41,00	72,47	3,97	18,21	1,75	4,10
K	El Hormiguero	36,31	34,07	15,84	43,00	46,49	3,40	31,81	5,04	1,67
L		5,10	6,48	6,48	127,00	100,00	2,40	100,00	6,48	0,00
M	Cárpena-Escobar	46,50	20,31	20,28	44,00	99,85	3,62	77,00	15,67	2,10
N		12,80	9,31	6,22	49,00	66,80	3,62	12,00	0,72	2,38
O	Club del Campo	8,36	8,10	4,73	57,00	58,40	3,94	0,00	0,00	3,00
P		15,66	10,81	7,31	47,00	67,62	2,63	11,00	0,00	0,00
	Promedio	22,30	13,72	8,37	50,83	68,86	3,13	42,25	3,17	2,18

La relación entre el área del vano y la del piso del espacio en 13 casos es superior al 42% (tabla 3.2), según Chen, et al., (2001), las aperturas deben ser el 40% del total del espacio para asegurar una velocidad del viento de por lo menos 0,4m/s al interior. La relación entre área de vano y área de fachada en 12 casos supera el 40%. Con respecto a la composición de la fachada que afecta el espacio, se observa en las figuras 3.15 y 3.16, y la tabla 3.3, una tendencia a ubicar el vano en posición central o simétrica con respecto al eje vertical de la fachada, 11 casos presentan esta característica, adicionalmente se observa un predominio del vacío sobre el lleno

en trece de los casos y un porcentaje de más del 40% en la relación del área del vano sobre el área de fachada.

En promedio el vano de todos los casos es un 50% del área del piso y un 68% del área de la fachada, los espacios tienen un promedio de 3.13 m de alto y los aleros de protección 2.18 m. Vanos operables son 12, de los cuales 10 casos presentan la posibilidad de tener aperturas permanentes que posibilitan la libre circulación del aire al interior aún cuando la vivienda no está siendo habitada. Se tiene como porcentaje de apertura permanente un 42% del área total del vano, equivalente a 3.17 m².

Conclusiones

S

Para la zona de estudio se ha demostrado con los registros de temperatura y humedad, que orientaciones menos favorables como Este y Oeste, no presentan ganancias considerables, si se combinan con elementos de protección de tipo arquitectónico o natural como la vegetación.

Los espacios con vanos que tienen un alto nivel de hermeticidad, presentan problemas de confort térmico porque impiden la circulación de aire y los moradores deben recurrir a equipos de aire acondicionado para mejorar los niveles de confort. Por otro lado, la apertura permanente de los vanos debe controlarse para evitar tener las mismas condiciones climáticas del exterior en el interior. La apertura permanente controlada y la operatividad de los vanos son requisitos indispensables en la arquitectura del clima cálido húmedo tropical, ya permite al usuario controlar los altos niveles de humedad y adicionalmente favorece el intercambio y renovación de aire. La orientación desfavorable de algunos casos, obedece a decisiones que tomó el arquitecto en la etapa inicial del proyecto para favorecer visuales o por la geometría del lote.

Con el objetivo de construir viviendas energéticamente sostenibles en el trópico, la utilización de la penumbra como estrategia arquitectónica para el manejo del clima, debe ser revaluada, debido a que logra espacios confortables pero aumenta el consumo energético por la necesidad utilizar iluminación artificial durante el día para cumplir con las exigencias de habitabilidad.

Se observan como características comunes en 16 casos, que todos los vanos son tipo piso-techo, con el objetivo de dominar el paisaje e integrar el interior con el exterior desde cualquier posición en que se encuentre el morador, ya sea sentado o de pie.

4 CAPÍTULO O

Análisis de datos y condiciones
para el diseño de vanos

Introducción

En este capítulo se relacionan los datos recopilados de los casos de estudio para identificar condiciones relevantes que se puedan generalizar, en particular, identificando propiedades formales de los vanos que promuevan una mejor calidad interior de los espacios de la vivienda tropical, se identificaron conceptos y variables promisorias y se establecieron prioridades. Considerando la diversidad y limitación de la muestra realizada, así como la extensa variedad de situaciones generales de la calidad interior, solamente se pueden sugerir algunas relaciones probables.

El análisis de datos se realizó en dos etapas, una exploratoria que permitió determinar algunas tendencias, identificar aspectos relevantes y relaciones potenciales entre algunas variables que involucraron un método más amplio y disperso que la segunda etapa o correlacional. Los resultados y conclusiones de la etapa exploratoria se obtuvieron mediante la observación de los casos, el análisis de los datos recopilados durante la etapa de mediciones y encuestas, para una posterior evaluación y correlación en la segunda etapa.

Una vez obtenidos los resultados se definen una serie de condiciones de diseño con el objetivo de ser implementadas durante la etapa inicial de concepción de una vivienda en el clima cálido húmedo tropical. Las condiciones de diseño se traducen en técnicas o recomendaciones de mitigación de las ganancias solares y se relacionan con uso de vegetación y elementos de protección en los vanos o cerca de ellos, orientación de los vanos, características del espacio y de la permeabilidad del elemento que tenga el vano, la aplicación de estas estrategias permitiría lograr un confort térmico y lumínico o al menos reducir el consumo energético de la vivienda. Estas condiciones son el resultado de análisis de relaciones geométricas de los casos destacados y sus relaciones, obtenidas a través de la observación durante las visitas y análisis comparativos.

4.1 Parámetros ambientales y factores personales

El confort de un espacio depende de la combinación de parámetros y factores de los usuarios (Serra, 1999) y es tan importante como el impacto de los edificios en el medio ambiente, porque incide en sus necesidades de energía para alcanzar confort necesario, y en la calidad de vida personal. Factores y parámetros han sido evaluados, calculados y cuantificados en este capítulo.

El confort también está ligado a la envolvente del espacio, ya que esta contribuye al control de los parámetros del ambiente físico. Los vanos son singularidades frecuentes de la envolvente,

que otorgan relaciones especiales con el ambiente externo y por tanto tienen un gran impacto en el rendimiento de un edificio, en esta investigación han sido aislados de otros elementos para su estudio.

En la figura 4.1 se encuentran los parámetros ambientales y factores personales que afectan el confort y que se relacionan directamente con los vanos y su función principal. Para esta investigación sobre vivienda tropical los parámetros ambientales tenidos en cuenta fueron los climáticos, espaciales y visuales, y factores personales de tipo fisiopsicológicos.

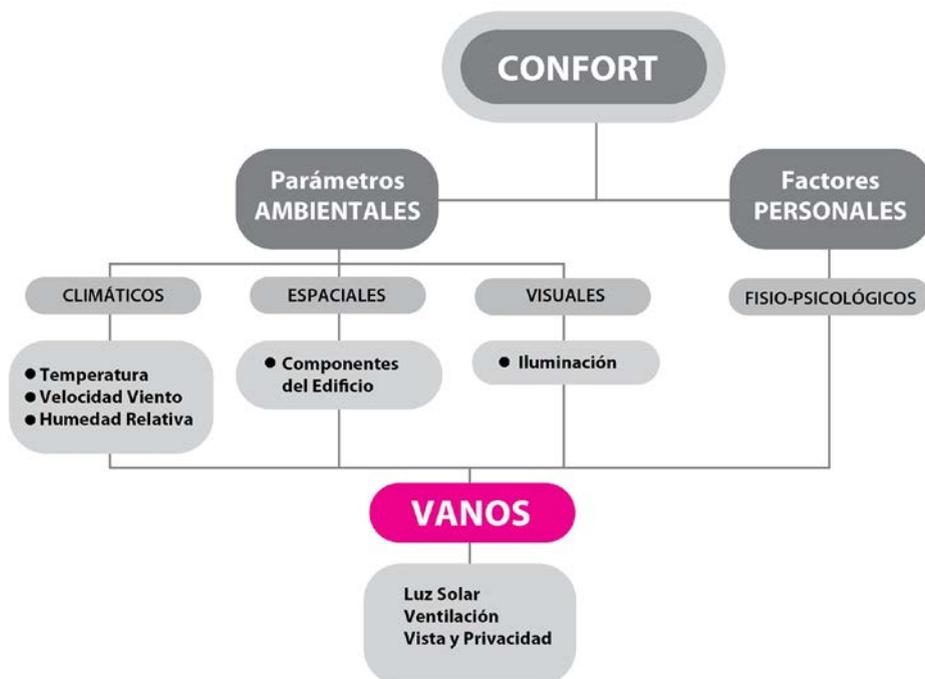


Figura 4.1 Parámetros y factores que afectan el confort en la vivienda.

El objetivo de esta primera etapa de exploración del problema de los vanos y el confort en el trópico, es familiarizarse con los aspectos que afectan la calidad interior de los espacios de la vivienda tropical para poder obtener información sobre el problema particular, identificar y establecer prioridades y sugerir algunas condiciones de diseño.

4.1.1 Parámetros de tipo climático

Se utilizaron los registros de las mediciones de temperatura, humedad relativa y ventilación de cada uno de los casos de estudio y se compararon con los estándares definidos anteriormente, para determinar en qué medida la lectura interior estuvo en el rango esperado de confort. Este procedimiento se hizo para la temperatura y la humedad relativa, no se pudo realizar para la ventilación por la ausencia de registros significativos en el interior de las viviendas.

4.1.2 Parámetros de tipo espacial

Estos parámetros tienen que ver con dimensiones tanto de los vanos como del espacio que afectan, la ubicación y orientación del mismo. Para cada caso de estudio se analizaron 14 aspectos como; áreas de vano, fachada y planta, dimensiones de aleros, alturas de entrepiso, orientación, tipo de protección y ubicación en planta, entre otros.

4.1.3 Parámetros de tipo visual

Se consideró la iluminación natural dentro de cada espacio cuyo valor se obtuvo del promedio de las tres mediciones de iluminancia hechas en el interior de los casos.

4.1.4 Factores personales

Algunos factores personales que pudieran afectar la percepción de confort, fueron obtenidos de los resultados de las encuestas de post-ocupación realizadas a los moradores de las viviendas con relación al espacio que afectaba cada vano, y también se consideraron las características del vano por las que las personas tenían preferencia, como tipo de vista, tamaño, ubicación y divisiones del mismo.

4.2 Evaluación de parámetros

El método de evaluación de parámetros ambientales de tipo climático, visual y espacial propuesto ha sido desarrollado para esta investigación, consiste en una comparación entre los estándares definidos, las lecturas y encuestas para otorgar una determinada calificación a cada caso, adicionalmente no se encontraron referencias de investigaciones que hicieran valoración de diversos parámetros de confort combinados con factores personales, con estándares tropicales. El sistema de evaluación más común utilizado en investigaciones de confort térmico, son las ecuaciones propuestas por Fanger (PMV y PPD) adoptadas por

ISO Standard 7730 y ASHRAE que no se aplicaron debido a que

esta investigación adopta metodologías de estándares de confort de tipo adaptativo.

4.2.1 Evaluación del confort térmico

Fue necesario evaluar el confort térmico de cada uno de los casos, con el objetivo de poder determinar la relevancia de cada uno con respecto a la muestra total. Todas las evaluaciones se hicieron utilizando una escala de 0 a 7, siendo 0 la más baja y 7 la más alta. Esta evaluación se aplicó por separado a los dos aspectos que pueden afectar directamente la percepción de confort térmico como son la temperatura y la humedad relativa, se expone a continuación como se realizó la evaluación para cada uno.

4.2.1.1 Temperatura

Se definió en el segundo capítulo que la zona de confort para la zona de estudio se encontraba entre 22.8 °C y 27.7°C. La calificación para el confort térmico se otorgó según la función que se describe a continuación.

Para cada hora del día se realizó una medición, la cual se calificó con 1 si la temperatura interior se encuentra dentro del rango de confort, adicionalmente si la temperatura exterior está en el rango y la temperatura interior se encuentra fuera de rango, en una hora particular del día, se asigna un valor de -1. El promedio de estos valores en 24 horas del día efectuado, genera una primera calificación (entre 0 y 7). Finalmente estos valores se transforman linealmente en una escala continua de 0 a 7, donde el 7 corresponde a una valoración inicial de 100% y el 0 corresponde a una

valoración inicial de 0%. Los resultados de esta evaluación de temperatura se encuentran en la figura 4.2. y obtuvieron aplicando la siguiente fórmula:

$$f_h(T_{int}, T_{ext}) = \begin{cases} 0, si 22.8 > T_{int} \text{ ó } 27.7 < T_{int} \\ 1, si 22.8 \leq T_{int} \leq 27.7 \\ -1, si (22.8 \leq T_{ext} \leq 27.7) \text{ y } (22.8 > T_{int} \text{ ó } 27.7 < T_{int}) \end{cases}$$

$$f_{avg}(f_h) = Avg(f_h(T_{int}, T_{ext}))$$

$$f(f_{avg}) = 7 \cdot f_{avg}$$

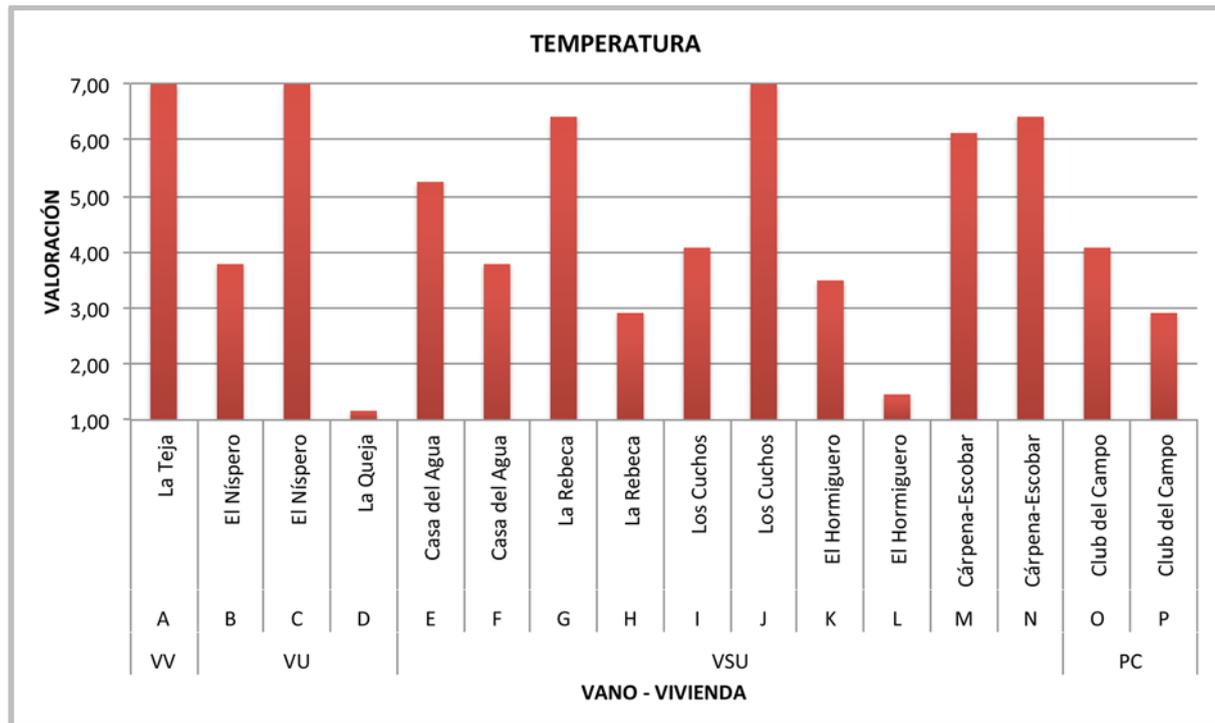


Figura 4. 2 Resultados de la valoración por casos de temperatura en escala de 1 a 7, relacionando temperatura interior y exterior. (vv vivienda vernácula, vu vivienda urbana, vsu vivienda sub urbana, pc proyecto comercial)

Las calificaciones más bajas en relación a las condiciones formales de los vanos y recintos se podrían aducir por:

- Alta permeabilidad del vano, (la cual se refiere a la ausencia de vidrio o madera en la ventana como elementos que bloquean la influencia del clima exterior), que presentan caso D en La Queja, caso H en La Rebeca, caso L en El hormiguero, caso F en Casa del agua y caso I en Los Cuchos, los cuales registraron temperaturas bajas en el interior, especialmente en la madrugada del día registrado por debajo de la zona de confort.

- Orientaciones Norte o Sur de los vanos con mucha vegetación frente al vano y viviendas entre medianeras (urbanas), presentaron registros por debajo de la zona de confort durante muchas horas (caso B en El Níspero). Contrario a esta situación, vanos orientados Este-Oeste con abundante vegetación dieron como resultado niveles de confort térmico altos (Caso M en Cárpena-Escobar).
- Orientaciones de los vanos en dos o más direcciones dentro del mismo espacio y con alta permeabilidad, no son apropiados debido a que la temperatura interior se iguala con la exterior en las horas de la madrugada (caso L en EL Hormiguero y caso F en Casa del Agua).

• Vanos que no ofrecen posibilidad de intercambio permanente de aire, debido a que su vano tiene una ventana de vidrio que cubre el 100% de su área, tuvieron registros de temperaturas interiores altas por encima de la zona de confort, de la temperatura de confort y de la temperatura exterior, siendo este el caso más crítico con respecto al confort térmico ya que implica el uso de sistemas de refrigeración para restaurar las condiciones interiores a niveles aceptables (caso P en Club del Campo).

En conclusión, no se evidencia una relación aparente entre la orientación del vano y la temperatura interior, esta parece estar más relacionada con las características del vano como la permeabilidad y la protección que tengan como aleros o vegetación.

4.2.1.2 Humedad Relativa

El estándar de humedad relativa definido para la zona de estudio se determinó entre el 50 y 80%. Las mediciones tanto interiores como exteriores de humedad relativa, se compararon con el rango establecido. La calificación para el confort térmico de acuerdo a la humedad relativa se otorgó según el siguiente procedimiento que incluye dos criterios, calculado para cada hora del día:

$$a = 1 \text{ si la } HR_{int} < HR_{ext}, 0 \text{ si } HR_{int} \geq HR_{ext}$$

$$b = 1 \text{ si la } HR_{int} < 80\% \text{ HR}, 0 \text{ si } HR_{int} \geq 80\% \text{ HR}$$

El criterio a tiene un peso de 2 y el criterio b un peso de 1. Para cada hora del día se calcula la siguiente fórmula: $f=2.a+1.b$, el resultado final es el promedio, el cual se normaliza dividiéndolo por 3:

$$f_{avg} = \left(\frac{\sum_{i=1}^{i=24} f}{24} \right) / 3$$

Finalmente estos valores se transforman linealmente en una escala continua de 0 a 7, siguiendo la siguiente transformación lineal:

$$f(f_{avg}) = 6 \cdot f_{avg} + 1$$

En relación con las condiciones formales las calificaciones más bajas del parámetro de humedad relativa, las presentaron los casos con alta permeabilidad del vano o exceso de sombra generada por elementos ajenos a la vivienda como la vegetación (Caso B en El Nispero, Caso D en la Queja, Caso F en Casa del Agua, caso H en La Rebeca, Caso I en Los Cuchos, Caso L en El hormiguero) y las valoraciones más altas, corresponden a los vanos con menor grado de permeabilidad y con los registros de temperaturas más altas como caso P en Club del Campo (figura 4.3). Los resultados de las valoraciones de temperatura y de humedad relativa son contrarios de manera más evidente en algunos casos, debido a que en esta zona a medida que aumenta la temperatura disminuye la humedad, esto explicaría por qué los casos que presentan temperaturas más altas y calificaciones más bajas, tienen calificaciones bajas en confort térmico y calificaciones altas en humedad relativa.

No se encontró ninguna relación aparente entre la orientación del vano y los resultados de humedad relativa, se sospecha que en la medida en que el vano sea más hermético sin importar su orientación, este impedirá que las condiciones de humedad del exterior afecten el espacio. Pareciera que otras características como la dimensión de los aleros, ausencia de ventilación cruzada y vegetación pudieran aumentar los niveles de humedad relativa al interior de la vivienda. No hay un aparente efecto de la humedad en la sensación de confort de las personas, en momentos en que la humedad relativa alcanza el 100%, ya que ningún encuestado manifestó sentir des confort.

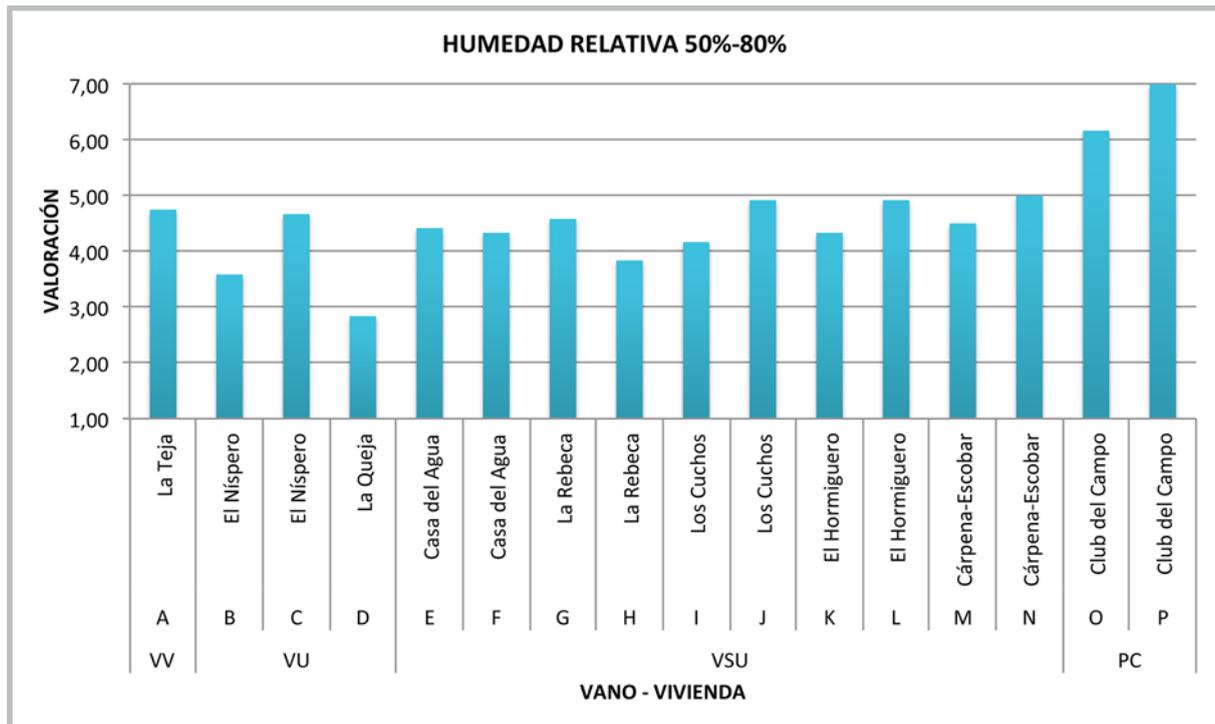


Figura 4. 3 Resultados de la valoración por casos de la humedad relativa en escala de 1 a 7, relacionado el registro interior y exterior. (vv vivienda vernácula, vu vivienda urbana, vsu vivienda sub urbana, pc proyecto comercial)

4.2.1.3 Velocidad del viento

En los países tropicales donde el aire está cargado de humedad, el confort no depende solo en mantener refrigerados los espacios, depende de los movimientos de aire que percibe el ocupante (Bastide, et al., 2006). En los datos obtenidos de los casos de estudio, no se registró ventilación por encima de los 0,4m/s, debido a que el anemómetro utilizado no registra movimientos inferiores a esa velocidad, algunos estudios indican que valores entre de 0,3 m/s (Mallic,1996) y 0,4 m/s (Chen, et al., 2001), son los que permiten restaurar el confort en climas tropicales húmedos, por consiguiente no hubo entre los casos velocidad de viento suficiente para ser evaluada y comparada con los registros de las estaciones meteorológicas exteriores. Se concluye con esta situación y con la observación in situ, que es necesario poder tener renovación de aire durante muchas horas al día para lograr aumentar el nivel de confort de los

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

espacios, ya que cuando la temperatura del aire es superior a la temperatura del cuerpo se

producen ganancias caloríficas convectivas (García & Fuentes, 1995). En algunos de los casos donde las ventanas estaban cerradas sin posibilidades de renovación de aire, los registros de temperatura y la experiencia de permanencia en el sitio durante la visita, demostraron que el nivel de confort se podría ver afectado, la calidad del aire percibida y la temperatura interior dieron sensación de des confort. A pesar de no haber tenido registros significativos con respecto a movimientos de aire en el interior, si se percibió durante las visitas que había leves movimientos de cortinas y elementos similares dentro algunos espacios.

4.2.2 Evaluación del confort lumínico

La calificación para el confort visual se otorgó según el siguiente procedimiento; cada ventana, según el estándar internacional y dependiendo de la función del espacio, debe tener un rango de iluminación. En este trabajo se consideraron 4 tipos de espacios: [1] Alcoba, [2] Pasillo, [3] Salón, y [4] Estudio. La siguiente tabla (4.1) detalla los valores mínimo 1, medio 1, máximo, medio 2 y mínimo 2 aceptables por espacio acorde a su uso:

Tabla 4.1 Rangos de valores aceptables de iluminancia por espacio y asignación de puntajes en escala de 0 a 7.

	Alcoba	0	100	200	400	1000
	Pasillo	0	50	150	300	800
	Salón	0	200	500	1000	2000
	Estar-Estudio	0	300	750	1500	3000
	Puntaje	0	3.5	7	3.5	0

Para cada rango se definió una ecuación lineal cruzando por los valores definidos en la tabla anterior. Finalmente se evaluó esta ecuación para la iluminancia obtenida en cada espacio (de acuerdo a su tipo). La escala de valor utilizada va del 0 al 7, siendo 0 el puntaje más bajo y 7 el puntaje más alto. Los resultados de esta evaluación por caso de estudio se observan en la figura 4.4 y tabla 4.2

Tabla 4.2 Resultados por casos de la evaluación de confort visual del interior.

		Vivienda Vernácula	-4	100	150	200	-
		Vivienda Urbana	37	200	300	500	0,65
			-34	300	500	750	-
			17	100	150	200	0,60
		Vivienda Sub Urbana	11	200	300	500	0,19
			34	300	500	750	0,40
			335	100	150	200	4,64
			289	50	100	150	3,76
			483	50	100	150	2,22
			1078	200	300	500	3,23
			698	200	300	500	5,61
			730	50	100	150	0,49
	Cárpena-Escobar		765	200	300	500	5,15
				931	100	150	200
		Proyecto Comercial	860	200	300	500	4,48
				935	300	500	750

4

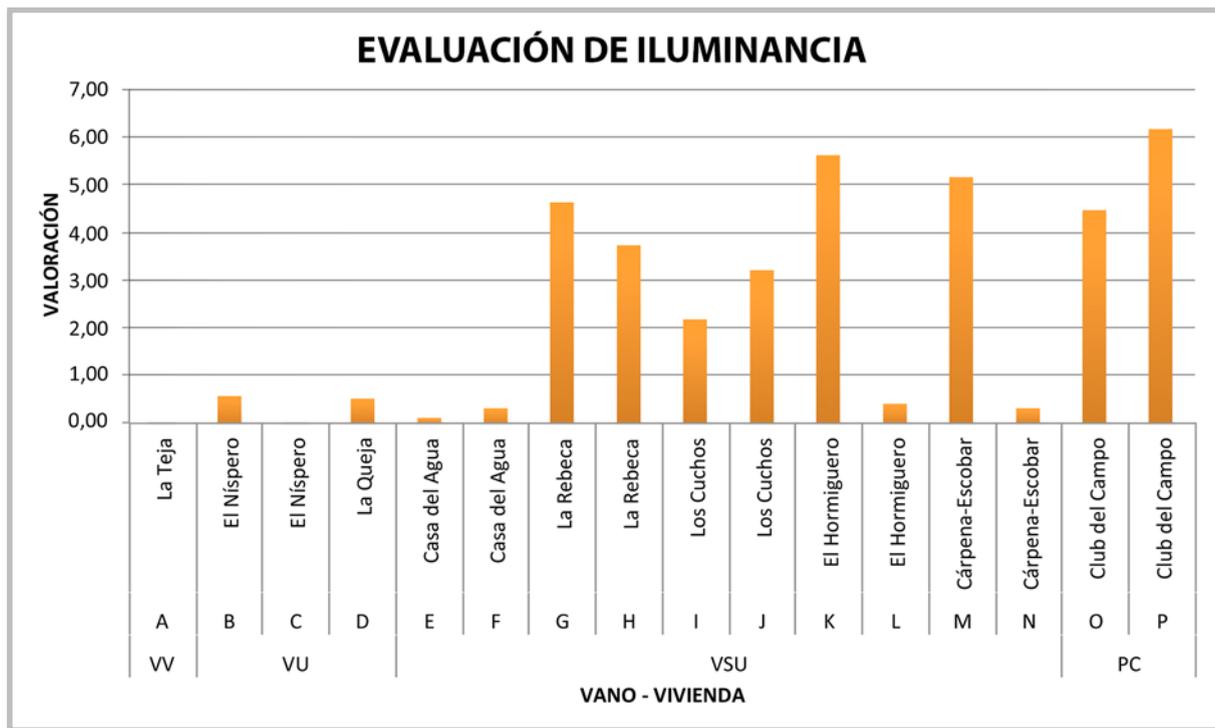


Figura 4.4 Resultados de la valoración por casos de confort lumínico de 1 a 7, relacionado las lecturas interiores de cada espacio con los estándares internacionales. (vv vivienda vernácula, vu vivienda urbana, vsu vivienda sub urbana, pc proyecto comercial)

La evaluación se hizo teniendo en cuenta que si los niveles de iluminancia eran más bajos que el mínimo del estándar, esto haría que el usuario tuviera necesidad de luz artificial en algunos espacios para realizar las actividades para las cuales fue diseñado y por consiguiente, aumentara el consumo de energía eléctrica, así que a esos se les asignó como calificación 3,5 o menor a los registros que estaban por debajo del mínimo del estándar. El puntaje máximo considerado sería 7 y se otorgaría a las lecturas que alcanzaron el máximo del estándar para cada tipo de espacio. Las lecturas por encima del máximo podrían presentar efecto de deslumbramiento, dependiendo de la orientación y ubicación del espacio.

De los registros conseguidos en los casos, 10 de ellos estuvieron por encima del nivel máximo sugerido por estándares internacionales y en las encuestas la mayoría de los usuarios no manifestaron incomodidad respecto al exceso de cantidad de luz en cada recinto, evidenciando que en el trópico hay una tolerancia mayor a los niveles de iluminancia respecto a lo propuesto por los estándares. Siendo consecuente con esto, se asignó un valor adicional para poder otorgar la calificación a cada caso, y se aumentaron dos escalas de valor nuevas que se evidencian en la tabla 4.1, llamadas med2 y min2. Esta nueva escala permitió aumentar el rango dentro del cual se calificó la iluminancia de tal manera que la mayoría de los casos pudieran tener una calificación, de lo contrario se asignaría un valor de cero (0) para todos los casos ya que ninguno estuvo dentro del rango establecido por los estándares internacionales.

4.3 Evaluación de factores personales

El confort psicológico que se ha tenido en cuenta para esta evaluación de los vanos, se ha extraído de las encuestas de post-ocupación, en donde se evaluó el confort percibido por los habitantes de cada casa y en cada uno de los espacios afectados por los vanos. El cuestionario de satisfacción del espacio interior (Anexo 5) que evaluaba cada vano presentaba 4 puntos, entre ellos la sensación térmica de los últimos seis meses en ese espacio, la fuente de des confort del espacio, a qué horas se presenta el problema de des confort y descripción de la sensación térmica. Gran parte de los encuestados manifestó estar satisfecho con la sensación térmica y por consiguiente las demás preguntas no fueron respondidas, motivo por el cual solo se tuvo en cuenta la siguiente pregunta:

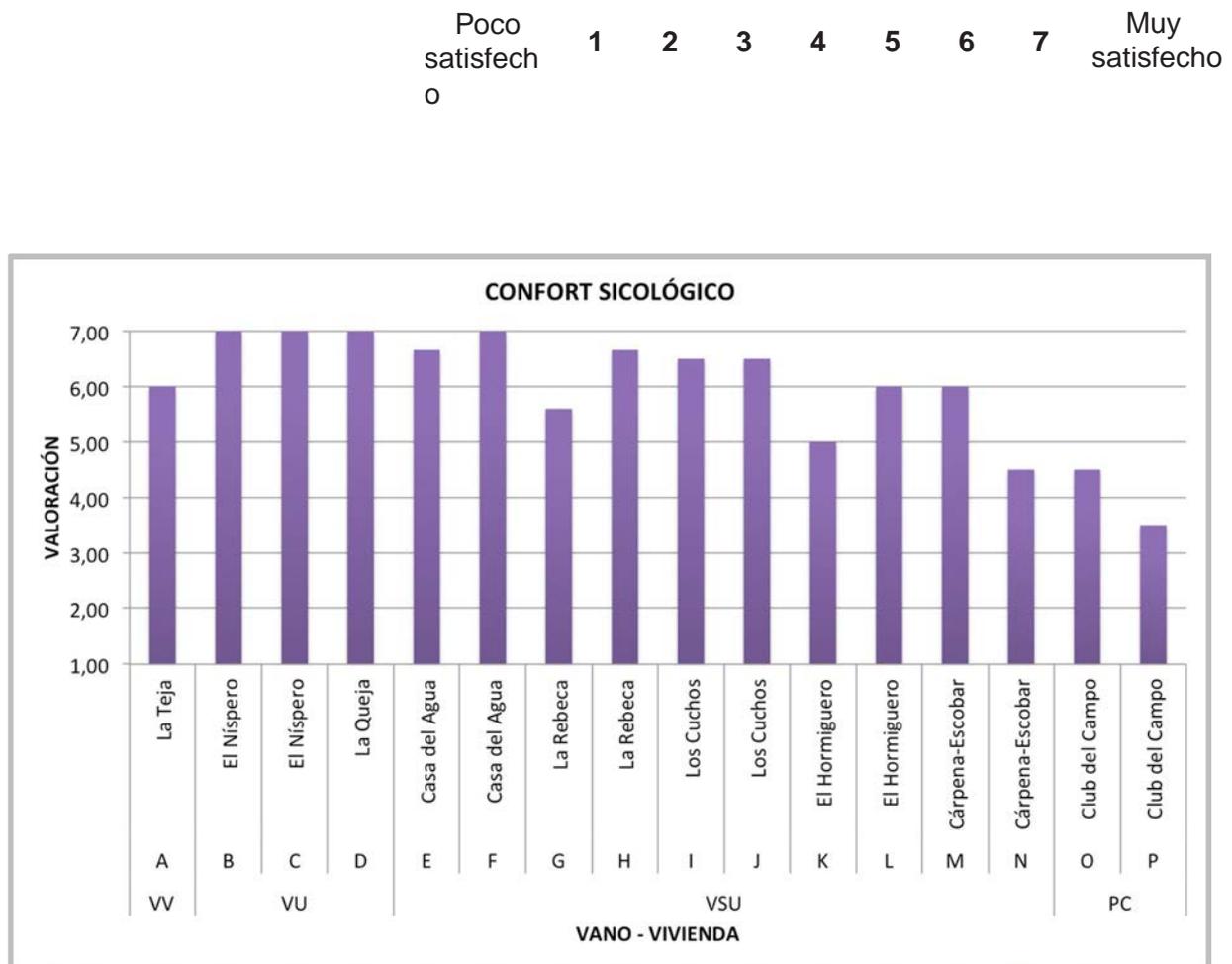


Figura 4. 5 Resultados de la valoración por caso de la evaluación de confort sicológico. (vv vivienda vernácula, vu vivienda urbana, vsu vivienda sub urbana, pc proyecto comercial)

Se promediaron los resultados de las respuestas de cada vano y se obtuvo la siguiente evaluación del confort sicológico (figura 4.5). Las calificaciones más bajas las obtuvieron las viviendas donde se percibía des confort por altas temperaturas en algún momento del día (Casos O y P en Club del Campo y caso N en Cárpena Escobar).

La sensación térmica más castigada por el usuario fue el calor por encima del frío, a pesar de que en el registro de temperatura la mayoría de los casos estuvo por debajo de la zona de confort y no por encima, esto podría tener

relación con el nivel socio-

económico de personas encuestadas, las cuales la mayor parte del tiempo de oficina, lo pasarían en espacios o autos climatizados y han perdido la capacidad de adaptación a las temperaturas de la zona, por eso con el más mínimo aumento de temperatura manifiestan des confort.

4.4 Resultados generales de la evaluación por casos de estudio

Una vez obtenidos los resultados de la evaluación por parámetros y factores que afectan el confort, se procedió a estimar unos porcentajes o pesos para cada uno de ellos, como se puede ver en la tabla 4.3, se asignó un valor de 70% al confort térmico, ya que se consideró que la temperatura es el primer aspecto que determina los niveles de confort en un espacio (Frontczak & Wargocki, 2011). En segundo grado de importancia se encuentran los demás parámetros con un peso del 10% para cada uno (confort visual, humedad relativa, confort psicológico). Se ha considerado que la sumatoria de confort visual, confort térmico, confort psicológico y humedad relativa equivale a la sensación de confort general en las viviendas estudiadas y los resultados se observan en la tabla 4.3.

Tabla 4.3 Resultados de la evaluación de los diferentes parámetros que definen el confort de los casos de estudio.

					HUMEDAD RELATIVA 50% - 80%		
			0,40	3,70	4,33	7,00	3,98
			4,64	6,42	4,58	7,00	3,98
		Vivienda Urbana	0,85	3,79	3,58	7,00	3,98
			3,76	7,00	4,87	7,00	3,07
			2,22	4,08	4,17	6,50	4,15
			3,23	7,00	4,92	6,50	6,36
			5,61	3,50	4,33	5,00	3,94
			0,49	1,46	4,92	6,00	2,16
			5,15	6,13	4,50	6,00	5,85
		Vivienda Sub Urbana	0,40	6,42	5,00	4,50	5,48
			4,48	4,08	6,17	4,50	4,37
			6,14	2,92	7,00	3,50	3,71
			10%	70%	10%	10%	100%
	Cárpena-Escobar						
		Proyecto Comercial					

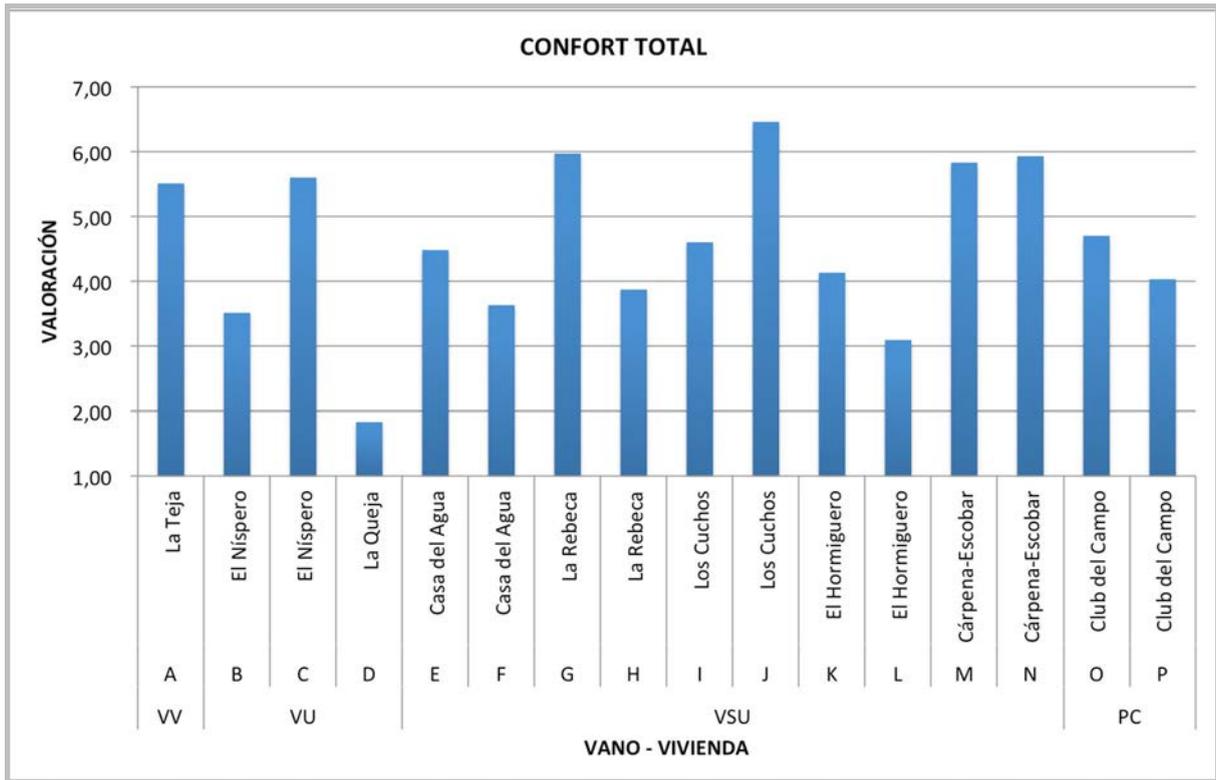


Figura 4.6 Resultados por caso del confort total. (vv vivienda vernácula, vu vivienda urbana, vsu vivienda sub urbana, pc proyecto comercial)

Los resultados indican que casos como A, C, G, J, M y N que obtuvieron una evaluación por encima de 5 en la escala de 0 a 7 (figura 4.6), pueden ser considerados casos ejemplares con respecto al confort y algunas de sus características y relaciones geométricas podrían ser consideradas para determinar condiciones de diseño de vanos residenciales para el trópico.

4.5 Correlación de datos

El proceso de correlación tiene como finalidad conocer el grado de asociación que existe entre los parámetros de tipo espacial, lumínico, climático y factores personales psicológicos de los ocupantes de las viviendas, los cuales han sido previamente evaluados.

Se evaluó el grado de asociación entre aspectos de los parámetros mencionados que se presumía tenían algún grado de relación, posteriormente se cuantificó y analizó el tipo de relación.

Todos los datos correlacionados provienen de los 16 casos de estudio presentados en capítulos anteriores y el objetivo es ver cómo se comportan los aspectos de cada parámetro al conocer el comportamiento de otros. Algunas correlaciones realizadas son de tipo negativo y significa que valores elevados en un aspecto muestran valores bajos en otro.

Los resultados de las correlaciones de esta investigación tienen un valor explicativo parcial, ya que la relación entre algunos aspectos aporta solo cierta información. En la medida que haya más aspectos que se relacionen con un hecho (confort) hay más posibilidades de encontrar una explicación más completa, entre las limitaciones de esta investigación se encuentra la cantidad reducida de casos (16), que no permite obtener resultados estadísticamente significativos.

En la tabla 4.4 se muestran los coeficientes resultado de la relación entre los parámetros ambientales y factores personales, se observa que la relación vano-planta/confort térmico tiene una correlación negativa al igual que la de dimensión alero/confort visual. Estos resultados indicarían que si se aumenta la relación vano-planta disminuye el confort térmico y si aumenta la dimensión del alero el confort visual disminuye. La otra correlación significativa registrada fue que a medida que crece la altura del espacio, aumenta el confort térmico.

En la tabla 4.5 se muestra la significancia estadística obtenida de la correlación de datos y es el resultado de la comparación de las cifras obtenidas de los parámetros ambientales y factores personales observados, la gráfica evidencia la significancia probada entre los parámetros y factores, relación vano/planta- confort térmico, altura del espacio-confort térmico y dimensión del alero-confort visual. La significación del resto de parámetros se puede considerar no significativa o no probada.

Una vez realizada la correlación estadística en Stata® (Data Analysis and Statistical Software), se concluye que los demás parámetros que contiene la tabla no serán tenidos en cuenta para el desarrollo de condiciones de diseño de vanos residenciales del trópico, por no presentar ninguna asociación entre ellos. Algunos de los datos serán contrastados con otros que han sido recopilados durante la investigación para definir unas condiciones, pero no serán utilizados recursos

e
s
t
a
d
í
s
t
i
c
o
s

p
a
r
a

e
s
t
e

f
i
n
.

Dentro de los casos de estudio se tuvieron en cuenta espacios con diversos usos, sociales, privados y circulaciones que no se podrían agrupar por tipo de espacio para ser evaluados, porque se reduciría la muestra dramáticamente y estadísticamente no tendría validez por la falta de datos, lo que implicó combinar los casos sin importar el tipo de vivienda, independiente de la época o la ubicación, sino también combinar los usos de los espacios.

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Tabla 4.4 Correlación entre los parámetros y factores personales de los casos de estudio.

	Area Planta (m2)	Area Envolvente (m2)	Area Vanos (m2)	Relación Vano/Planta (%)	Relación Vano/Envolvente (%)	Relación altura espacio/area piso	Altura Espacio (m)	Porcentaje de apertura permanente (%)	Area de apertura permanente (m2)
Area Envolvente	0,8632								
Area Vano	0,4625	0,3673							
Relacion Vano/Planta	-0,6446	-0,5396	-0,0957						
Relación Vano/Envolvente	-0,1985	-0,4422	0,5363	0,5252					
Relación Altura espacio/A piso	-0,7945	-0,6356	-0,6617	0,639	-0,1039				
Altura Espacio	0,5596	0,5772	-0,1422	-0,5704	-0,5964	-0,2109			
Porcentaje apertura permanete	0,2156	0,1074	-0,1465	0,2309	0,0231	0,2021	0,1711		
Area de apertura permanente	0,3828	0,2057	0,4975	0,0904	0,3331	-0,1683	0,1687	0,6732	
Dimensión Alero	0,3314	0,2384	-0,0574	-0,3055	-0,3041	0,0143	0,3613	0,2598	
Orientación	-0,0474	0,0515	0,1556	0,4954	0,1338	0,3104	0,0272	0,5983	
Ubicación en Planta	-0,3586	-0,283	-0,5369	0,2896	-0,2203	0,5741	0,0965	0,1918	
Ubicación en Fachada	-0,1878	-0,3166	0,2895	0,2703	0,6022	-0,1915	-0,3623	-0,2348	
Protección	-0,1242	-0,2193	0,3234	0,4623	0,6101	-0,1553	-0,615	-0,1592	
Operable	-0,2275	-0,2704	0,0426	0,662	0,394	0,4783	-0,2854	0,6974	
Valoración Confort Visual	-0,0897	0,1047	0,2099	-0,1013	-0,0998	-0,0171	0,1484	-0,1926	
Valoración Confort Térmico	0,5036	0,3353	0,0987	-0,6786	-0,3137	-0,372	0,5841	-0,0406	
Valoración Humedad Relativa	-0,086	-0,0497	-0,1847	-0,0334	-0,1966	0,1534	0,2758	-0,1122	
Valoración Confort Sicológico	0,0904	-0,1085	0,1041	0,0801	0,285	-0,0642	-0,3287	0,2487	
Valoración total Confort	0,4828	0,336	0,1273	-0,6818	-0,3172	-0,364	0,5939	-0,0603	

Tabla 4.5 Significancia de los parámetros y factores personales de los casos de estudio.

	Area Planta (m2)	Area Envolvente (m2)	Area Vanos (m2)	Relación Vano/Planta (%)	Relación Vano/Envolvente (%)	Relación altura espacio/area piso	Altura Espacio (m)	Porcentaje de apertura permanente (%)	Area de apertura permanente (m2)
Area Envolvente	0								
Area Vano	0,0712	0,1616							
Relacion Vano/Planta	0,007	0,031	0,7245						
Relación Vano/Envolvente	0,4612	0,0864	0,0322	0,0367					
Relación Altura espacio/A piso	0,0002	0,0081	0,0052	0,0077	0,7018				
Altura Espacio	0,0242	0,0192	0,5994	0,021	0,0147	0,433			
Porcentaje apertura permanete	0,4225	0,6922	0,5882	0,3895	0,9324	0,4528	0,5264		
Area de apertura permanente	0,1434	0,4447	0,0499	0,7392	0,2074	0,5332	0,5322	0,0043	
Dimensión Alero	0,2098	0,3738	0,8328	0,2499	0,2522	0,9581	0,1692	0,3312	
Orientación	0,8616	0,8497	0,5649	0,051	0,6214	0,2419	0,9205	0,0143	
Ubicación en Planta	0,1726	0,2882	0,032	0,2765	0,4123	0,02	0,7223	0,4767	
Ubicación en Fachada	0,4861	0,2323	0,2768	0,3114	0,0136	0,4775	0,1678	0,3813	
Protección	0,6467	0,4145	0,2218	0,0714	0,0121	0,5657	0,0112	0,556	
Operable	0,3968	0,311	0,8755	0,0052	0,131	0,0609	0,2839	0,0027	
Valoración Confort Visual	0,7411	0,6995	0,4353	0,7088	0,713	0,95	0,5835	0,4749	
Valoración Confort Térmico	0,0467	0,2042	0,716	0,0039	0,2368	0,1559	0,0175	0,8812	
Valoración Humedad Relativa	0,7516	0,855	0,4935	0,9022	0,4655	0,5707	0,3011	0,679	
Valoración Confort Sicológico	0,7393	0,6891	0,7011	0,768	0,2846	0,8132	0,2138	0,353	
Valoración total Confort	0,0582	0,2032	0,6386	0,0036	0,2313	0,1658	0,0153	0,8245	

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO

Identificación (parte superior izquierda)	Dimensión Alero (m)	Orientación	Ubicación en la planta	Ubicación en fachada	Protección	Operable	Valoración Confort visual	Valoración Confort térmico	Valoración Humedad relativa	Valoración Confort psicológico
0,0374										
0,5888	0,2767									
0,0055	-0,2515	0,0829								
0,0352	-0,4315	-0,1588	0,0348							
0,0243	-0,5661	-0,0617	0,1478	0,5795						
0,6033	0,0072	0,6281	0,3892	0,1491	0,211					
0,1593	-0,3766	-0,0461	0,1328	0,0775	-0,0257	0,0198				
0,0698	0,4787	-0,2604	-0,2683	-0,0249	-0,5537	-0,3012	-0,0633			
0,1168	-0,0014	-0,1767	0,176	-0,0581	-0,0493	-0,1429	0,4388	0,1713		
0,1255	0,2601	0,1588	-0,304	0,0152	0,0641	0,2508	-0,5936	0,0069	-0,8016	
0,0967	0,4299	-0,2643	-0,2541	-0,0147	-0,5485	-0,2841	0,0867	0,9878	0,2482	-0,0689

Identificación (parte superior izquierda)	Dimensión Alero (m)	Orientación	Ubicación en la planta	Ubicación en fachada	Protección	Operable	Valoración Confort visual	Valoración Confort térmico	Valoración Humedad relativa	Valoración Confort psicológico
0,8905										
0,0164	0,2995									
0,9837	0,3473	0,7602								
0,8969	0,0952	0,557	0,8981							
0,9287	0,0223	0,8204	0,5849	0,0186						
0,0134	0,9789	0,0092	0,1362	0,5816	0,4329					
0,5557	0,1505	0,8655	0,624	0,7756	0,9249	0,9419				
0,7973	0,0607	0,33	0,315	0,9269	0,0261	0,257	0,8157			
0,6667	0,9959	0,5127	0,5143	0,8307	0,856	0,5974	0,0891	0,5258		
0,6433	0,3306	0,557	0,2524	0,9554	0,8134	0,3487	0,0153	0,9797	0,0002	
0,7216	0,0965	0,3226	0,3424	0,957	0,0278	0,2863	0,7494	0	0,354	0,7998

4.6 Condiciones de diseño de vanos

Las condiciones aquí definidas están organizadas en cuatro escalas: el entorno, el edificio, el espacio y el vano. La organización en escalas contribuye a que durante la etapa del diseño en la que el arquitecto considera una gran cantidad de variables generales y no el edificio como un objeto aislado, le permita ir poco a poco a introduciendo las recomendaciones a medida que avanza en su proceso de diseño. Se han considerado las estrategias que pueden ser medidas, mientras que las que no pueden ser cuantificadas se han descartado.

4.6.1 Entorno, orientación y emplazamiento

La orientación y la trama urbana tiene un impacto significativo en la generación de microclimas dentro de la ciudad que no han sido objeto de estudio de esta investigación, pero, con respecto a esta importante decisión en etapas tempranas del proyecto, la primera prioridad para el clima cálido y húmedo es obtener la mayor cantidad de viento durante todo el año y la segunda prioridad es obtener la mayor cantidad de sombra durante todo el día.

La orientación de las aperturas, hace referencia a la posición geográfica de la fachada y tiene un impacto significativo en el comportamiento de cualquier tipo de edificación, para el caso de la vivienda tropical se recomienda orientar las fachadas largas y abiertas hacia el Norte y Sur con protecciones para minimizar las ganancias por exposición debido a la simetría del paso del sol (figura 4.7), por otro lado, los vanos hacia el Este y Oeste requieren condiciones especiales de protección solar. Se encontró en este estudio que orientaciones Este y Oeste podían ofrecer niveles altos de confort, dependiendo siempre de estrategias complementarias como las protecciones solares y la vegetación.

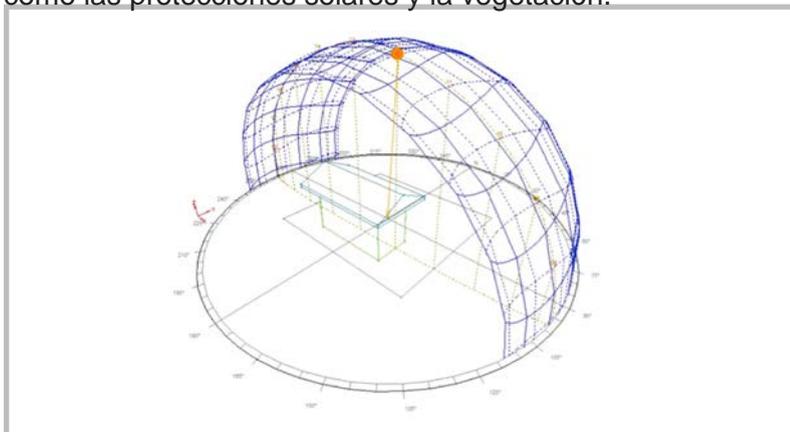


Figura 4.7 Fachadas largas orientadas en sentido Norte-Sur.

Debido a las condiciones de la región en donde las circunstancias climáticas son constantes durante todo el año las disposiciones del edificio podrían ser flexibles, como se observa con ciertas condiciones en los casos de estudio. Las temperaturas no son muy altas durante todo el año, lo cual permite desarrollar plantas arquitectónicas muy libres y permeables que generan la circulación del aire tanto en el día como en la noche. Algunos elementos o accidentes geográficos y urbanos como desniveles, montañas, vegetación o edificios cercanos arrojan sombras que pueden ser aprovechadas como protección solar, pero afectarían los vientos locales.

El diseñador en la mayoría de los casos debe mediar entre su diseño, la geometría del lote, las visuales, la topografía, las normas vigentes y los deseos del cliente, que definen la forma del edificio y su posición, junto con los aspectos climáticos como orientación solar, vientos dominantes, vegetación y el contexto. La elección del emplazamiento en este clima debe partir de una situación que aproveche los movimientos de aire de la zona, ya que el remedio para las altas temperaturas y el calor están en una buena ventilación y en evitar el impacto calorífico de la radiación solar, las plantas deben ser abiertas, alargadas y segmentadas.

4.6.2 El edificio

Así como la naturaleza incide directamente sobre los objetos naturales y permite que sobrevivan solamente los que están en armonía con el entorno, igualmente el edificio debe responder a las dinámicas de los elementos ambientales y su relación con el interior para tener en cuenta en el momento de la definición de su forma, la cual debe responder al mejor aprovechamiento de las condiciones locales para conseguir el confort interior.

4.6.2.1 Control solar

La incidencia angular del sol y sus efectos, deben ser tenidos en cuenta para cualquier zona climática del planeta, ya que es importante conocer y calcular los ángulos con los cuales el sol incide sobre el objeto arquitectónico con el fin de aprovechar la energía o evitarla, en el trópico el desafío es evitarla teniendo conciencia de la orientación de los vanos de la vivienda. En estas latitudes las ganancias provienen del impacto de los rayos solares sobre superficies perpendiculares como techos y paredes (Sosa y Siem, 2004).

El diseño de protecciones contra la radiación solar en los climas tropicales es uno de los principales aspectos para conseguir edificios sostenibles y de bajo consumo energético. Los elementos de protección reducen significativamente las ganancias solares pero también reducen el confort visual, lo cual implica un aumento en el consumo de energía. Estos elementos deben tener un balance entre protección solar y cantidad de luz natural que ingresa en el espacio. El costo de operación de sistemas de aire acondicionado puede reducirse con el diseño de elementos de protección solar en los vanos, combinados con ventilación cruzada (David, et al., 2011).

Entre los casos de estudio no se pudo determinar un patrón con respecto a las protecciones solares y su relación con el confort térmico y confort lumínico, por la diversidad de características y recursos arquitectónicos de cada uno, motivo por el cual se ha recurrido a utilizar el diagrama del paso del sol para el cálculo de las protecciones solares, tomando como referencia la latitud 3° Norte (Ciudad de Cali).

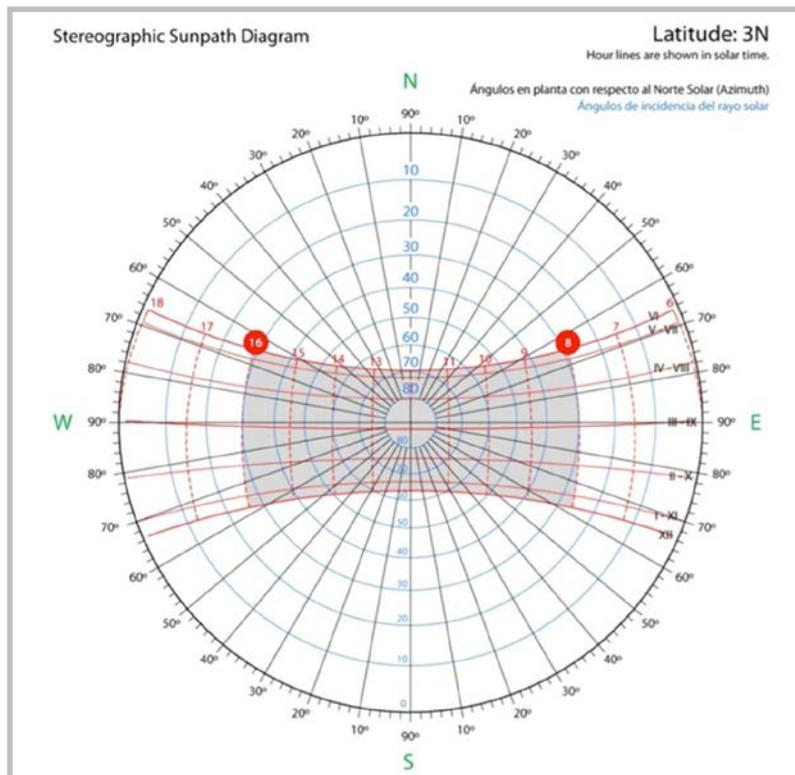


Figura 4.8 Diagrama del paso del sol para la Latitud 3°Norte.

Fuente:

http://www.hunterdouglas.cl/ap/uploads/cl/guia_solar_sustantibilidad.pdf, <http://www.jaloxa.eu/>.

Según la posición del observador situado a 3° N, el sol pasará dos veces por el cenit con inclinación hacia el Norte y Sur del observador en los equinoccios de verano (21 junio) e invierno (21 diciembre). Lo cual implica que en esta latitud se necesita protección solar todo el día, para determinar el elemento de protección más apropiado en las diferentes orientaciones se debe determinar la posición del sol a las distintas horas y meses del año utilizando el diagrama de paso del sol y el diagrama de sombras (Olgyay, 1968) (Figura 4.8).

4.6.2.2 Fachada Norte y Sur

En las primeras horas de la mañana y las últimas de la tarde (6:00-8:00 y 14:00-18:00 horas) estas orientaciones necesitan elementos verticales que protejan de la radiación solar y elementos horizontales entre las 8:00 y las 16:00 horas. La variación entre el Norte y Sur es mínima por estar tan cerca del Ecuador, así que para protecciones por el Sur con un ángulo de 30° y 40° por el Norte, se evitaría la radiación solar entre las 8:00 y las 16:00 horas.

4.6.2.3 Fachada Este y Oeste

Los elementos horizontales no podrían proteger del sol en tempranas horas de la mañana y últimas de la tarde, debido a su incidencia, se sugieren estas protecciones calculadas con un ángulo de inclinación de 30° grados con respecto al borde inferior de la ventana para evitar el sol de las 8:00 a las 16:00 horas. Para las fachadas Este y Oeste en los equinoccios el sol irradia de manera frontal la fachada, lo que implica tener elementos verticales no perpendiculares a la fachada que afectarían tanto la visibilidad como la entrada de luz natural. En las franjas de 6:00-8:00 y 14:00-18:00 los rayos solares no contribuyen a ganancias significativas dentro de la vivienda y se recomienda en su lugar protecciones interiores para evitar deslumbramiento y la incidencia directa de los rayos del sol en estas horas. En el caso de utilización de elementos verticales éstos deben ser móviles para controlar el ingreso del sol durante todo el año.

4.6.3 El espacio

El principal objetivo en el diseño de una vivienda tropical desde el punto de vista del confort, es diseñar un ambiente

itectónicos estén pensados para lograr la calidad ambiental interior deseada, juegan un papel importante aspectos y relaciones dimensionales del espacio, la ventilación y la iluminación.

4.6.3.1 Altura del espacio

Entre los casos con evaluaciones altas se encontraron alturas de piso a techo entre los 2,15 m y los 3,97 m. Al aumentar la altura de entrepiso, se aumenta el volumen de aire contenido en el espacio, lo cual permite una mejor distribución de la cantidad de calor recibida de la radiación solar, produciendo espacios con una mejor calidad interior en términos térmicos y lumínicos. Existe un grado de asociación importante o correlación probada entre la altura del espacio y el confort térmico de 0.5841, según evaluación de los casos de estudio del capítulo anterior.

Tabla 4.6 Promedio de la altura de entrepiso de los casos de estudio sobresalientes.

			2,15
			3,5
			3,97
	Cárpena- Escobar		3,62
			3,62
			3,37

La vivienda “La Teja” tiene unas características especiales con respecto a las dimensiones de sus espacios que no se han tenido en cuenta en la definición de condiciones de diseño, debido a que esas proporciones fueron práctica común en épocas de la colonia donde los requerimientos de habitabilidad eran otros. En la tabla 4.6 se encuentran los casos seleccionados con las alturas de sus espacios en donde el promedio recomendado se acerca a los 3,37 m de altura libre de un recinto.

4.6.3.2 Área del espacio

Se ha encontrado en esta investigación que hay un área y proporción de vano ideal que corresponde a un área de piso, sin embargo esta proporción no garantiza una calidad del ambiente interior óptima en relación al confort térmico, lumínico y psicológico, ya que el confort también depende de la orientación, la protección y del tipo de ventana que se encuentra en ese vano. En este estudio se ha demostrado una correlación entre el porcentaje de área de vano/área de piso con el confort térmico, los resultados indican que tener un área de vano de 42% del área del piso en promedio, aseguraría temperaturas adecuadas al interior de los

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

espacios como se observó en los casos de estudio sobresalientes (Tabla 4.7). La vivienda “La Teja” tiene

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

unas características especiales con respecto a las dimensiones de sus espacios que no se han tenido en cuenta, debido a que esas proporciones fueron práctica común en épocas de la colonia donde los requerimientos de habitabilidad eran otros.

Tabla 4.7 Promedio de la relación vano/planta de los casos de estudio sobresalientes.

			8,52
			46,28
			27,51
			41,82
	Cárpena-Escobar		43,61
			48,59
			41,56

4

Tabla 4.8 Promedio y rango de las áreas de los recintos de los casos con mejor evaluación.

		66,13
		30,55
		46,74
		22,98
		12,8
		24,91
		12,82
		37,73
		12,09

Los recintos evaluados y con mejores calificaciones podrían sugerir dimensiones apropiadas (cantidad de metros cuadrados del recinto) para que se pueda asegurar confort, condiciones dentro del rango, calculado con una desviación estándar de las áreas de los mejores ejemplos facilitarían condiciones de confort interior. En la tabla 4.8, se ve que el promedio aproximado de todos los espacios está en 25 m² y valores por encima de 38 m² o por debajo de 12 m², requerirían características diversas a las propuestas en esta investigación.

4.6.3.3 Iluminación

La iluminación natural está ligada a las dimensiones de los elementos arquitectónicos como el área del piso y las características de las aberturas por donde se pretende iluminar, el diseño debe cumplir con ciertas normas básicas observadas en los casos de estudio como alturas de entrepiso generosas, plantas libres con pocos muros divisorios en su interior, proporciones adecuadas en relación a la profundidad de la planta y altura de las aberturas.

La distribución de la luz natural en el interior de los espacios requiere consideraciones precisas relacionadas con la profundidad

del vano en la planta. El rango de profundidad de los aleros de protección para conseguir niveles aceptables de iluminancia,

estuvo entre los 1.47 m y 4.13 m de longitud (figura 4.9), estas dimensiones fueron obtenidas de los casos de estudio con mejores resultados de confort visual, estas dimensiones son un valor que se refiere solo a niveles de iluminancia mas no a protecciones contra la radiación solar.

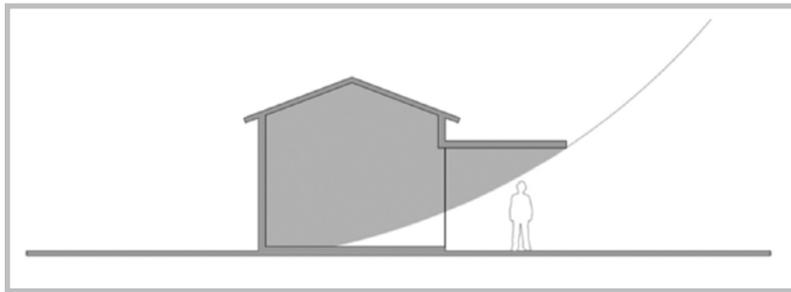


Figura 4.9 Penetración de la luz natural para espacios con vanos en una sola orientación.

El uso de controles solares en todas las fachadas en el trópico puede ser un recurso efectivo en términos de control de la penetración la luz solar y ganancias de temperatura, además de evitar reflejos y deslumbramiento que producen des confort. Las protecciones más efectivas son las exteriores, aunque este tipo de soluciones pueden afectar la visibilidad y la conexión con el exterior. Estudios recientes (David et al., 2011) demuestran que el confort lumínico se ve afectado cuando hay más de cinco (5) elementos horizontales protectores en el exterior del vano y adicionalmente no mejoran la eficacia frente a la protección solar. La iluminación interior de los espacios para el clima cálido húmedo tropical a través de los vanos de la envolvente, puede darse con la utilización de elementos que permitan obtener calidad lumínica, térmica y racionalidad energética, soluciones permeables como bloques de ladrillo o cemento con perforaciones tipo calados, enrejados y celosías son

recomendables.

4.6.3.4 Ventilación

La ventilación natural se usa para proveer aire fresco en la vivienda, proveer movimientos de aire para aumentar el confort en las horas calurosas y remover el aire sobrecalentado del interior. Las ventanas de toda vivienda deben ser operables para permitir la libre circulación del viento, conexión con el exterior y proveer confort a los usuarios por el intercambio de calor que se produce entre la piel y el aire fresco, aumentando así los niveles de confort térmico y psicológico.

Las ventanas deben permitir abrirse en las horas más calurosas

(14:00 a 17:00 horas) y cerrarse o controlar su abertura en las horas

de altos porcentajes de humedad relativa (4:00 a 7:00 horas).

Un criterio importante al momento de diseñar la ubicación y tamaño de los vanos es siempre ubicar las ventanas de modo que permitan un flujo de aire interior, como es el recurso de la ventilación cruzada con movimientos de aire a la altura de las personas. Las aberturas son más eficaces cuando se logra dirigir el aire en un recorrido más largo en el interior antes de que este encuentre la salida, así, lo ideal es disponer vanos en puntos distantes y opuestos o adyacentes con la mayor separación posible.

Según Lévy (2012) cuando hay condiciones de calor y humedad, la masa térmica del edificio contribuye a la condensación en su superficie y es necesaria la ventilación como solución, dos estrategias aplicadas a la vez podrían mejorar el confort bajo estas condiciones, la primera sería la ventilación cruzada, la ventilación natural depende directamente de la geometría del espacio, de la orientación de la vivienda con respecto al viento y del tamaño y posición de las aberturas, la altura de las aberturas de entrada depende de las actividades a las cuales está destinado el espacio. La segunda estrategia, es apoyarse en los movimientos ascendentes naturales del aire caliente para refrigerar la vivienda lo cual es más complejo de predecir.

La piel de la edificación en el clima cálido húmedo tropical debe permitir el paso libre del aire durante las 24 horas, es por eso que deben existir aperturas permanentes según lo observado en los casos de estudio, con cierto grado de permeabilidad, dependiendo del espacio que afecte, no es lo mismo tener alta permeabilidad en un área de circulación que en una habitación. Se recomienda proveer un porcentaje del área de los vanos con esta característica, para lograr mantener la calidad del aire interior y sacar la humedad. Movimientos constantes de aire durante todo el día

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS
con control de las aperturas en las horas más húmedas

(4:00 a 7:00 horas), podrían ayudar a mantener una calidad del aire aceptable y permitir los movimientos de aire por diferencia de presión y temperatura, gracias a aperturas permanentes en espacios como habitaciones, estudios y zonas sociales.

El porcentaje de apertura permanente de los vanos en el clima cálido húmedo tropical, podría estar cercano al promedio que se obtuvo de ponderar el valor de las seis viviendas que tuvieron evaluación de confort por encima de cinco en la escala de 0 a 7, ese porcentaje de apertura podría estar en 33.3% del área total del vano (Tabla 4.9).

Tabla 4.9 Promedio del porcentaje de apertura permanente que deben tener los vanos en el clima cálido húmedo tropical para permitir una ventilación adecuada.

			PORCENTAJE DE APERTURA PERMANENTE (%)
			100
			-
			26
			18,21
	Cárpena-Escobar		77
			12
			33,3

El buen diseño de los vanos debe ir acompañado de una elección correcta del tipo de ventana a instalar en el vano, esta debe cumplir con exigencias de ventilación, seguridad e iluminación que tenga cada espacio. La capacidad de renovación de aire de cada modelo de ventana no ha sido estudiada en esta investigación, en la actualidad existen índices de eficiencia de ventilación natural de cada modelo de ventana para diversos climas (<http://www.efficientwindows.org/>).

4.6.4 Vegetación

Una de las características del trópico es que su vegetación es variada y exuberante durante todo el año, haciendo que este recurso sea fácil de utilizar y el cual debe mezclarse con el objeto arquitectónico para concebir una sola entidad. La vegetación se debe utilizar en orientaciones menos favorables (Este y Oeste), ya que absorben la radiación, generan sombra en el piso, refrescan el aire porque transpiran vapor de agua y contribuyen a mejorar los

movimientos de aire por diferencial térmico (Figura 4.10).

La vegetación que está cerca de la vivienda debe seleccionarse cuidadosamente para que produzca la sombra adecuada y permita la circulación del aire o la dirija. El recurso de la vegetación puede reducir el uso de sistemas mecánicos de ventilación y por ende minimizar el consumo energético de la vivienda.

En los casos de estudio cuatro de los seis con evaluaciones más altas estaban orientados hacia el Este o el Oeste logrando aún así un nivel superior de confort a orientaciones Norte y Sur, estos utilizaron como estrategia el uso de la vegetación y las protecciones solares (Figura 4.11).

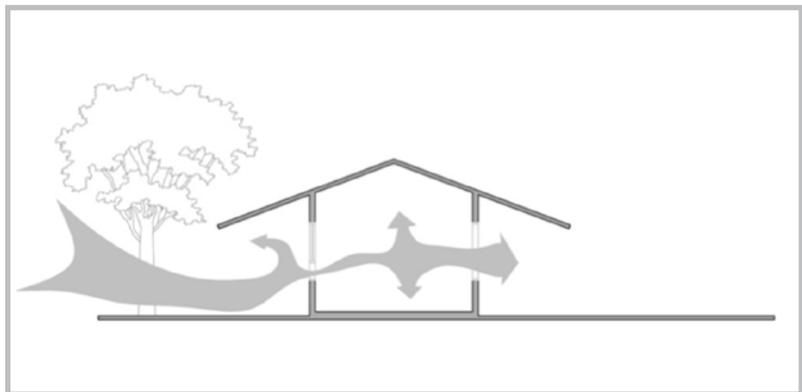


Figura 4.10. Uso de vegetación para mejoramiento de los movimientos de aire.

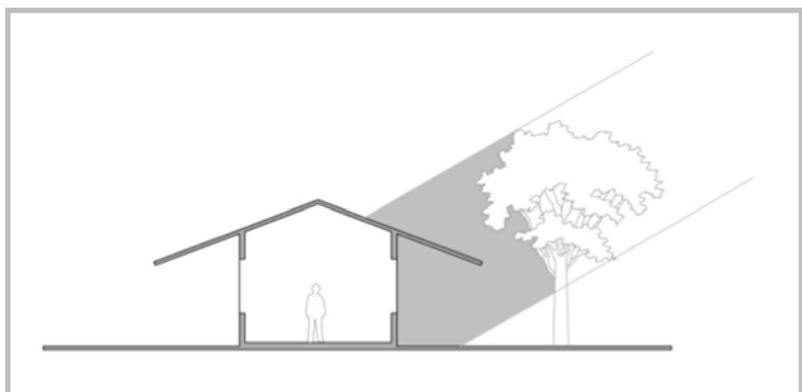


Figura 4.11. Uso de protecciones solares complementarias (aleros y vegetación) para vanos con orientaciones Este y Oeste.

Se observó además de la vegetación, la utilización del agua en estanques sombreados como recurso para refrescar el aire que incide sobre la fachada de la vivienda o directamente bajo el vano, produciendo una sensación de mejoría en el

confort percibido.

4.6.5 Conexión con el exterior

El potencial de contenido de naturaleza en una vista a través de una ventana de una vivienda, contribuye significativamente en la satisfacción, bienestar y reducción de la fatiga mental de las personas. Se presume que si el usuario está satisfecho con lo que ve a través de su ventana, esto afectaría la percepción que tiene de su entorno (Kaplan, 2001).

Los vanos juegan un rol crítico en el confort y muy especialmente en el confort psicológico mediante la conexión con el exterior, este aspecto evaluado en las encuestas de post ocupación, permitió concluir que las personas en el trópico prefieren tener naturaleza en una vista lejana a través de un vano de proporciones más altas que anchas. Se descartan aperturas parciales, cuadradas o pequeñas para espacios como habitaciones, zonas de permanencia o circulación, la mayoría se inclinan hacia vanos de piso a techo y centrados en el espacio. En este clima las aperturas de la envolvente tienden a desaparecer para lograr vincular el exterior con el interior.

Vanos pequeños de la vivienda vernácula La Teja (caso A), demostraron un alto nivel de confort térmico al interior de los espacios pero con bajos niveles de luz natural, lo cual se confirma con la correlación negativa (-0.6786) existente entre la relación área vano-área de piso y el confort térmico. Esto indicaría que entre más pequeño el vano, habría más confort térmico, pero con menor confort psicológico y menor confort visual. La dimensión del vano es compleja de definir y consiste en lograr un equilibrio entre el confort térmico, la satisfacción psicológica en cuanto a lo que se percibe a través del vano y la cantidad de luz natural que se consiga con la dimensión elegida.

4.7 Aspectos geométricos

La geometría de un elemento arquitectónico o su forma física, la orientación de los vanos, las sombras generadas por la misma estructura y la de sus partes, juegan un papel importante en el desempeño energético de cualquier edificio, ya que son éstas relaciones geométricas las que configuran el objeto y las decisiones que se tomen desde la etapa de diseño, afectan la calidad ambiental interior (Turrin, et al., 2012).

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

A través de los casos de estudio seleccionados, se ha encontrado gran relevancia de la geometría de los espacios y los vanos, relacionada con parámetros del confort térmico, lumínico y

sicológico. Los resultados de esta investigación preliminar son condiciones de diseño que se sustentan en relaciones geométricas existentes entre el espacio y el vano, adicionalmente se presume que ciertas relaciones geométricas asegurarían conseguir confort en la vivienda del clima cálido húmedo tropical.

Tabla 4.10 Selección de casos de estudio y valores de las relaciones geométricas ideales.

VANO	VIVIENDA	ESPACIO	RELACIÓN VANO/PLANTA (%)	ALTURA ESPACIO (M)	PORCENTAJE DE APERTURA PERMANENTE (%)	DIMENSIÓN ALERO (M)
A	La Teja	Alcoba	8.52	5.20	100.00	4.60
C	El Níspero	Estar-Estudio	46.28	2.15	-	2.64
G	La Rebeca	Alcoba	27.51	3.50	26.00	1.00
J	Los Cuchos	Salón	41.82	3.97	18.21	4.10
M	Cárpena-Escobar	Salón	43.61	3.62	77.00	2.10
N		Alcoba	48.59	3.62	12.00	2.38

La información obtenida de los casos de estudio con mejores evaluaciones en parámetros ambientales de confort, los resultados de la correlación de datos y su grado de asociación, fueron tenidas en cuenta para la definición de unas relaciones geométricas (tabla 4.10) con unos valores que dan una luz acerca de la proporción ideal entre el área del vano, área del espacio, la altura del espacio, el porcentaje de apertura permanente del vano y la dimensión de los aleros de protección. Estas relaciones geométricas y sus valores constituyen uno de los aportes más importantes de esta investigación, ya que estos son los resultados de toda la información cuantitativa recopilada y analizada, la cual será implementada junto con aspectos sicológicos y preferencias de usuarios en capítulo posterior.

Conclusiones

S

Se ha logrado analizar las relaciones entre parámetros en un conjunto de casos y tipos de vanos identificando tres relaciones significativas entre ellos como son; [1] la relación de área del vano con respecto al área de la planta y el confort térmico, [2] el confort visual en el interior y la dimensión del alero y por último [3], la altura del espacio y el confort térmico.

Las variaciones no son lineales y discrepantes entre si, por lo cual no pueden ser implementadas con medidas prescriptivas (un porcentaje determinado de vano otorga una temperatura) o de manera intuitiva en el proceso de proyecto (como sugerencias generales), sino más eficazmente a través de relaciones paramétricas en un sistema de diseño. Las características de los vanos dependen de las necesidades del espacio, no sería prudente proponer una solución única aplicable a todos los espacios de una vivienda, las condiciones deseables de confort desde lo térmico, lo lumínico y psicológico varían no solo con las personas sino con el uso del espacio.

Considerando la importancia del consumo energético de los últimos años, estas recomendaciones de diseño no son más que estrategias pasivas para contribuir con el mejoramiento de la calidad ambiental interior de los espacios en la vivienda tropical y no pueden ser considerados directrices para cuantificar la eficiencia energética de una solución u otra. Muchas de las decisiones que afectan el consumo energético de un edificio se toman en las etapas de concepción del mismo, el esfuerzo que se necesita en esta etapa para definir de manera acertada un diseño que busque la sostenibilidad es mínimo, comparado con el esfuerzo que se tendría que hacer una vez hecha la construcción.

5 CAPÍTUL O

Implementación de resultados en
herramienta generativa para el
diseño de vanos residenciales

Introducción

5 Los resultados de los casos de estudio de los capítulos anteriores demuestran la importancia de la geometría en la calidad ambiental interior y en particular las estrategias de diseño de vanos necesarias para asegurar confort en la vivienda tropical. El enfoque geométrico de algunas de las condiciones de diseño definidas incluye varios aspectos a tener en cuenta en el proceso de diseño, éstas constituyen las relaciones existentes entre el vano y (1) el área de la planta, (2) el área permeable y área de vidrio, (3) la disposición de aperturas para ventilación y su tamaño, (4) dimensión del alero de protección solar, (5) la altura del espacio, (6) la relación entre elementos de vegetación exteriores, (7) la orientación y finalmente (8) las preferencias del usuario respecto a la disposición del vano en fachada. Estas relaciones geométricas definen las características que deben tener los vanos, sin embargo estas relaciones se pueden ver afectadas por otros elementos y decisiones de diseño como cubiertas y cerramientos que afectan también en gran medida el confort de la vivienda. Todos los elementos de un edificio deben ser considerados y evaluados en conjunto bajo un método de diseño integrado para lograr asegurar el confort y la eficiencia energética.

La implementación de estas relaciones geométricas del vano en una herramienta como estrategia metodológica en la etapa de diseño y su impacto en la edificación tiene dos fases. La primera fase tiene que ver con la parametrización de las geometrías y la segunda con la optimización de esas relaciones geométricas parametrizadas. Ambas fases se describen a continuación y se mostrarán algunos ejemplos de optimización para los casos de estudio que tuvieron menor desempeño y para proyectos nuevos. El proceso descrito en este capítulo para lograr la optimización multi-objetivo del vano en el clima cálido-húmedo, no pretende la identificación de soluciones únicas, pretende más bien presentar unas exploraciones de diseño donde el arquitecto puede extraer información para el desarrollo de su proyecto.

5.1 Evolución del modelado tradicional hacia el diseño paramétrico.

Las soluciones de diseño se gestan en la mente del diseñador, la propuesta del diseño paramétrico es convertir dichas soluciones en un proceso lógico que puede ser representado por un algoritmo. Actualmente existen herramientas de modelado tridimensional que le permiten al diseñador representar geometrías en pantalla, sin embargo estas cuentan con limitantes que no permiten que el proceso de modificación de la misma pueda ser efectuado de forma rápida y fácil. El diseño paramétrico ofrece la posibilidad de encontrar nuevas maneras de plasmar soluciones y de controlar dicho proceso. De esta manera se produce una automatización

en la definición de las geometrías y de la generación de un

modelo paramétrico que permite cambios rápidos y significativos

(Tedeschi, 2011).

Para este caso, el híbrido entre diseño-arquitectura y las ciencias físicas-matemáticas-computación, proponen no solamente sistematizar procedimientos y prácticas anteriormente concebidas, sino que también propone dividir los problemas de diseño en partes más pequeñas con el fin de definir estructuras lógicas que puedan ser interconectadas entre sí, siguiendo un orden específico de tal manera que los cambios que se realicen a los valores de entrada de cada objeto parametrizado puedan evidenciarse preservando el concepto general plasmado en el diseño.

La diferencia que existe entre una forma paramétrica y una modelada bajo métodos clásicos, radica en el control que se consigue de la misma, al establecer relaciones entre componentes, en cómo estos pueden alterarse por medio de datos de entrada para conseguir nuevas formas y en cómo el usuario (arquitecto, diseñador o ingeniero) saca provecho de dichas relaciones para asistir a la herramienta computacional por medio de un proceso lógico y coherente (op cit, 2011).

Los sistemas paramétricos se muestran como una nueva alternativa donde se combinan conceptos de diseño y programación, para ser adaptados al campo del diseño, buscando ayudar a los diseñadores a explorar las posibilidades existentes en torno al desarrollo de una idea y a construir una nueva forma de pensar los problemas en este campo.

En el sistema tradicional de diseño se grafican los objetos en

soportes digitales, mientras que en el diseño paramétrico las

geometrías de esos objetos se pueden controlar y el diseño generativo permite la variación de las formas y optimización de éstas mediante la aplicación de algoritmos genéticos. Con esto no se pretende cambiar los parámetros tradicionales del diseño y la arquitectura, por el contrario, se busca evolucionar y fortalecer dichas prácticas a través del aprovechamiento de herramientas computacionales

Este capítulo presenta el estudio y aplicación de una plataforma genérica para la aplicación de algoritmos evolutivos como Galapagos®, la cual gracias a su diseño puede ser utilizada en una amplia variedad de problemas de optimización. Esta herramienta está incorporada con el sistema de programación paramétrica Grasshopper® sobre la herramienta de modelado tridimensional Rhinoceros®. Según Turrin, et al., (2011) existen grandes beneficios derivados de combinar el modelado paramétrico y los algoritmos genéticos en etapas tempranas del diseño, ya que permite obtener rápidamente gran cantidad de soluciones a un problema mediante la exploración de geometrías.

5.2 Conceptos básicos de algoritmos genéticos

Los algoritmos genéticos constituyen un mecanismo de búsqueda enfocado en la solución de problemas de optimización los cuales adaptan los conceptos de la evolución natural al mundo computacional. John Holland fue quien por primera vez en los años 70 hizo uso de estos para explicar el proceso adaptativo de los sistemas naturales y para crear nuevos sistemas de inteligencia artificial que funcionaran bajo esas premisas.

Los algoritmos genéticos adaptan los términos evolutivos naturales a la representación del proceso artificial de la evolución de soluciones, de esta manera encontramos que una solución al problema es llamada individuo, una población de individuos o generación es una colección de soluciones y los genes son parte de la representación de la solución. Durante la ejecución del algoritmo genético, las soluciones aptas al problema de optimización son conservadas para que se reproduzcan o muten, formando con ello nueva generación de soluciones óptimas.

La evolución de soluciones es directamente dirigida por la función de aptitud (fitness) la cual representa la calidad de la solución. Durante el proceso, la búsqueda es conducida a través de mejores regiones del espacio de búsqueda que está

determinado por el conjunto de soluciones aptas para el problema. Cada posible solución es evaluada bajo el criterio determinado por la función de fitness, de manera que cada una obtiene un valor que permite

clasificarla frente al resto de los individuos de su generación. Contar con un mecanismo que consiga entregarnos la forma más apta que se pueda encontrar dentro de un espacio de soluciones, es una corriente que ha tomado fuerza en el diseño y la arquitectura, constituyéndose en una opción junto con el modelado paramétrico, que busca facilitar la manipulación e integración de las diferentes etapas del diseño. De esta manera el diseño puede llegar a ser concebido como una búsqueda de una óptima o apropiada construcción, donde los términos de búsqueda son usados desde un punto vista de calidad ambiental interior.

5.3 Estado del arte: Aplicaciones en el diseño sostenible

5

Una de las razones por las cuales la aplicación de diseño generativo en la arquitectura ha amentado en los últimos años es porque automatiza los procesos creativos, le da soporte al diseñador mediante el uso de herramientas computacionales (Singh, 2011) y además pueden ser herramientas poderosas para el estudio del desempeño ambiental de los edificios (Caldas & Norford, 2002).

La capacidad que tienen las herramientas generativas de encontrar soluciones en amplios espacios búsqueda y en poco tiempo (Renner & Ekárt, 2009), permite conseguir optimizaciones en el diseño de ventanas y en el diseño de fachadas para eficiencia energética, Aris, et al., (2006) muestran cómo el desarrollo de un algoritmo genético es capaz de optimizar las aperturas de un espacio para conseguir el consumo energético mínimo y después diseñar automáticamente alternativas de solución de posibles fachadas. Suga, et al., (2010), busca la ventana adecuada para la optimización de iluminación, consumo energético, costos iniciales y rendimiento de ventilación natural para mantener un ambiente térmico constante.

Por otro lado Caldas (2001) hace uso de los algoritmos genéticos para optimizar los presupuestos en una construcción, minimizando el uso de aire acondicionado, electricidad y costos de la misma. Existen también desarrollos en ventilación natural y confort térmico de edificios residenciales (Liping, et al., 2006). En muchos casos se han desarrollado herramientas de optimización y simulación como Tuhus-Dubrow & Krarti, (2010) para diseño de la forma y la fachada de un edificio en relación al consumo energético en diferentes climas, otros autores simplemente usan los algoritmos genéticos en el proceso de diseño creativo (Marin, et al., 2008).

La aplicación de algoritmos genéticos y el diseño paramétrico

en la arquitectura permite diversas aplicaciones y ejemplos de utilización. Turrin, et al., (2011), (2012), presentan los beneficios derivados de combinar el modelado paramétrico y los algoritmos genéticos para lograr el rendimiento de una solución geométrica en relación a las ganancias solares y luz natural con cubiertas, Wang, et al., (2007) hacen una aplicación de diseño paramétrico para la solución de fachadas con rendimiento en confort térmico y ahorro energético.

También hay investigaciones que apuntan a las optimizaciones multi-objetivo como en Torres & Sakamoto, (2007) que presentan la implementación de un algoritmo genético para la optimización de fachadas y simulaciones de rendimiento de éstas con respecto a la luz solar minimizando el des confort visual.

En la arquitectura el uso de algoritmos genéticos ha permitido un ir y venir entre la práctica del diseño y evaluación del impacto de esas decisiones durante la etapa de diseño. El uso de los algoritmos y el diseño paramétrico le da un giro al proceso de diseño tradicional que se ha visto ligado durante mucho tiempo a la experiencia e intuición del diseñador, queda atrás la etapa en donde solo se usaban juicios personales para seleccionar y evaluar la calidad de los diseños.

5.4 Herramientas de software: Rhinoceros®, Grasshopper® y Galapagos®

Para el desarrollo de la implementación de las condiciones de diseño de vanos, se utilizaron tres herramientas que se describen a continuación;

- Rhinoceros® es una herramienta para modelado 3D basado en NURBS (acrónimo inglés de non-uniform rational B-spline), modelado matemático utilizado para generar y representar curvas y superficies, comúnmente utilizado en diseño y arquitectura. Esta herramienta se convierte en la plataforma que permite la visualización en tres dimensiones de los resultados de optimización de los vanos.
- Grasshopper® es un editor gráfico de algoritmos integrado con las herramientas de modelado 3D. Está orientado al diseño paramétrico y permite al usuario el manejo de componentes que ayudan a definir todo tipo de formas, operaciones matemáticas, operaciones entre sólidos y componentes auto programables, entre otros. También permite el desarrollo de script sin la necesidad de tener conocimientos en programación. Utiliza un método intuitivo

basado en una interfaz por nodos, donde el

usuario define secuencias de instrucciones que se convierten en modelos tridimensionales en la ventana de Rhinoceros®. En esta herramienta se han implementado las condiciones de diseño mediante instrucciones lógicas.

- Galapagos® es la herramienta que permite obtener la solución óptima de los criterios de diseño definidos por el usuario en Grasshopper®. Esta herramienta permite obtener los vanos aptos acorde a la información suministrada.

5.5 Procedimiento para la Implementación de condiciones de diseño en herramienta generativa

5

Se definió el proceso de implementación como una secuencia lógica de pasos desarrollada en este apartado. En la figura 5.1, se muestra el proceso que se siguió para la implementación de las condiciones y optimización de vanos en vivienda “El hormiguero”.

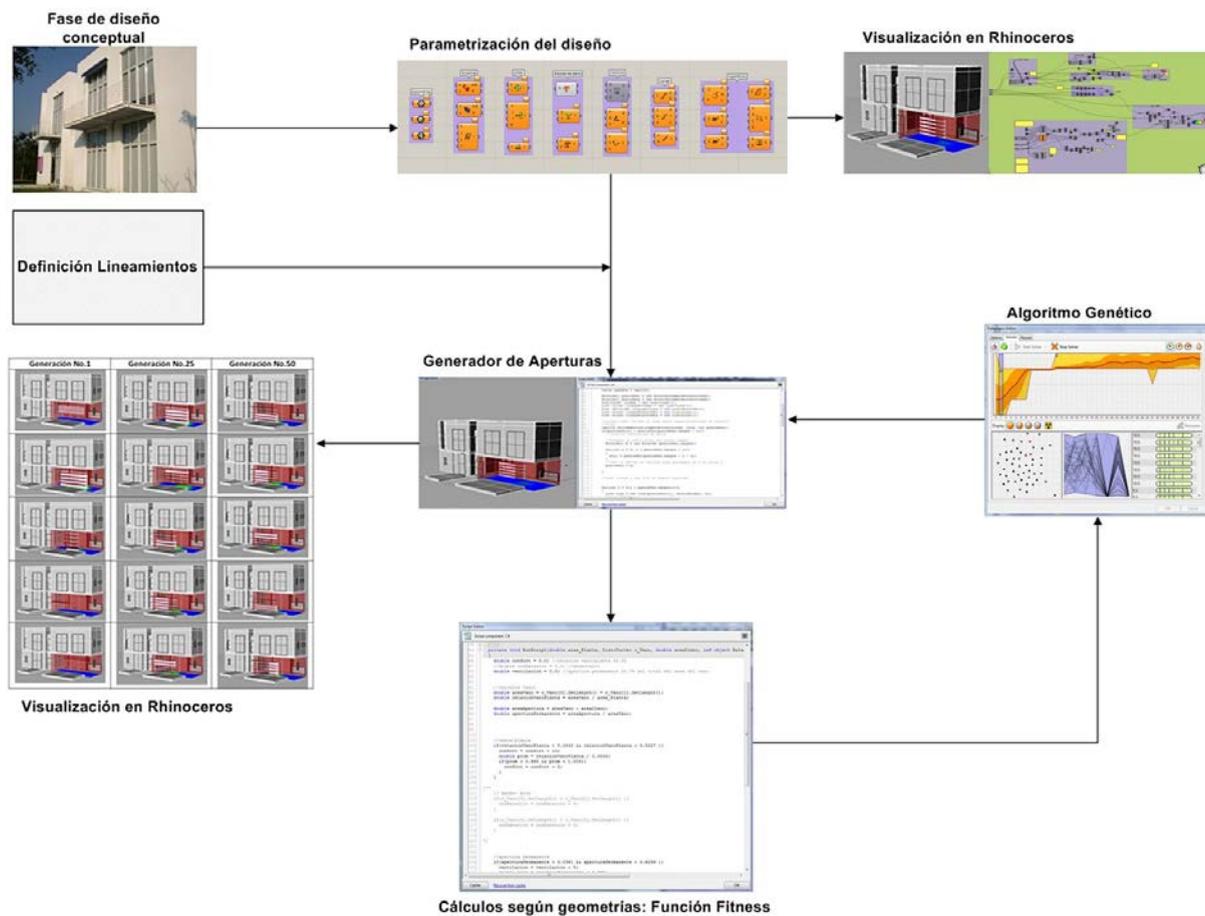


Figura 5.1 Diagrama de flujo de la metodología desarrollada para la implementación de condiciones de diseño de vanos.

5.5.1 Diseño conceptual y representación paramétrica

El diseño conceptual es la fase en la que los requerimientos y los objetivos del diseño se han definido, esta primera etapa sintetiza en una idea conceptual las formas que se van parametrizar y posteriormente a analizar, se definen las dimensiones y proporciones de elementos arquitectónicos como: muros, piso, techo, y sus relaciones geométricas. Dado que se está siguiendo un proceso de diseño orientado al mejor desempeño de las formas bajo lineamientos de confort, se tuvo en cuenta el impacto que tienen las geometrías en el cumplimiento de objetivos en cada diseño.

Con el fin de conseguir la optimización de geometrías para lograr condiciones de confort dentro de edificaciones, se propuso el modelado paramétrico para la descripción de formas y sus posibles variaciones. El proceso de diseño se hace más eficaz, ya que al parametrizar el espacio que se va a analizar, se le da al diseñador posteriormente la posibilidad de variar las dimensiones fácilmente para generar nuevas formas.

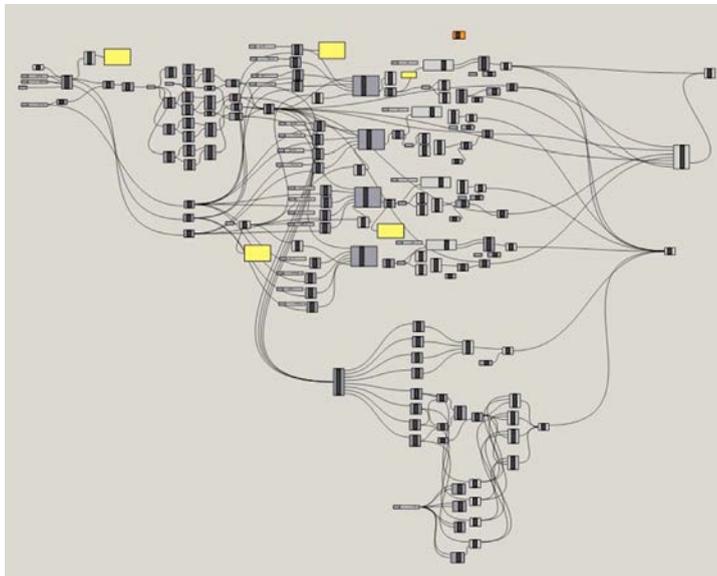


Figura 5.2 Interconexión de componentes de Grasshopper®

La definición de muros, pisos, vanos, protecciones, techos, entre otros, se hizo por medio de los componentes geométricos proporcionados por Grasshopper® (figura 5.2), estos se interconectan entre sí para crear las relaciones que definen la existencia del espacio completo. De esta manera cambios en un solo aspecto generan alteraciones dentro del sistema total. En

otras palabras, las formas tienen la capacidad de ser modificadas y adaptadas a requerimientos específicos o a criterios de evaluación planteados. Grasshopper® es una herramienta computacional orientada al diseño paramétrico que brinda al usuario una interfaz bien desarrollada y cuenta con componentes auto ajustables, componentes para definición de todo tipo de formas, para realizar operaciones matemáticas, operaciones entre sólidos y componentes auto programables (figura 5.3).

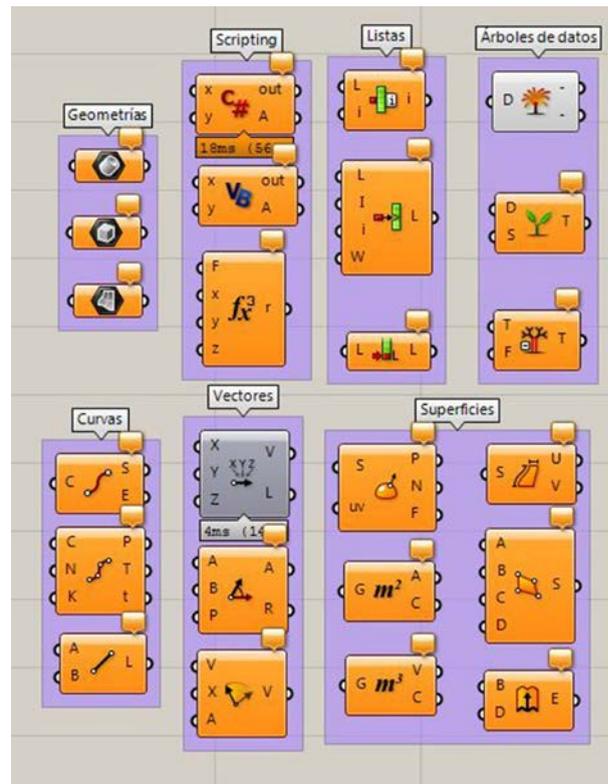


Figura 5.3 Componentes geométricos de Grasshopper®

5.5.2 Rangos y valores de los parámetros considerados.

Los aspectos geométricos sobresalientes de los casos de estudio con calificaciones más altas fueron los que se tuvieron en cuenta para la definición de condiciones que relacionan directamente el confort y aspectos geométricos del piso, altura del espacio, vanos y sus protecciones. En la tabla 5.1, se observan los aspectos y los casos sobresalientes según la evaluación hecha en capítulo 4. Con estas variables se procedió a calcular el promedio de cada uno y su desviación estándar, para definir un rango o valor máximo y mínimo, se supone que valores alrededor del promedio de +/- 1 desviación estándar son aceptables. Es

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS
necesaria la definición de

un rango para cada aspecto ya que la optimización requiere de un valor mínimo, un valor máximo y un valor objetivo.

La desviación estándar es la medida del grado de dispersión de los datos (relación vano planta, altura del espacio, porcentaje de apertura permanente y dimensión del alero) con respecto al valor promedio, en este caso permite conocer no solo las medidas de tendencia central, sino la desviación que presentan los datos en su distribución respecto de la media aritmética (promedio) de dicha distribución, con el objeto de obtener un rango, estos valores máximos y mínimos serán implementados en la herramienta generativa, para el diseño y la optimización de vanos en la vivienda tropical. En conclusión la desviación estándar nos dice cuánto tienden a alejarse los valores del promedio en la distribución.

Para la determinación de rangos se tomaron los casos ejemplares y se suprimió “La Teja”, debido a que es atípica en las relaciones geométricas de sus espacios y elementos arquitectónicos por su condición de casa de hacienda antigua, la desviación estándar tendía a ser mucho mayor en todos los parámetros, haciendo que los rangos tuvieran una mayor amplitud, por tal motivo solo se consideraron los casos C, G, J, M, N.

Tabla 5.1 Determinación de los valores máximos y mínimos de los aspectos geométricos de los vanos sobresalientes.

					PORCENTAJE DE APERTURA PERMANENTE (%)	
			48.52	5.39	100.00	4.60
			49.69	3.62	77.00	2.96
			48.59	3.62	12.00	2.38
	Cárpena-Escobar		41.56	3.37	33.30	2.44
			8.27	0.71	29.69	1.12
			33.30	2.67	3.61	1.33
		Desviación Estándar	49.83	4.08	62.99	3.56

5.5.3 Definición de variables y valores a optimizar.

Las variables a optimizar para la generación de vanos que aseguren condiciones de confort al interior de las viviendas en el trópico son las dimensiones del vano (alto y ancho), su posición en la fachada y el porcentaje de apertura permanente que tendrá el vano.

El tamaño óptimo de los vanos depende de las relaciones geométricas de éste con otros elementos de la arquitectura, en esta implementación de condiciones de diseño se ha trabajado con geometrías sencillas ortogonales que facilitan la búsqueda y además porque tradicionalmente la vivienda tropical en esta latitud, no hace uso de geometrías complejas.

La relevancia de las relaciones geométricas encontradas en los resultados y análisis de los casos de estudio, dieron como resultado las condiciones de diseño que se muestran de manera resumida a continuación en la tabla 5.2

Tabla 5.2 Valores para los lineamientos de diseño.

		3.61	62.99
		33.30	
		1.2	1.7
		2.67	4.08
1 vano 2 fachada = centrada 1 vano 2 fachadas diagonal			
		1.45	3.37
		1	5
		1	2
Orientaciones Este y Oeste			
Mas a to que ancho			
A sa ida/A entrada = 1.25			

Una cantidad de nueve parámetros fueron tenidos en cuenta para implementar en la herramienta, tres son resultado del análisis estadístico (relación vano-planta, apertura permanente y altura del espacio), poseen valores máximos, mínimos y objetivo a los que pueden llegar. El resto de parámetros son valores y condiciones estáticas, en algunos casos entradas del usuario o decisiones del mismo al inicio de la optimización, éstos fueron obtenidos a través de la observación de los casos y resultados de las encuestas de post-ocupación.

Los parámetros del 1 al 4 en la tabla 5.1 de condiciones de diseño, son los que se optimizan en la herramienta con el fin de obtener el vano que cumpla con las condiciones ideales sugeridas en la programación.

5.5.4 Generación de vanos y protecciones

Bajo la metodología planteada fue necesario el desarrollo de GEN VAT (generador de vanos tropicales), una herramienta computacional que hace uso de software paramétrico y algoritmos genéticos para la exploración de geometrías, que cumplan los lineamientos planteados para la definición de vanos en el trópico. En la etapa de generación de vanos, GEN VAT recibe valores de entrada (los genomas) para su funcionamiento, las cuales constituyen los valores de interés del algoritmo genético. Este se encarga de modificar las entradas y generar con estas los vanos en un muro determinado. El algoritmo está desarrollado en C# y trabaja sobre las formas parametrizadas, con valores que están en un rango definido por las condiciones de diseño. GEN VAT integra un generador de protecciones que según el grado de incidencia de los rayos solares en el trópico en cualquier orientación (Este, Oeste, Norte o Sur) y del número de protecciones deseadas por el diseñador, retorna elementos horizontales que se encargan de proteger el vano de la incidencia del sol en las horas más críticas del día.

5.6 Descripción de la rutina de optimización

El enfoque de esta rutina radica en la solución de un problema de optimización que busque diseños de vanos que garanticen condiciones térmicas, lumínicas y psicológicas adecuadas dentro de la vivienda del clima cálido húmedo tropical, siendo estas las relaciones que influyen directamente en el consumo energético de la edificación y en las condiciones de confort que se generan dentro del espacio. Dado un sistema, se busca un conjunto de valores que permitan llevar a una determinada configuración las geometrías, para que sea optimizado su comportamiento dentro del espacio al que pertenecen (desempeño, calidad, costos, etc.). La búsqueda de dicha solución le proporciona al diseñador la mayor garantía del cumplimiento de sus requerimientos funcionales y a su vez la posibilidad de elegir entre varias opciones, la que más se adecue a su estética.

Para este caso, hacer referencia al desempeño de vanos

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

orienta el objetivo de la rutina de optimización a un propósito en particular; encontrar equilibrio entre objetivos que involucran cálculos geométricos para garantizar condiciones de confort. En otras

palabras, aplicar este proceso a casos arquitectónicos implicó el hallazgo, definición y evaluación de geometrías para determinar cuáles se adaptaban más a las metas planteadas. En este punto los cambios que se realizaron a los vanos fueron de forma iterativa en búsqueda de mejoras a medida que avanzaban las generaciones. Una vez realizada la parametrización de las geometrías, se dio paso a la modificación iterativa de variables que definían las formas con el fin de encontrar soluciones óptimas al problema que se intentaba solucionar. Adicional a ello, el espacio de búsqueda del algoritmo genético fue determinado por aspectos cuantificables y por otros que no podían ser medidos como preferencias del habitante (aspectos psicológicos que no tienen una escala métrica).

5.6.1 Descripción de la función de adaptabilidad

(fitness metrics)

Como se ha mencionado, los algoritmos genéticos fueron el mecanismo utilizado como herramienta exploratoria entre forma y desempeño. Se usó un motor que implementa el algoritmo genético donde solo fue necesaria la identificación de genomas dentro del modelo paramétrico y la definición de las condiciones que se tendrían en cuenta para seleccionar las soluciones más aptas, es decir, la función de adaptabilidad (fitness).

La función de adaptabilidad desarrollada busca obtener como resultado vanos con una geometría y ubicación en el plano vertical (muros) que aseguren cumplir con condiciones establecidas para generar confort. En la búsqueda del vano para una fachada determinada, la función de fitness elaborada consideró de las condiciones establecidos diversos parámetros, valores y condiciones estáticas (figura 5.1), y se explican a continuación. Los aspectos críticos que considera la herramienta son; [1] relación vano-planta, [2] porcentaje de apertura permanente, [3] disposición de aperturas en eje horizontal, [4] disposición de aperturas en eje vertical y [5] altura del espacio.

[1] Relación vano-planta, considerada como una proporción ideal entre el área de la planta y el área del vano que permite generar condiciones de confort.

[2] Apertura permanente, se refiere a un área del vano que debe permanecer abierta con elementos como calados, celosías o rejas, para permitir la renovación del aire de manera permanente durante las 24 horas.

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

[3] Disposición de aperturas en el eje horizontal, las aperturas tienen una posición preferiblemente centrada con respecto al eje

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

de la fachada de cada espacio, si son dos vanos cada uno estará centrado en cada cuadrante que queda al dividir la fachada por su eje vertical. Se trabajaron varios casos de vanos como 1 fachada y 1 vano, 2 vanos en una fachada y dos vanos en dos fachadas. En el caso de dos fachadas y una ventana en fachadas adyacentes, la ubicación favorable para ambos vanos es la distancia más larga que exista entre los vanos haciendo una diagonal en planta, de manera que favorezca la ventilación interior por lograr una mayor turbulencia y movimiento del aire internamente. La preferencia de posición centrada fue determinada por los resultados de las encuestas de post-ocupación.

[4] Disposición de aperturas, se planteó ubicar en sentido vertical

el vano, haciendo coincidir el eje horizontal de la ventana con los ojos de una persona de pie, acorde al promedio de la altura de los ojos tanto de hombre y mujer

[5] Altura del espacio.

[6] Proporción entre alto y ancho (n ancho, m alto), según las encuestas la preferencia es a tener vanos más altos que anchos ($m > n$).

[7] Relación entre dos aperturas, cuando hay dos aperturas se tuvo en cuenta que el espacio por donde entra el aire debe ser menor que el espacio por donde sale y con una relación de entrada y salida de 1.25.

Cada una de las propiedades mencionadas toman un valor en los números naturales dentro de la función de adaptabilidad (fitness) y la sumatoria de estas determinó el valor que debía ser maximizado por el algoritmo genético. Dado que algunas de las propiedades llevaban la solución en una dirección diferente, no podía esperarse que su resultado fuera el caso ideal, es en este punto donde establecer un equilibrio entre ellas puso en evidencia la función del algoritmo genético.

La función de fitness que se definió para un sistema como este es la siguiente:

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

$$f_{obj} = 2 \log f_1(g) + \log f_2(i) + \frac{1}{2} \log f_3(c_f, c_v) + \frac{1}{2} \log f_4(k)$$

$$+ \log f_5(h) + \frac{1}{2} \log f_6(n, m) + \log f_7(p)$$

Función de adaptabilidad

El signo que antepone a cada uno de los factores en una función de adaptabilidad, indica el deseo de maximizar o maximizar o minimizar. En este caso todos los factores son positivos por lo que se evidencia la necesidad de maximizar cada una de las propiedades que entran a participar de este proceso.

Cada función que participa en la sumatoria toma en consideración cálculos que se realizan con los genomas (variables de entrada) que fueron identificados inicialmente. A continuación se enuncian las variables parametrizadas que entran a participar a manera de genomas en el algoritmo genético;

- Altura del espacio
- Ancho del vano
- Alto del vano
- Alto o ancho del área cerrada del vano

La introducción de factores multiplicativos y de la función logarítmica dentro de la función de adaptabilidad (fitness) tiene como fin evitar el comportamiento lineal de la misma. No se deseaba que los componentes de la función de adaptabilidad fueran lineales con el fin de impedir que las soluciones tendieran a los casos extremos.

El método utilizado fue la premiación de los factores a través de pesos multiplicativos para el logaritmo natural de cada factor. A mayor peso, la variable sería más considerada dentro de la función de fitness, identificando con ello que algunas relaciones (como la relación vano planta) eran más importantes a la hora de satisfacerlas para conseguir mejores condiciones de confort que otras (ej. Porcentaje de apertura permanente). En otras palabras un cambio en una de las variables con más peso representa una mayor variación en la función de adaptabilidad (fitness) que un cambio en otra menos determinante.

Cada uno de los valores que entran a participar en la función de fitness se define por medio del cálculo de funciones a trozos que entregan valores dependiendo del rango en que se encuentre su entrada. Es importante resaltar que cada una de las variables sumadas en la función de adaptabilidad puede asumir los mismos valores pero bajo evaluaciones diferentes como lo muestran las funciones respectivas, con el fin de establecer una misma escala para estas. Los índices usados en las funciones que se describen en párrafos

sucesivos y sus significados, se encuentran en la tabla 5.3.

La figura 5.4 presenta el espacio modelado paramétricamente y la nomenclatura utilizada para representar sus dimensiones.

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

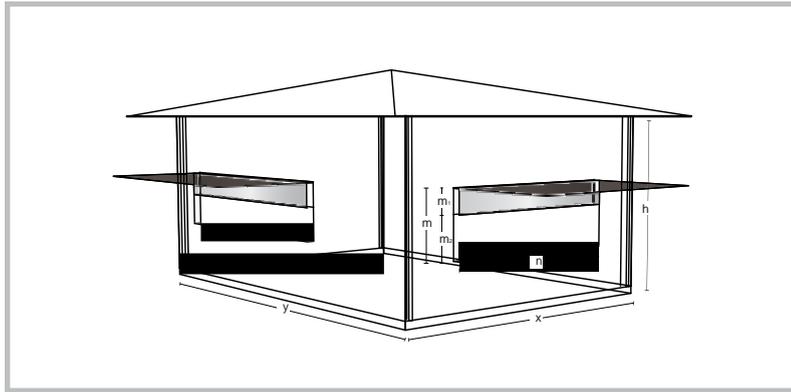


Figura 5.4 Ubicación de la nomenclatura en un ejemplo de optimización.

Tabla 5.3 Nomenclatura utilizada en la función de adaptabilidad

	Ancho planta
	Largo planta
	Altura del espacio
	Ancho del vano
	Alto del vano
	Altura lleno
	Altura vacío

$$f_1(g) = \begin{cases} 0, & g < 33.30 \\ 10, & 33.30 \leq g < 41.36 \\ 15, & 41.36 \leq g \leq 41.76 \\ 10, & 41.76 < g \leq 49.83 \\ 0, & g > 49.83 \end{cases}$$

Función relación vano-planta (g)

Teniendo en cuenta las condiciones presentados en la figura 5.1 y siendo el 41,56% el valor ideal para la relación vano/planta se calificó con 15 el valor de la función si dicha relación se encuentra entre el 41.36% y 41.76%. Sin embargo, si el valor de la relación se encuentra por fuera del intervalo mencionado anteriormente pero sigue estando entre el máximo (49.83%) y el mínimo (33.30%) permitido, se asigna un valor de 10 a la función. Por último, si la relación se sale de los rangos permitidos, la función toma el valor de 0.

$$f_2(i) = \begin{cases} 0, & i < 3.61 \\ 10, & 3.61 \leq i < 33.15 \\ 15, & 33.15 \leq i \leq 33.45 \\ 10, & 33.45 < i \leq 62.99 \\ 0, & i > 62.99 \end{cases}$$

Apertura permanente (i)

El valor asignado a la variable que representa la relación de apertura permanente (i) se otorgó según la siguiente función: Siendo el 33.30% el valor ideal para la apertura permanente, se puntuó con un valor de 15 si dicho porcentaje se encuentra entre el 33.15% y 33.45%. Sin embargo, si el valor de la relación

se encuentra por fuera del intervalo mencionado anteriormente, pero sigue estando entre el máximo (62.99%) y el mínimo (3.61%) permitido se asigna un valor de 10 a la función. Por último, si la relación se sale de los rangos mencionados, la función toma el valor de 0.

$$f_3(c_f, c_v) = \begin{cases} 0, & c_v < c_f \\ 15, & c_v = c_f \\ 0, & c_v > c_f \end{cases}$$

Disposición de aperturas horizontal caso: 1 vano, 1 fachada

Dado que para la disposición de aperturas horizontales se consideraron tres casos: 1 vano-1fachada, 2 vanos-1 fachada y 2 vanos, 2 fachadas fue necesaria la definición de tres funciones a trozos que representaran dicho lineamiento dependiendo de la situación.

Para el primer caso (1 vano-1 fachada) se otorgaron los valores de la función de la siguiente manera: si el centro del vano (coincide con el centro de la fachada (el valor asignado es 15, en cualquier otro caso el valor que toma la función es 0.

$$d_1(c_{v1}, c_{f1}) = \begin{cases} 0, & c_{v1} < c_{f1} \\ 15, & c_{v1} = c_{f1} \\ 0, & c_{v1} > c_{f1} \end{cases}$$

$$d_2(c_{v2}, c_{f2}) = \begin{cases} 0, & c_{v2} < c_{f2} \\ 15, & c_{v2} = c_{f2} \\ 0, & c_{v2} > c_{f2} \end{cases}$$

$$f_3(c_f, c_v) = d_1(c_{v1}, c_{f1}) + d_2(c_{v2}, c_{f2})$$

Disposición de aperturas horizontal caso: 2 vanos, 1 fachada

5

Para el segundo caso (2 vanos- 1 fachada) se otorgaron los valores de a la función de la siguiente manera: La fachada es dividida sobre el eje horizontal en partes iguales y cada uno de los vanos es ubicado en una de las subdivisiones. Para cada una de las partes, se tiene una función que toma el valor de 15 siempre que el centro del vano coincida con el centro de la división a la que pertenece (, de no ser así la función toma el valor de 0. Finalmente los valores de cada función son sumados para tener el valor final de la evaluación para este caso.

$$f_3(d_{max}, d_v) = \begin{cases} 0, & d_v < d_{max} \\ 15, & d_v = d_{max} \\ 0, & d_v > d_{max} \end{cases}$$

Disposición de aperturas horizontal caso: 2 vanos, 2 fachadas

Para el tercer caso (2 vanos-2 fachada) se otorgaron los valores de la función de la siguiente manera: si los vanos se encuentran en fachadas opuestas, cada uno se evalúa según el primer caso. Si los vanos se encuentran en fachadas adyacentes, el valor asignado a la función será 15 siempre que la distancia entre los vanos sea la máxima (que se pueda alcanzar. De lo contrario, el valor que toma la función es 0.

$$f_4(k) = \begin{cases} 0, & k < 1.2 \\ 10, & 1.2 \leq k < 1.44 \\ 15, & 1.44 \leq k \leq 1.46 \\ 10, & 1.46 < k \leq 1.7 \\ 0, & k > 1.7 \end{cases}$$

Disposición de aperturas en sentido vertical (k)

Los valores que toma la función que representa la disposición de aperturas en sentido vertical (k) fueron determinados por las siguientes condiciones: Siendo 1.45 metros el promedio de altura de los ojos las personas que habitan la zona estudiada, se puntuó con un valor de 15 si la apertura se encuentra ubicada entre 1.44 metros y 1.46 metros. Además, si la ubicación se encuentra por fuera del intervalo anterior pero se mantiene ente 1.2 metros y 1.7 metros, se asigna un valor de 10 a la función. En cualquier otro caso, el valor es 0.

$$f_5(h) = \begin{cases} 0, & h < 2.67 \\ 10, & 2.67 \leq h < 3.35 \\ 15, & 3.35 \leq h \leq 3.39 \\ 10, & 3.39 < h \leq 4.08 \\ 0, & h > 4.08 \end{cases}$$

Altura del espacio (h)

Los valores que puede tomar la función que representa la altura del espacio (h) fueron asignados de la siguiente manera; 15 cuando la altura del espacio se encuentra entre 3.35 metros y 3.39 metros, sin embargo si la altura del espacio no se encuentra dentro de dicho intervalo pero se mantiene entre 2.67 metros y 4.08 metros se da un valor de 10 a la función mencionada. En cualquier otro caso la función toma el valor de 0.

$$f_6(n, m) = \begin{cases} 0, & n > m \\ 15, & n < m \end{cases}$$

Proporción entre alto y ancho(n ancho, m alto)

La función que toma en consideración la proporción entre alto (m) y ancho (n) toma un valor de 15 cuando el vano es más alto que ancho, en el caso el resultado de la función es 0.

$$f_7(p) = \begin{cases} 0, & p < 1.25 \\ 10, & 1.25 \leq p \end{cases}$$

Relación entre dos aperturas (p)

Por último, cuando se tiene más de una apertura existe una función que evalúa la relación existente entre estas (p). Se ha determinado que 1.25 es la relación óptima entre la apertura de entrada y salida del aire de las aperturas permanentes de cada vano.

Tabla 5.4 Índices usados en las funciones descritas anteriormente y su respectivo significado.

RELACIÓN		FÓRMULA	ÍNDICE	SIGNIFICADO ÍNDICE
Relación vano- planta		$f_1(g)$	g	Relación vano planta (%) (vano/planta)
Relación Apertura permanente		$f_2(i)$	i	Relación apertura permanente (%)
Disposición de aperturas horizontal	caso: 1 vano, 1 fachada	$f_3(c_f, c_v)$	c_f	Centro fachada
			c_v	Centro vano
	caso: 2 vanos, 1 fachada	$d(c_{v1}, c_{f1})$	c_{v1}	Centro vano 1
			c_{f1}	Centro fachada subdivisión 1
		$d(c_{v2}, c_{f2})$	c_{v2}	Centro vano 2
			c_{f2}	Centro fachada subdivisión 2
	caso: 2 vanos, 2 fachadas	$f_3(d_1, d_2)$	d_1	Evaluación: vano1 subdivisión 1
			d_2	Evaluación: vano2 subdivisión 2
caso: 2 vanos, 2 fachadas	$f_3(d_{max}, d_v)$	d_{max}	Distancia máxima entre vanos	
		d_v	Distancia entre vanos	
Disposición de aperturas vertical		$f_4(k)$	k	Ubicación vano en eje vertical
Altura del espacio		$f_5(h)$	h	Altura del espacio
Proporción entre alto y ancho		$f_6(n,m)$	n	Ancho vano
			m	Alto vano
Relación entre dos aperturas		$f_7(p)$	p	Relación entre área apert. perm. de vanos (vano1/vano2)

Como se hizo alusión en un inicio, la utilización de un motor como Galapagos®, representa aun más ventajas de las ya mencionadas, entre ellas también se encuentran: la posibilidad de configurar de manera sencilla aspectos de definición del algoritmo genético como la cantidad de individuos en las poblaciones de las generaciones a evaluar, la facilidad que provee para realizar mutaciones en cualquier momento y el registro gráfico de cada una de las generaciones (con sus respectivos individuos) para su análisis posterior a la optimización. Además, durante la ejecución de la optimización Galapagos® proporciona al usuario una serie de datos y gráficos concernientes al proceso, dándole la alternativa de intervenir cuando le parezca apropiado o simplemente para

llevar un registro de las soluciones y poder tomar decisiones sobre los resultados finales.

La interfaz gráfica de Galapagos® que se observa en la figura 5.5, permite observar un análisis estadístico de cada generación, donde se presenta su mejor y peor individuo y el promedio de fitness de los genomas. También presenta a todos los individuos de una población como puntos en un plano, los valores alcanzados por cada variable que se está modificando durante la optimización y por último muestra el valor de adaptabilidad de cada individuo en una generación determinada.

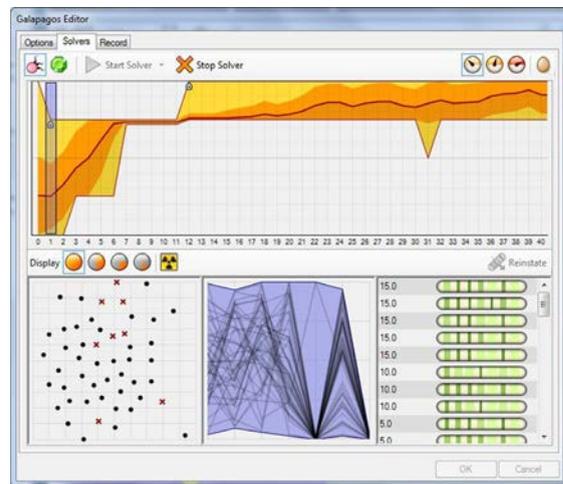


Figura 5.5. Interfaz gráfica de Galápagos con información estadística de cada optimización.

5.7 Aplicación de la herramienta en la concepción de un proyecto de vivienda.

Para iniciar la exploración de las herramientas y los procedimientos mencionados anteriormente, en búsqueda de conseguir implementar las condiciones de diseño para conseguir el confort, fue preciso comenzar por la definición de un espacio simple. Este paso inicial tuvo como fin, definir los procedimientos, estrategias y algoritmos que se debían seguir para la optimización de vanos, para posteriormente enfrentarse a los casos de estudio desde esta propuesta de análisis.

En el modelo inicial, al ser la concepción sencilla de un proyecto de vivienda, se modela paramétricamente un espacio con muros de un espesor de 0.15 m y una cubierta cuatro aguas.

El modelo cuenta con parámetros que pueden ser definidos por el usuario como: dimensiones de la planta, número de protecciones horizontales para cada vano y, la orientación y cantidad de aperturas (una o dos) en el espacio modelado, ya sea en una o en diferentes fachadas.

Por su parte, Galapagos® (componente de software que se encarga de la optimización), modifica parámetros como: alto del espacio, ancho y alto del vano, tomando en cuenta la ubicación del mismo dentro de la fachada. También modifica las dimensiones de la apertura permanente con la que cuenta cada vano.

En cuanto a la formulación del problema de optimización, entran a considerarse las variables mencionadas anteriormente y restricciones especiales para el espacio. Como se ha indicado en apartados anteriores, la función de adaptabilidad entrega un valor que en cada individuo varía según sus dimensiones y la forma en que estas se relacionan con aspectos como la ventilación, iluminación natural y ubicación en fachada.

Dentro del entorno de Grasshopper®, la parametrización de lo descrito se hace por medio de componentes geométricos que cuentan con definiciones auto ajustables para todo tipo de formas y operaciones. Por último, para la ejecución del algoritmo genético que busca maximizar la función de adaptabilidad, se define en Galapagos® una población de 50 individuos para cada generación.

En la figura 5.6ª y b, se muestra la solución más apta para un espacio de 3x4 metros con una ventana orientada hacia el Oeste. La solución dada por la herramienta le sugiere al diseñador la utilización de vegetación y de aleros para protección del vano.

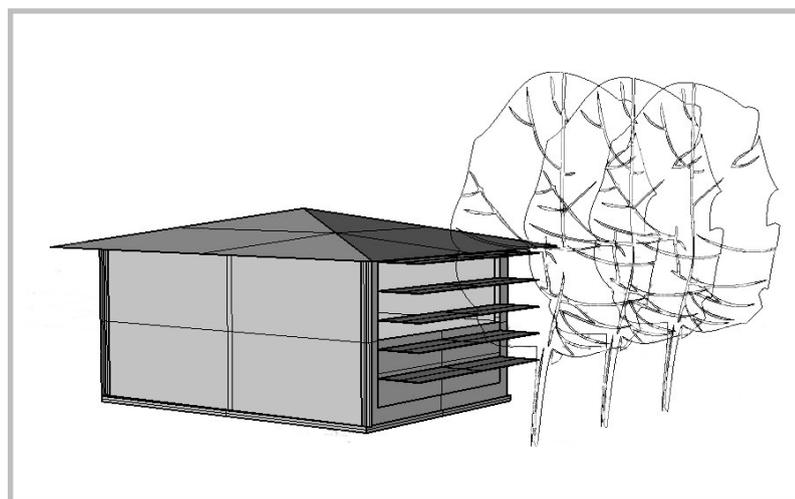


Figura 5.6a. Solución para un espacio 12 m² orientado al poniente, latitud 3°Norte.

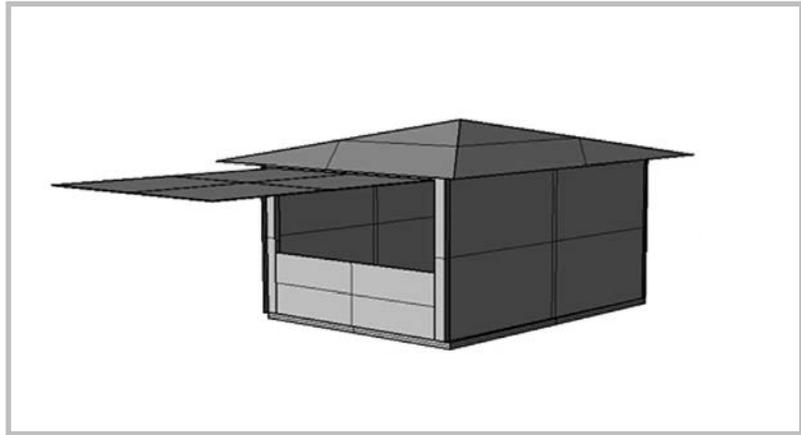


Figura 5.6b. Solución para un espacio 12 m² orientado Sur latitud 3°Norte.

5

5.7.1 Ejemplos de aplicación de la herramienta en los casos de estudio.

La aplicación de la función de adaptabilidad desarrollada se realizó como ejemplo en tres proyectos de los casos de estudio que obtuvieron una baja calificación en términos de confort en capítulos anteriores. Los tres proyectos escogidos corresponden a una vivienda urbana, una suburbana y un proyecto comercial suburbano, de tal manera que se pudieran ver las soluciones optimizadas en una mayor variedad de proyectos.

Se escogieron los dos proyectos suburbanos optimizados para analizarlos en capítulo siguiente y comprobar el desempeño de sus aperturas de fachada con respecto al confort térmico. En las figuras 5.7, 5.8 y 5.9, se muestran las diferentes etapas de optimización para cada vivienda, hasta llegar a las últimas generaciones que permiten ver las opciones de vanos que se acercan al óptimo deseado según las condiciones de diseño desarrolladas. En las últimas generaciones, se observan aperturas de grandes dimensiones en todas las orientaciones, con protecciones definidas inicialmente por el usuario y para orientaciones menos favorables como Este-Oeste aparece la opción de vegetación como protección adicional necesaria. En estos ejemplos se puede observar que las propuestas originales del arquitecto no difieren sustancialmente de las optimizadas, la herramienta logra reproducir algunas prácticas comunes como el gran tamaño de los vanos y su posición central en la fachada. Todas las soluciones generativas tienen en común la utilización de protecciones frente al vano y dependiendo de la orientación protección adicional con vegetación.

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO

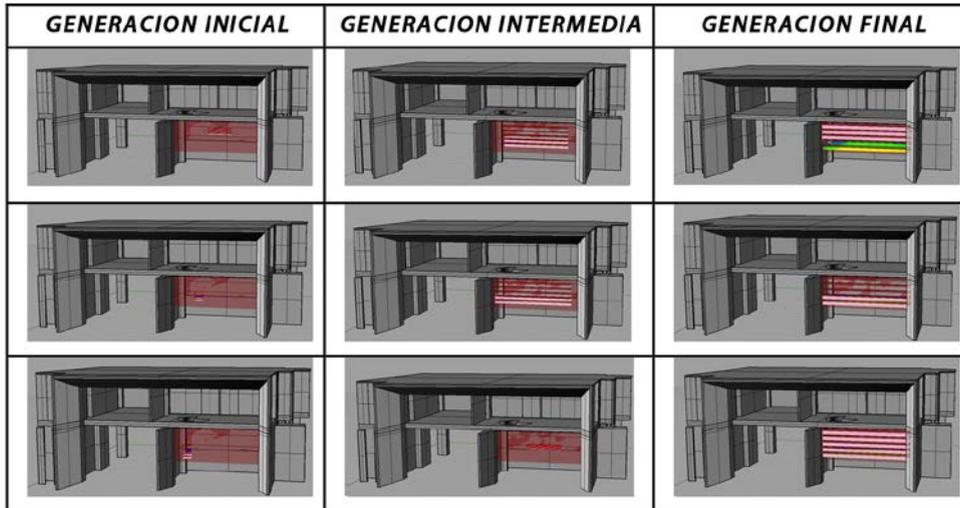


Figura 5.7 Diversidad de soluciones para un vano de la vivienda urbana “El Nispero” en tres momentos de la optimización.

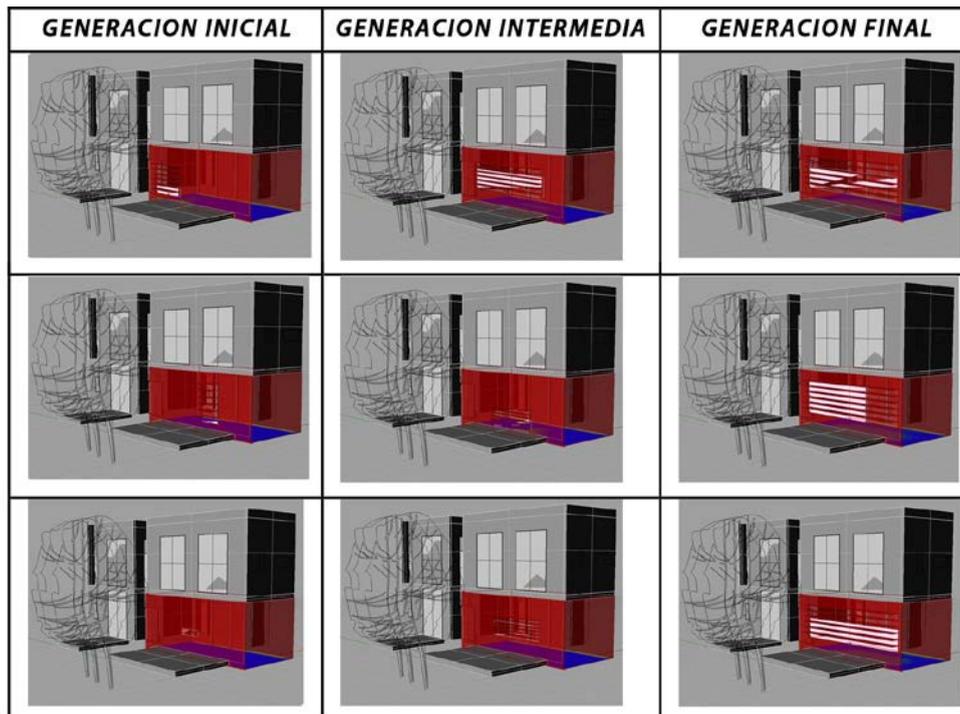
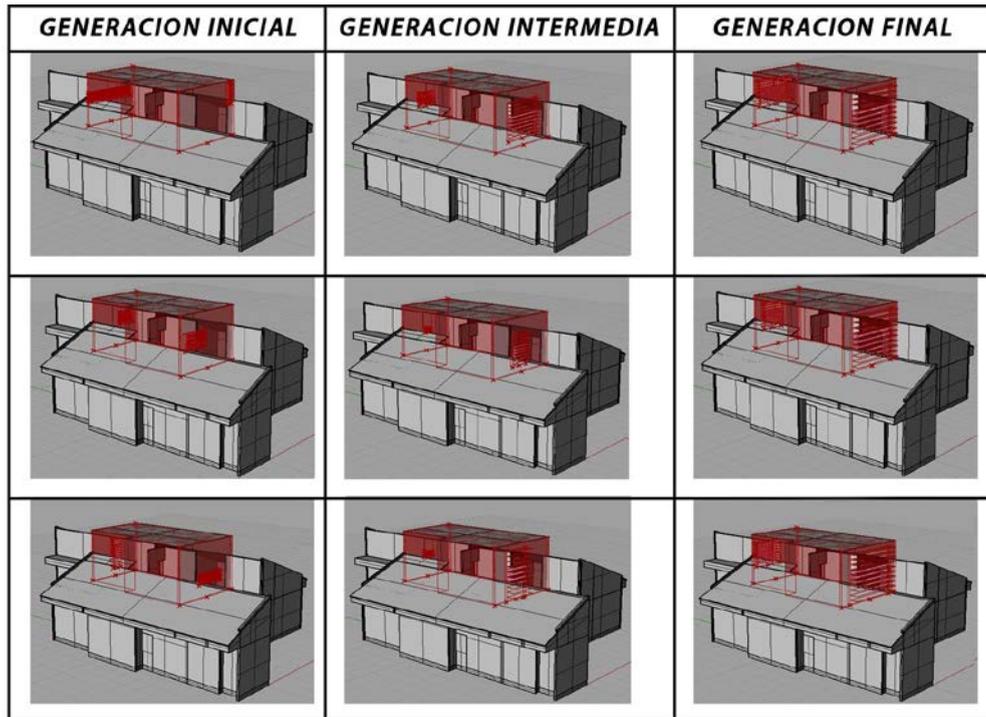


Figura 5.8 Diversidad de soluciones de un vano para la vivienda suburbana “El Hormiguero” en tres momentos de la optimización. Esta optimización tiene como solución complementaria la vegetación por la orientación Oeste del vano.



5

Figura 5.9 Diversidad de soluciones de vanos para la vivienda comercial suburbana “Club del Campo” en tres momentos de la optimización Esta optimización tiene como particularidad la solución de dos vanos en dos fachadas diferentes.

En las figuras 7.10, 7.11 y 7.12, se muestran las variaciones que tuvieron las propuestas originales de vanos con respecto a las soluciones de la herramienta generativa, se observa en todos los casos que las relaciones geométricas planteadas por los arquitectos no distan de las generadas por la herramienta, la diferencia radica en la aplicación de las protecciones solares propuestas con respecto al diseño original.

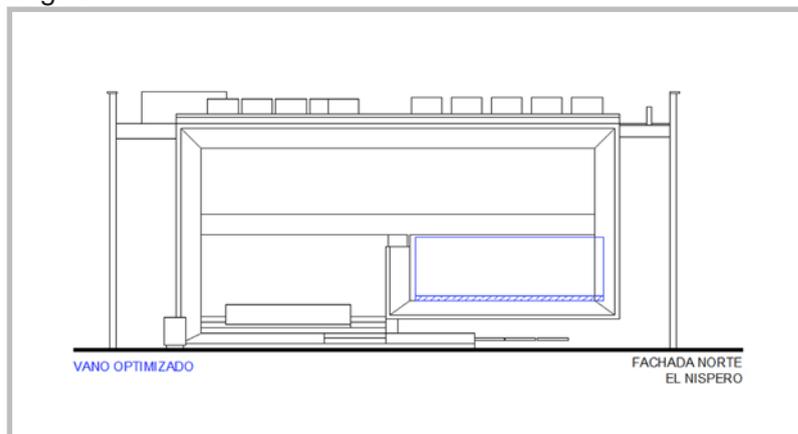


Figura 5.10. Vano original y optimizado para fachada Norte vivienda “El Nispero”. El vano original tiene una relación vano planta de 42% con apertura permanente de 0% la nueva propuesta tiene una relación vano planta de 37.10% con apertura de

8.2%.

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO



Figura 5.11. Vano original y optimizado para fachada Oeste vivienda “El Hormiguero”. El vano original tiene una relación

vano

planta de 43% con apertura de 32% la nueva propuesta tiene una relación vano planta de 42% con apertura de 33%.

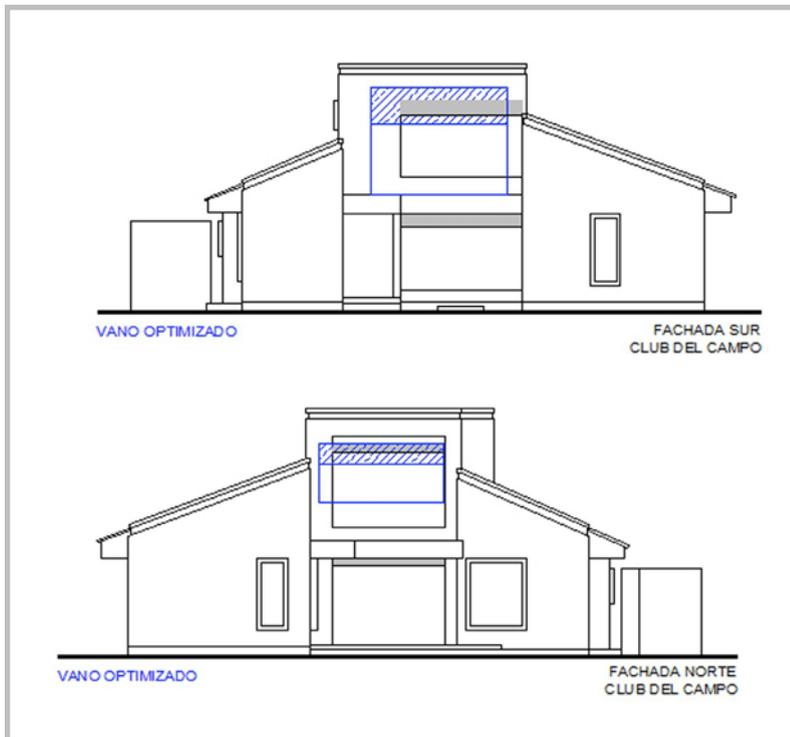


Figura 5.12. Vano original y optimizado para fachadas Norte y Sur vivienda “Club del campo”. El vano original tiene una relación vano planta de 47% con apertura de 11% la nueva propuesta tiene una relación vano planta de 41% con apertura de 33%.

El objetivo de la implementación lineamientos de diseño en herramienta generativa, es incluir en etapas conceptuales de un proyecto de vivienda tropical su utilización, entendiendo que sus soluciones no pueden ser interpretadas como soluciones óptimas o únicas, sino más bien como sugerencias para que el diseñador explore las nuevas posibilidades que puede haber entre la sostenibilidad, la

computación y el diseño arquitectónico.

Conclusiones

S

El número de resultados obtenidos en comparación con el tiempo de ejecución del algoritmo genético es mínimo, demostrando así como el uso de estas herramientas permite que el proceso de diseño deje de ser intuitivo y se vuelva más cuantificado y probado.

Gracias a la utilización de herramientas generativas que abarcan de manera rápida los espacios de búsqueda, se pueden encontrar un mayor número de soluciones que se hubieran escapado de la visión del diseñador, dejando en evidencia que la evaluación humana es lenta, si se compara con la evaluación de un algoritmo genético a su función de adaptabilidad. Las herramientas computacionales y el proceso generativo se convierten en aliados del diseñador, porque son capaces de generar múltiples respuestas aptas a un problema en corto tiempo.

Proyectar haciendo uso de diseño paramétrico y algoritmos genéticos, permite obtener soluciones arquitectónicas basadas en la sostenibilidad y el bienestar humano desde etapas iniciales del proyecto, en este caso sugiriendo resultados que contribuyen a generar condiciones de confort.

6 CAPÍTULO

Validación y comprobación

Introducción

Existen pocas herramientas capaces de evaluar y proveer información acerca de la dimensión apropiada de vanos y su potencial en eficiencia energética y confort (Aris, et. al., 2006), la aplicación de algoritmos genéticos presenta beneficios en la optimización de los esquemas al inicio de un proyecto pero es necesario validar los resultados. En este capítulo se hace una comprobación de los resultados arrojados por la herramienta generativa, mediante la utilización de Ecotect®, la cual permite evaluar aspectos relacionados con el confort lumínico y térmico.

6.1 Evaluación de desempeño

El desempeño de un vano puede ser evaluado teniendo en cuenta diferentes criterios, la herramienta utilizada (Ecotect®) permite analizar mediante la simulación gráfica el desempeño térmico y lumínico del vano y el espacio que afecta. La utilización de este tipo de herramientas permite tomar decisiones sostenibles con respecto al impacto que pueden tener los factores ambientales en el desempeño de un edificio en un sitio determinado.

Se practicaron simulaciones para cada uno de los dos de los casos de estudio que presentaron niveles de des confort con respecto a altas temperaturas, con el vano original y el vano más apto, para comparar los resultados obtenidos y comprobar si el diseño de un vano puede mejorar los niveles de calidad ambiental interior de una vivienda en el trópico.

En cada simulación se analizaron tres aspectos; [1] La proyección de sombras permitió visualizar el paso del sol durante todo el año en el edificio y el entorno, además de la entrada de la luz solar al interior de la vivienda. [2] Se calcularon los niveles de iluminancia en cada punto del espacio del vano propuesto por la herramienta generativa, para determinar el potencial de las protecciones solares propuestas en las diferentes orientaciones. [3] Finalmente se hizo el cálculo de desempeño térmico para cada zona analizada sin sistemas de refrigeración, sin equipos y sin personas.

6.1.1 Caso K (El hormiguero – vivienda sub urbana) Este vano de vivienda suburbana obtuvo una calificación de 3,9 sobre siete puntos posibles en el confort total y 3.5 en cuanto al confort térmico (tabla 6.1), constituyéndose en un buen caso para implementación de un vano optimizado y su posterior evaluación.

Tabla 6.1. Calificación de confort del vano K de la vivienda “El Hormiguero”.

	VANO	VIVIENDA	CONFORT LUMÍNICO	CONFORT TÉRMICO	CONFORT HR	CONFORT PSICOLÓGICO	CONFORT TOTAL
	K	El Hormiguero	5.61	3.5	4.33	5	3.94

6.1.1.1 Proyección de sombras

Esta vivienda está orientada con sus fachadas largas en sentido Este-Oeste, lo cual implica una solución de apertura acompañada de vegetación y protecciones solares exteriores tipo celosía en toda el área exterior del mismo, para

aumentar el coeficiente de sombra en el interior del espacio (figura 6.1). Este tipo de orientaciones presenta dificultad para minimizar las ganancias por radiación solar en la fachada Oeste y restaurar el confort interior en horas de la tarde.

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO

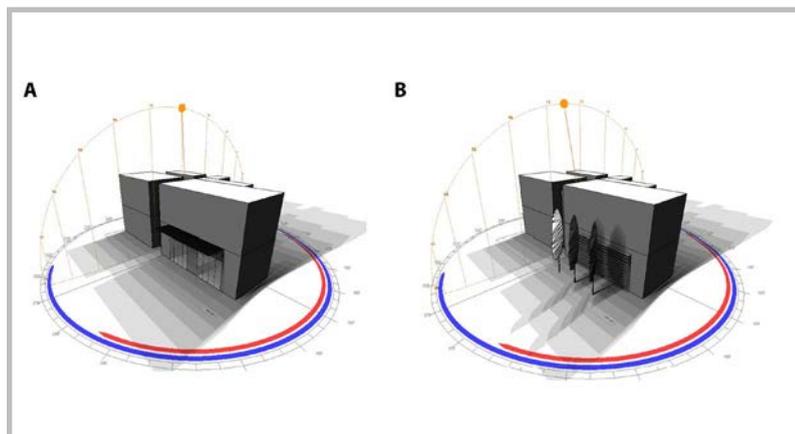


Figura 6.1 Proyección de sombras anuales de la vivienda El Hormiguero. A Proyecto original. B Proyecto modificado.

6

6.1.1.2 Entrada de luz natural

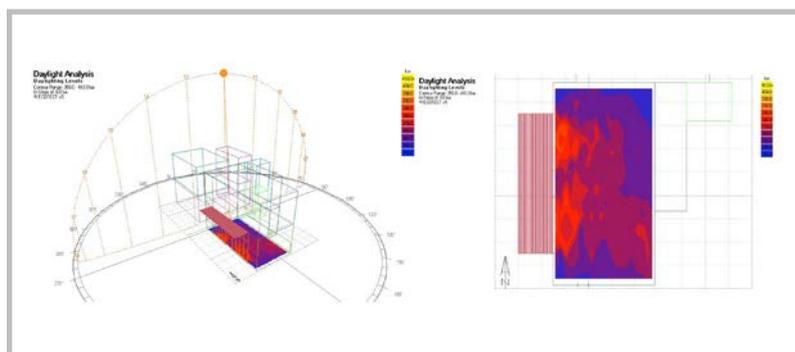


Figura 6.2. Análisis luz natural en la vivienda El hormiguero

Se simuló la distribución de luz natural en el mismo espacio para la vivienda original (figura 6.2) y modificada, se calculó la iluminancia teniendo en cuenta el estándar internacional UNE EN

12464-1 de 2003 para iluminación para espacios como salones con 300 Lux. La iluminación para el caso modificado presenta una distribución más uniforme en el piso del recinto, sin ser una mejoría significativa (figura 6.3), el caso original no presentó problemas de iluminancia. Se puede concluir que la cantidad de protecciones que pueda tener un vano en la parte exterior no afectan la calidad de la luz natural pero sí podrían afectar el confort psicológico al reducir la visibilidad hacia el exterior.

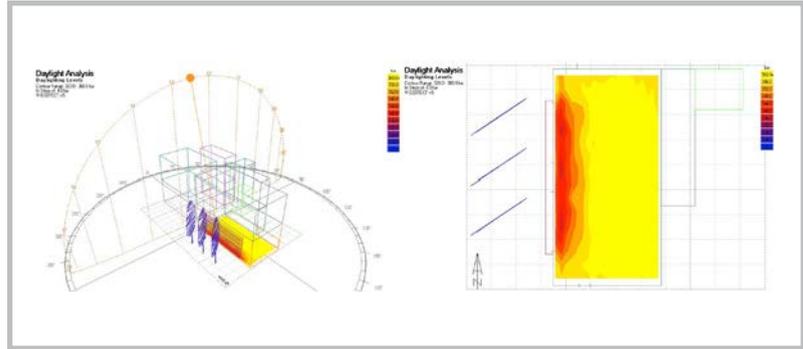


Figura 6.3 Análisis de luz natural en la vivienda el hormiguero con el vano optimizado.

6.1.1.3 Desempeño térmico

En esta vivienda se optimizó un vano con orientación Oeste y adicionalmente se propone como solución vegetación para mitigar las ganancias de calor en horas de la tarde. Se puede observar en la figura 6.4, que la temperatura interior con el vano más apto se encuentra por debajo de la temperatura interior con el vano original y adicionalmente logra entrar en la banda de confort todo el día a excepción de las 11:00 horas, donde la temperatura alcanza a subir 0.3 °C por encima de la banda de confort. En el día más cálido del año, la temperatura de confort interior con el vano más apto, sale de la banda de confort, pero sigue estando por debajo de la temperatura interior con el vano original.

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO

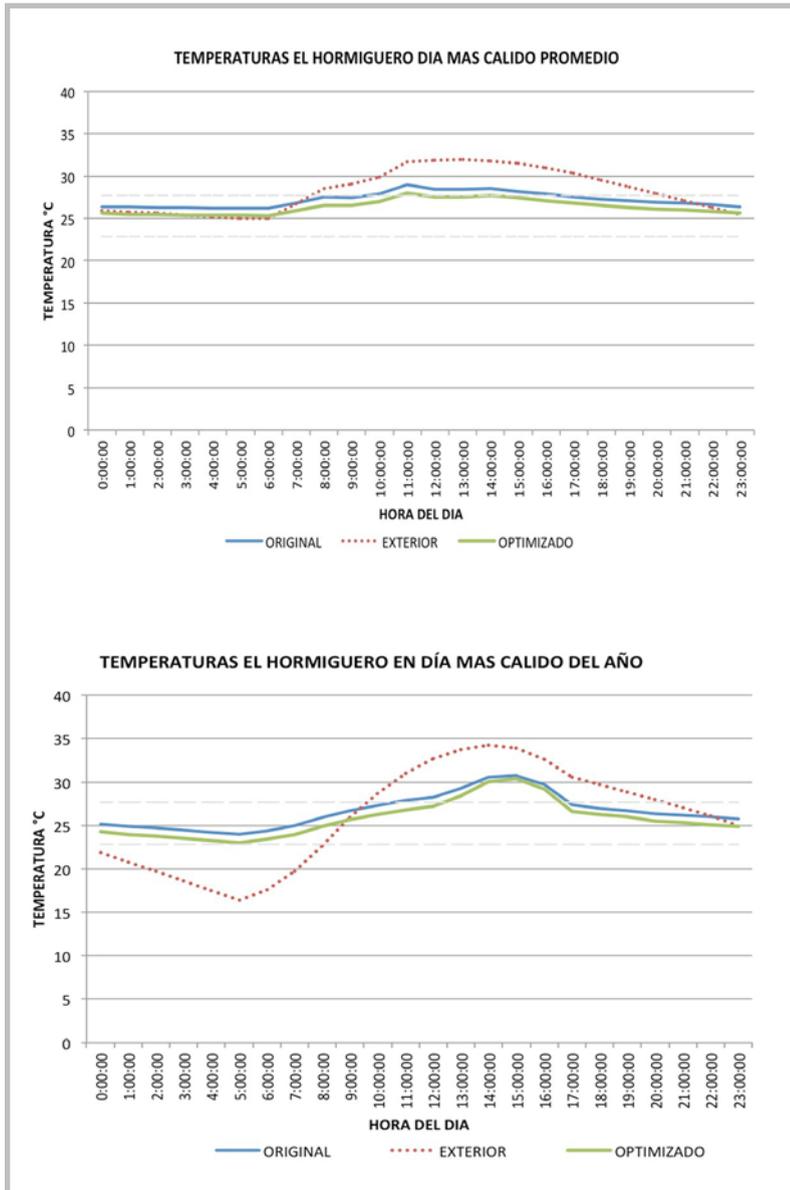


Figura 6.4 Gráfico comparativo de temperaturas en el día más cálido promedio y más cálido con el vano original, y el vano más apto del “Club del Campo”.

En la tabla 6.2, podemos ver que la diferencia de temperatura interior en los días más cálidos puede alcanzar 0.8°C a 0.9°C de diferencia en las horas más críticas de calor entre las 12:00 y las 16:00

Tabla 6.2 Temperaturas día promedio más cálido. Simulación vivienda “El Hormiguero”.

TEMPERATURAS DÍA PROMEDIO MÁS CÁLIDO EL HORMIGUERO				
0:00:00	25,9	26,4	25,6	0,8
1:00:00	25,7	26,4	25,5	0,9
2:00:00	25,6	26,3	25,5	0,8
3:00:00	25,4	26,3	25,4	0,9
4:00:00	25,2	26,2	25,4	0,8
5:00:00	25	26,2	25,4	0,8
6:00:00	25	26,2	25,3	0,9
7:00:00	26,7	26,8	25,9	0,9
8:00:00	28,5	27,5	26,5	1
9:00:00	29,1	27,4	26,5	0,9
10:00:00	29,9	27,9	27	0,9
11:00:00	31,7	29	28	1
17:00:00	30,3	27,5	26,8	0,7
18:00:00	29,5	27,3	26,5	0,8
19:00:00	28,7	27,1	26,3	0,8
20:00:00	27,9	26,9	26,1	0,8
21:00:00	27,1	26,8	26	0,8
22:00:00	26,3	26,6	25,8	0,8
23:00:00	25,5	26,4	25,6	0,8

6

6.1.2 Caso “P” (Club del Campo – Vivienda sub urbana)

El vano P de la vivienda “Club del Campo”, obtuvo una calificación de confort total de 3.71, y de confort térmico de 2.92 sobre 7 puntos (tabla 6.3), constituyéndose en un caso apropiado para la modificación de su solución original y posterior evaluación de esta.

Tabla 6.3 Calificación de confort del vano P de la vivienda “Club del Campo”.

	P	Club del Campo	6.14	2.92	7	3.5	3.71
---	---	----------------	------	------	---	-----	------

6.1.2.1 *Proyección de sombras*

La orientación de los vanos de este espacio está sentido Norte-Sur, aún siendo esta una posición ideal, el vano obtuvo una calificación baja respecto a las condiciones térmicas interiores y alta respecto al confort lumínico. El espacio afectado por este vano tiene dos aperturas, una en cada dirección, así que se utilizó la herramienta para generar dos vanos.

La ubicación del espacio en segundo nivel de manera aislada (figura 6.5), hace que las paredes Este-Oeste y la cubierta plana reciban una gran cantidad de radiación durante todo el día y el espacio se sobrecaliente llegando a tener temperaturas interiores más altas que las exteriores. Esta condición hace muy difícil la mitigación de la acumulación de calor en este espacio solamente con el re-diseño de los vanos.

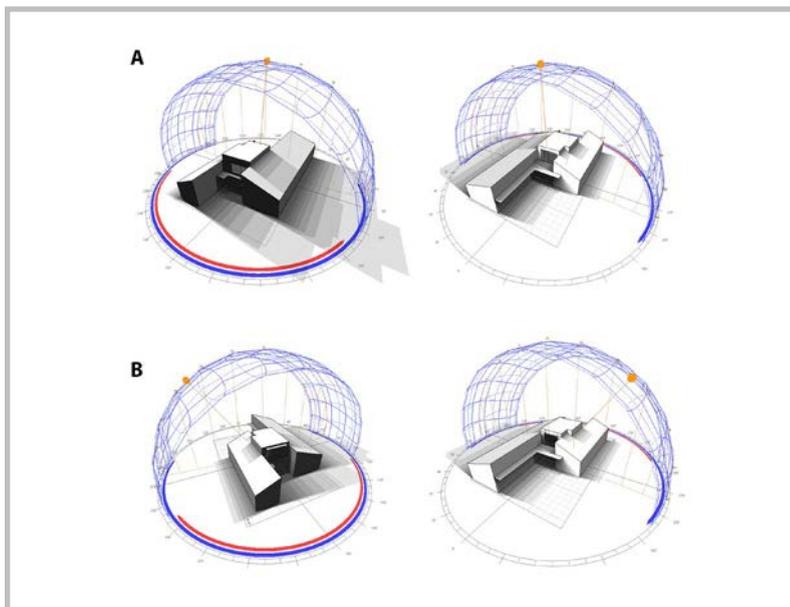


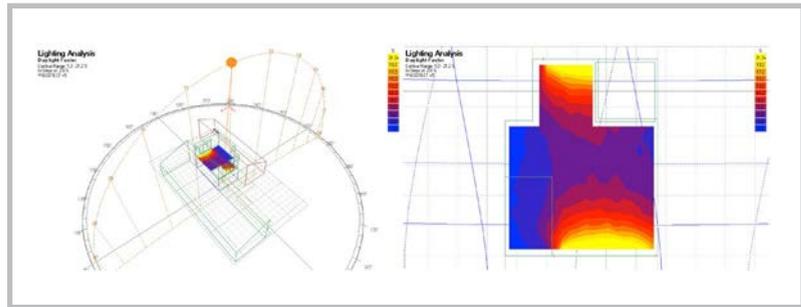
Figura 6.5 Proyección de sombras anuales de la vivienda "Club del Campo". A Proyecto original. B Proyecto modificado.

6.1.2.2 *Entrada de luz natural*

Podríamos afirmar que en el trópico es necesario proveer protecciones solares en todas las orientaciones y para este caso con soluciones orientadas Norte-Sur, la herramienta dio como resultado una serie de celosías exteriores en sentido

horizontal para protección de la radiación en horas cercanas al medio día. Esta solución de vanos permite que la luz natural se concentre

en puntos cercanos al vano con orientación Sur que puede ser corregido con elementos de protección interior como persianas o cortinas. Las variaciones que presenta la solución de vanos más apta con respecto a las aperturas originales no presentan ninguna significancia, ya que las condiciones interiores son similares y el espacio tuvo una evaluación de confort lumínico aceptable (figuras 6.7 y 6.8).



6

Figura 6.6 Análisis de luz natural en la vivienda “Club del Campo” original.

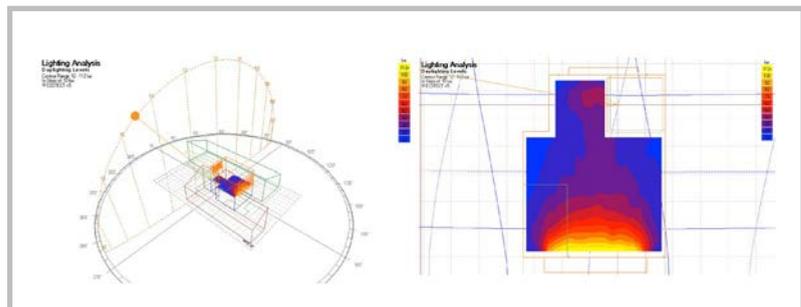


Figura 6.7 Análisis de luz natural en la vivienda “Club del Campo” con el vano optimizado.

6.1.2.3 Desempeño térmico

Con la optimización de dos vanos orientados Norte-Sur de esta vivienda, se observa que para el día más cálido del año en horas de la mañana, la temperatura exterior está por debajo de la zona de confort y la interior con el vano más apto se mantiene en el límite inferior de la zona. A medida que sube la temperatura exterior la del vano optimizado está unos grados por debajo de las otras dos (figura 6.8). De esta manera se puede afirmar que los vanos originales pueden ser modificados para un mejor desempeño térmico, y por consiguiente minimizar el consumo energético. Para los días más cálidos promedio la temperatura interior del espacio con la apertura optimizada se encuentra por debajo de la temperatura interior con el vano original desde las 8:00 a las 20:00 horas, con una diferencia de temperatura promedio de

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS
0.79°C durante ese espacio de tiempo.

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO

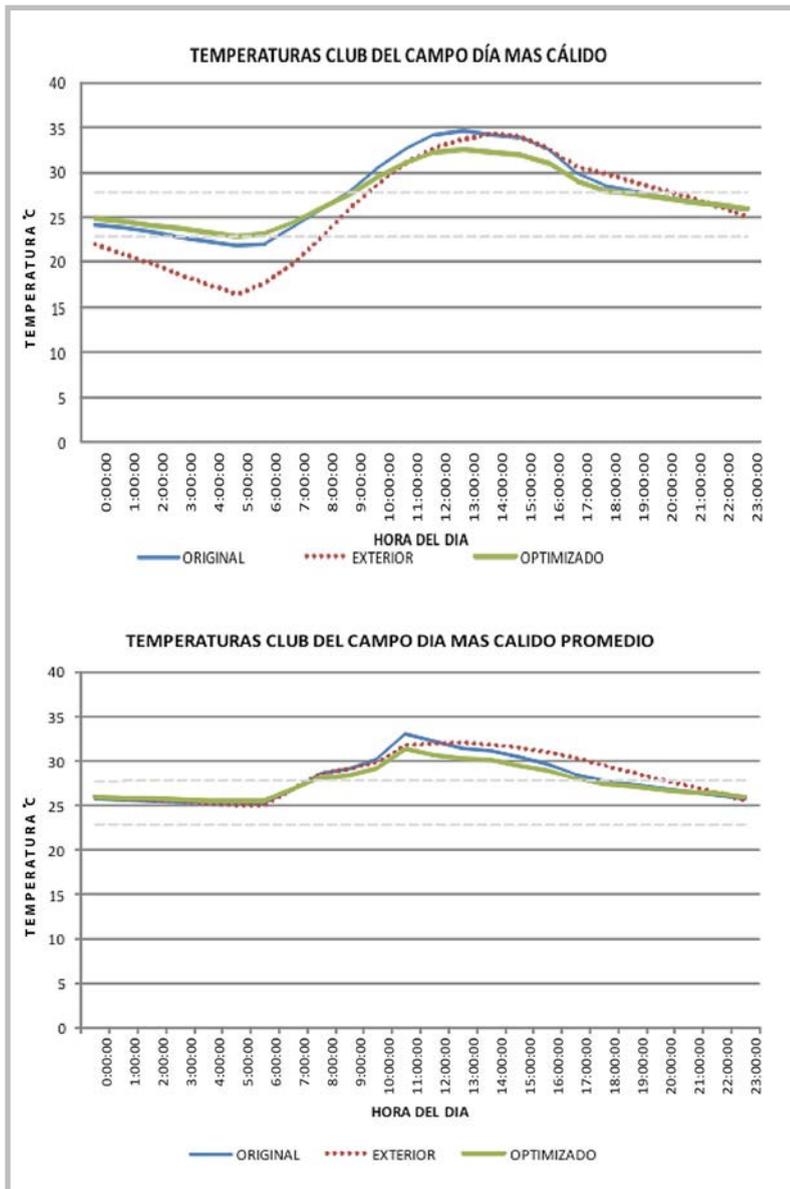


Figura 6.8. Gráfico comparativo de temperaturas en el día más cálido y más cálido promedio con el vano original, y el vano más apto del “Club del Campo”.

6

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Tabla 6.4. Registro de temperaturas interiores con vano original, más apto y exterior, en el día más caluroso del año para la vivienda “Club del Campo”.

0:00:00	21,9	24,2	24,8	-0,6
1:00:00	20,8	23,9	24,5	-0,6
2:00:00	19,7	23,4	24,1	-0,7
3:00:00	18,6	22,8	23,7	-0,9
4:00:00	17,5	22,3	23,3	-1
5:00:00	16,4	21,8	22,9	-1,1
6:00:00	17,6	22	23,1	-1,1
7:00:00	19,7	23,8	24,4	-0,6
8:00:00	22,7	25,9	26	-0,1
9:00:00	25,9	27,8	27,5	0,3
10:00:00	28,7	30,4	29,4	1
11:00:00	31	32,6	31	1,6
17:00:00	30,6	29,8	29	0,8
18:00:00	29,7	28,4	28	0,4
19:00:00	28,9	27,8	27,6	0,2
20:00:00	28	27,2	27,1	0,1
21:00:00	27,1	26,8	26,7	0,1
22:00:00	26,1	26,3	26,4	-0,1
23:00:00	25	25,8	26	-0,2

Con la modificación de dos vanos en el mismo espacio para el día más cálido, el promedio de temperatura es 1.9 °C más bajo en las horas críticas de calor desde las 12:00 hasta las 16:00 horas, La diferencia de temperatura entre el vano original y optimizado varía entre los 1.5 y 2 °C en las horas críticas (Tabla 6.4).

6.2 Validación de la herramienta con arquitectos

En este apartado se reportan los resultados de la presentación y validación de implementación de los lineamientos que resultaron de la investigación, con arquitectos estudiantes de maestría en arquitectura (Universidad de San Buenaventura – Cali), donde se evaluaron aspectos relacionados con la integración de la herramienta en el proceso de diseño de un proyecto de vivienda sostenible y la entrada-salida de datos. La encuesta elaborada consideró la importancia del efecto de toma de decisiones en etapas tempranas de diseño con respecto al desempeño final del edificio, ya que el soporte que pueda tener el arquitecto en esta etapa es de gran importancia (Weytjens, et al., 2012), más aún cuando pocas herramientas se han desarrollado para diseñar asegurando un desempeño deseado.

Para hacer la validación con usuarios se diseñó una aplicación

llamada CAPDIMA (captura y digitalización de dibujos a mano alzada) que le permite al arquitecto mediante el trazos en papel (figura 6.9), realizar rápidamente un boceto de un espacio que posteriormente será optimizado (figura 6.10). Ésta fue creada para facilitar la captura y digitalización de esquemas y planimetrías dibujadas a mano alzada, la cual emplea diferentes técnicas de visión por computador y cálculos matemáticos basados en intersecciones, análisis de puntos máximos, mínimos y promedios sobre contornos obtenidos tras la utilización de filtros de contraste.



Figura 6.9. Ingreso de datos mediante el dibujo a mano alzada con la ubicación de los vanos.

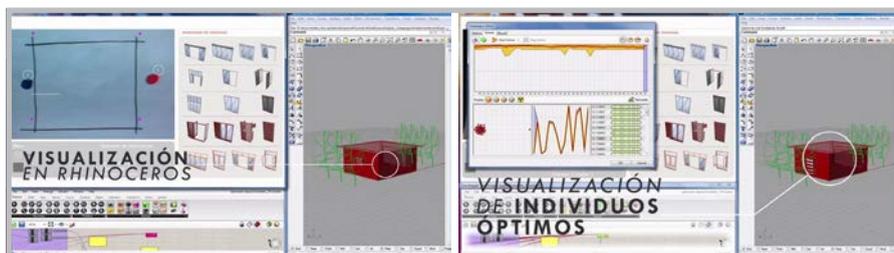


Figura 6.10. Visualización de los datos de entrada en la

interface y en Rhinoceros® para posteriormente optimizar.

La aplicación cuenta con 2 modos de trabajo, uno creado para visualización y uno más para configuración y ajustes. El desarrollo fue creado usando el lenguaje C++ bajo la librería Open Frameworks e incorpora las siguientes librerías adicionales; ofxOpenCv, ofxOsc y ofxUI. Una vez leída y analizada la información es capaz de enviarla a diferentes sistemas mediante el protocolo de comunicación OSC, la información enviada corresponde al ancho y alto del plano, entradas y salidas de aire. Actualmente funciona con cualquier cámara USB pero solo ha sido probado en ambientes Windows

7.

La importancia de esta implementación radica en que existe gran cantidad de herramientas para evaluar el desempeño del edificio después del diseño, pero no hay herramientas que ayuden a tomar decisiones acertadas asegurando un buen desempeño

desde el inicio del proyecto. Este desarrollo presenta dos ventajas

6 importantes, la primera es que el ingreso de información se realiza mediante una interface amigable que ha conocido desde siempre el arquitecto, sería una hoja en blanco donde se dibuja un espacio en planta y la información arrojada que no es más que un modelo tridimensional con la información sugerida, la cual está en el mismo lenguaje gráfico. La segunda ventaja, es que tanto la entrada como salida de datos no requieren de ningún tipo de capacitación previa ni interpretación de resultados.

6.2.1 Estructura y aplicación de la experiencia de validación profesional

Se aplicó una encuesta en una sesión con trece arquitectos donde fueron expuestos los lineamientos que resultaron de la investigación y su posterior implementación utilizando las plataformas mencionadas. La encuesta consta en total de 30 preguntas (Anexo 7), dividida en tres secciones. La primera sección indaga sobre la forma como el arquitecto aborda un diseño de vivienda, la segunda pretende evaluar la aplicación de los lineamientos en la herramienta generativa y la tercera sección evalúa la usabilidad en cuanto a la entrada de datos e interpretación de resultados.

6.2.2 Resultados generales

Primera sección, datos generales y concepción de un proyecto de vivienda. El 54% de los que realizaron la encuesta son arquitectos experimentados en el campo profesional ya que su edad oscila entre los 45 y 50 años, el

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

38% además de desarrollar su profesión en firma de arquitectos también son docentes universitarios. La mayoría (77%) realiza o ha realizado proyectos de vivienda.

La etapa inicial de cualquier proyecto de vivienda se concibe utilizando papel y lápiz según manifestaron el 54%, lo cual valida el desarrollo de la aplicación de dibujo a mano alzada para poder ingresar los datos, el resto utilizan alguna herramienta de modelado teniendo como preferencia la utilización de AutoCad®. Un porcentaje alto (69%) no tiene experiencia en eficiencia energética o sistemas pasivos de refrigeración, tampoco hay tradición de utilización de herramientas que validen sus diseños en cuanto al desempeño del edificio, expresado por un 92% de los encuestados

Segunda sección, evaluación de la aplicación en demostración. No parece haber claridad con respecto a el potencial de la herramienta durante la etapa de concepción de la vivienda, ni sus consecuencias en el desempeño futuro de la misma, ya que

las respuestas estuvieron repartidas entre las siete opciones de la escala de la encuesta. El 61% de los encuestados tiene confianza en los datos que arroja la simulación de vanos aptos.

Tercera sección, usabilidad. Un porcentaje del 54% de los encuestados usaría la herramienta aunque eventualmente confortarían los resultados con los datos que les pueda dar un software de eficiencia energética. El 100% de los encuestados comprendieron que la aplicación no es más que una sugerencia de relaciones geométricas que contribuyen al futuro desempeño de la vivienda. No parece haber indicios que de la utilización de este tipo de herramientas afecte su creatividad, aunque no ven posible la utilización de la misma por todo tipo de arquitectos, creen que está dirigida a un perfil específico, sin especificar cuál. En cuanto a la usabilidad de la interface, estuvieron a gusto con la entrada de datos de manera gráfica y directamente sobre el papel, los resultados los prefieren en tres dimensiones como lo hace la herramienta y la opción de poder escoger entre varias alternativas de diseño.

Como percepción final luego de hacer la explicación y demostración de los resultados de esta investigación, podríamos decir que los resultados de la encuesta reflejan la forma como los arquitectos llevan a cabo un proyecto, sus diseños están basados más en la experiencia personal durante los años de trabajo profesional y lo que obtuvo a nivel de formación en las escuelas de arquitectura. Esta manera de diseñar hace parte de la cultura natural del arquitecto propiciada por la ausencia de normas o estándares en cuanto

al diseño sostenible de edificaciones.

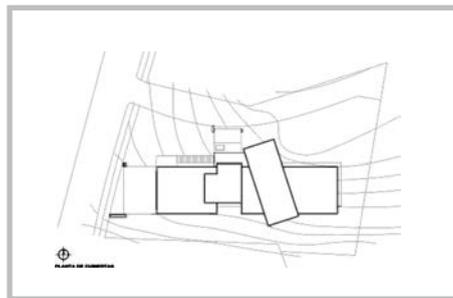


Figura 6.11. Planta de cubiertas y localización de la vivienda.

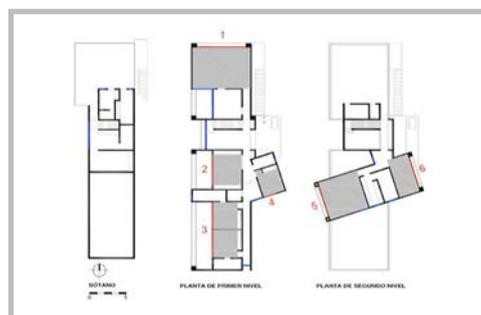


Figura 6.12. Plantas arquitectónicas. Vanos a optimiza en rojo, [1] salón, [2] estudio, [3] alcobas, [4] Alcobas huéspedes, [5] Alcobas principal y [6] oratorio.

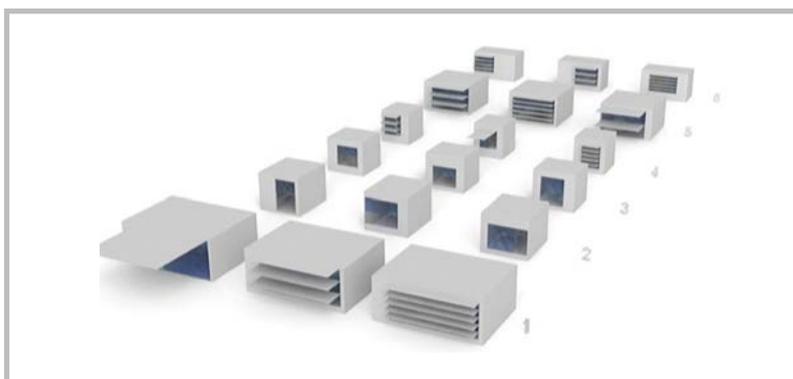


Figura 6.13. Resultados de las optimizaciones de los vanos. [1] salón, [2] estudio, [3] alcobas, [4] Alcobas huéspedes, [5] Alcobas principal y [6] oratorio.

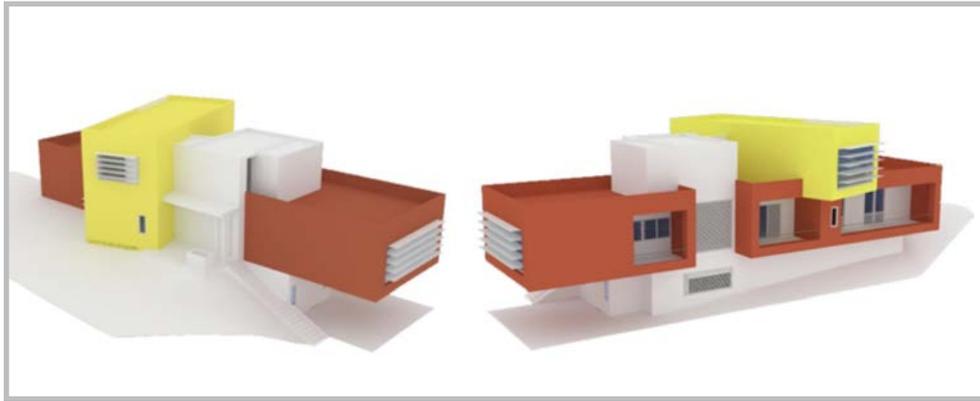


Figura 6.14 Diseño completo de la vivienda con los vanos optimizados.

6

6.3 Aplicación de los resultados en proyecto nuevo de vivienda

Con el propósito de poder simular la utilización de la herramienta generativa con los lineamientos, se ha tomado un encargo de diseño reciente y se han optimizado cada uno de los vanos de los espacios de permanencia del mismo. La vivienda a desarrollar se ubica en un lote pendiente y estrecho de 937 m², en zona suburbana con orientación Este-Oeste en los lados largos del terreno (figura 6.11), la gran mayoría de espacios están orientados en sentido Oeste hacia las mejores visuales que tiene el lote. La distribución de espacios de la vivienda y los vanos a optimizar (color rojo) se pueden ver en la figura 6.12.

Una vez realizada la optimización de vanos de cada espacio se procedió a insertar los resultados en el volumen del edificio y se diseñaron las ventanas que irían en cada vano teniendo en cuenta la permeabilidad propuesta por la herramienta, también se utilizaron las protecciones solares para los vanos que estaban desprotegidos, mientras que los vanos que tenían protecciones generadas por los mismos volúmenes se dejaron sin los aleros que genera la herramienta. En la figura 6.13, se pueden observar los resultados de la optimización de manera individual para cada espacio, se presentan tres opciones generadas por la herramienta para cada vano, mientras que en la figura 6.14, se aprecia el diseño completo de la vivienda con los vanos de la optimización con el aporte estético en su configuración, producto de la imaginación del arquitecto y no de la herramienta.

Conclusiones

5

Las simulaciones térmicas y lumínicas hechas en este capítulo permiten validar los lineamientos de diseño para vanos residenciales desarrollados en esta investigación. Los resultados indican que podría ser necesaria la utilización de sistemas de refrigeración convencional para restaurar el confort en algunos casos en donde la temperatura interior no logra establecerse dentro de la zona de confort.

Las simulaciones térmicas se realizaron en viviendas consideradas de avanzada por sus características espaciales y materiales, que permiten unas condiciones de calidad ambiental superior al común de las viviendas, la evaluación de las diferencias entre el diseño

original de sus vanos contra los generados por la herramienta

arrojó datos con cierta relevancia pero no son contundentes.

6

Con la aplicación de las encuestas a los arquitectos se concluye que éstos no identifican claramente un problema de confort en la vivienda tropical, debido a que la falta de estándares de diseño no permite hacer una comparación entre lo ideal y la realidad, aunque con la herramienta ven la posibilidad de mejorar las condiciones ambientales interiores a partir de combinaciones geométricas adecuadas.

Durante la etapa de diseño de un proyecto, el arquitecto usa herramientas convencionales como dibujo a mano alzada para hacer bocetos iniciales y software de modelado tridimensional solo para la elaboración de los planos definitivos, esta práctica no incluye la utilización de ninguna otra herramienta, ya que no dimensiona los efectos que pueda tener una decisión equivocada al inicio del proyecto y los costos que implican mejorar las condiciones de habitabilidad una vez culminada la obra.

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO

7

CAPÍTULO

O

Conclusiones generales

Conclusiones

Los resultados de esta investigación residen en aportes a la estrategia de diseño de vanos de viviendas en el trópico, desarrollados a lo largo de una metodología que se inició con la selección de casos de estudio de viviendas de avanzada para construir un inventario de vanos, que resaltara sus respectivas soluciones y condiciones utilizadas por los arquitectos. Este proceso continuó con la búsqueda y propuesta de un estándar de confort para el trópico y de la situación residencial en viviendas para el clima cálido húmedo. El análisis de confort en viviendas tropicales, se realizó mediante el registro y comparación de condiciones ambientales interiores, exteriores y estudios de post-ocupación. Se elaboró un registro que facilitó la cuantificación y valoración de aspectos cualitativos-cuantitativos del confort en relación a los vanos, de su análisis, se extrajeron coincidencias dimensionales

que se tradujeron en características de tipo geométrico, definidas

en unas condiciones de diseño. Estos aspectos geométricos se implementaron en una herramienta generativa con el propósito de aportar una nueva estrategia al diseño sostenible de viviendas, mediante la utilización de tecnología para asegurar condiciones de confort desde etapas iniciales del proyecto.

7.1 Conclusiones específicas

La metodología desarrollada permitió alcanzar tres objetivos específicos planteados en relación a; [1] la caracterización de los vanos, las condiciones climáticas de la zona y condiciones de confort en las viviendas, [2] la identificación de unas condiciones de diseño y [3] la implementación de los mismos en una herramienta que sirva de soporte en etapas iniciales de un proyecto de vivienda.

7.1.1 Caracterización del vano y de las condiciones de confort en la vivienda tropical.

El clima cálido húmedo tropical de la zona de estudio tiene características que permiten resolver fácilmente la arquitectura residencial, cuando de de procurar calidad ambiental interior se trata. Se podría alcanzar el confort fácilmente y de manera pasiva

con buen diseño, empezando por las aberturas de las fachadas.

Según lo observado en los casos de estudio, los vanos pueden tener orientaciones, configuraciones ortogonales y protecciones solares diversas para lograr el confort en el trópico.

La estrategia más frecuente en la configuración de los vanos, está dada por la utilización de calados y aperturas permanentes que permiten ventilación natural, estas características provocan que las oscilaciones de aspectos climáticos en el interior y exterior se igualen, por este motivo es necesario el control del grado de apertura de las ventanas. Se encontró que durante las mañanas no hay ganancias significativas, mientras que en las tardes pueden presentarse ganancias en cualquiera de las orientaciones dependiendo de las soluciones arquitectónicas complementarias aplicadas al vano como aleros y vegetación, aunque, estas estrategias podrían afectar la entrada de luz natural en los recintos.

En el inventario realizado, se identificaron características generales de la vivienda sub-urbana de avanzada, como la ubicación en zonas de baja densidad, en lotes de terreno amplios con abundante vegetación que logran alcanzar más fácilmente el confort.

7.1.2 Definición de condiciones de diseño de vanos para el desarrollo sustentable.

En la situación residencial analizada, se encontró que los rasgos comunes que otorgan mayores niveles de confort están; la permeabilidad parcial o total del vano para permitir la ventilación permanente, las visuales amplias hacia el paisaje tropical sin

importar la orientación con una proporción amplia entre el área del vano y del recinto, una relación significativa entre el objeto arquitectónico, la vegetación exterior frente al vano, y por último, pluralidad en las magnitudes y ubicación de los vanos respecto a la fachada y al volumen de la vivienda.

A partir de estos rasgos comunes se definieron las características que deben tener los vanos de la vivienda tropical constituyéndose en un instrumento útil en el proceso de diseño residencial del clima cálido húmedo, logrando así alcanzar el objetivo general de la investigación. Sin embargo, todos los elementos arquitectónicos de la vivienda afectan el confort, éstos deben ser considerados bajo un método de diseño integrado para asegurar calidad y eficiencia energética. Estos rasgos particulares difieren de las consideraciones generales implementadas en proyectos residenciales comerciales o recomendaciones de diseño bio-climático, es por eso que los lineamientos descritos constituyen un aporte inédito y particular a la vivienda tropical, evidenciando posibilidades de análisis en otros campos en futuras investigaciones.

7.1.3 Implementación de las condiciones de diseño en herramienta generativa.

Las condiciones de diseño son una serie de relaciones geométricas, que se transcribieron en una función de adaptabilidad para una herramienta generativa, la cual arroja una variedad de soluciones de vanos aptos en muy poco tiempo. Esta herramienta permite una exploración temprana de geometrías, basada en la evaluación de desempeño de vanos existentes de casos ejemplares de arquitectura residencial, sobre todo, si se suman a prácticas sostenibles en el diseño del resto de elementos arquitectónicos que componen una vivienda, según se comprobó en las validaciones efectuadas en algunos casos y evaluaciones con arquitectos, obteniendo resultados significativos.

Esta aplicación tecnológica se convierte en una estrategia de diseño útil en el momento de mejorar condiciones de habitabilidad desde la concepción del proyecto, ya que la mayoría de las herramientas de comprobación o simulación existentes están diseñadas para ser utilizadas en etapas posteriores del proceso de concepción de una vivienda. Otro beneficio de aplicar esta herramienta, reside en la posibilidad de sugerir libremente las múltiples alternativas

generadas de la relación entre las variaciones geométricas del espacio y su desempeño asegurado para poder imprimirles la estética deseada.

La validación profesional realizada, demuestra que los resultados implementados en la herramienta de diseño generativo, puede mejorar las condiciones ambientales interiores a partir de múltiples combinaciones y optimizaciones geométricas adecuadas.

7.2 Condiciones para el diseño de vanos residenciales en el trópico

Las características obtenidas del estudio de los casos destacados a través de la observación y análisis comparativos basados en referencias visuales y registro de condiciones in situ, son de gran valor debido a la existencia de escasas referencias relacionadas con el clima y los vanos de la zona. Éstos se traducen en recomendaciones pasivas para la mitigación de las ganancias solares, el aumento de los movimientos de aire y proveer una relación con el exterior apropiada. Están relacionados con el uso de elementos artificiales y naturales de protección en los vanos, con características dimensionales del espacio y el con el grado de permeabilidad de la piel.

En el trópico, el diseño de protecciones contra la radiación solar adquiere gran importancia y es uno de los principales aspectos para conseguir edificios sostenibles de bajo consumo energético, es necesaria la utilización de protecciones en todas las orientaciones y en las menos favorables como Este-Oeste se deben combinar con el uso adicional de vegetación.

Las ventanas en los climas cálidos húmedos deben permitir ventilación y renovaciones de aire constantes durante el día y la noche para disminuir la oscilación térmica en el interior, para lograrlo se propone una apertura permanente y operable que podría estar en un 33.3% del área total vano en los espacios de permanencia. Además de esta relación del área permeable del vano, se debe tener en cuenta que las dimensiones del vano correspondan aproximadamente al 42% del área del piso del recinto. Este porcentaje en el trópico tiende a ser mayor debido a la necesidad natural de establecer conexión con el exterior para obtener la mayor proporción de vistas y con vanos de grandes dimensiones, ya que las encuestas demostraron un grado mayor de satisfacción hacia las ventanas anchas de piso a techo, sin que comprometan aspectos como la privacidad y la seguridad. Las preferencias de los usuarios están dadas hacia una ubicación centrada del vano respecto a la fachada del espacio con el mayor contenido de paisaje posible.

Estas recomendaciones demuestran una adaptación particular de las tipologías residenciales contemporáneas en el clima tropical

para lograr el confort, por medio de un diseño de envolventes parcialmente abiertas que permitan relacionarse con el exterior, promoviendo variedad en las soluciones, mediante la aplicación del diseño generativo.

7.3

Discusión

Las condiciones de cada lugar son las que marcan las exigencias en las soluciones arquitectónicas, especialmente en relación a la calidad ambiental, así mismo el concepto de confort es diverso en cada sitio del planeta y se hace necesario plantear una discusión acerca del mismo.

7.3.1 *El confort en el trópico*

Durante esta investigación se encontró que existe una amplia variedad de normas y modelos de confort desarrollados hasta ahora, los cuales han sido referencia teórica para el planteamiento de un modelo que se ajuste a las condiciones del clima y de las personas. Todos los modelos han considerado diversos parámetros y factores, establecidos por medio de estudios en ambientes controlados y con personas de orígenes diversos a los trópicos, cuyos valores no se podrían aplicar a estas latitudes, ya que según lo registrado mediante instrumentos y encuestas, las variaciones son considerables con respecto a las normas y estándares internacionales. En este momento las normas, estándares, soluciones espaciales y tecnologías proyectadas para otras latitudes con diversos regímenes de temperatura, humedad relativa, asoleamiento e individuos, no han sido correctamente re-interpretadas para transformarlas en soluciones apropiadas al trópico, se pretende que el diseñador pueda utilizar la estrategia desarrollada a lo largo de esta investigación, para el uso más eficiente de los recursos con menor costo energético y medioambiental en el trópico.

Como discusión en relación al confort, se propone que el modelo para analizarlo y evaluarlo, debe incluir el mayor número posible de variables relacionadas no solo con el ambiente interior y circundante, sino, con factores personales, ya que los resultados expuestos sugieren que las preferencias térmicas y estéticas de los individuos tienen una componente geográfica y cultural muy importante al compararse con los estándares de confort de otros autores. Esto conlleva a que en el estudio del confort en el trópico se utilicen los modelos adaptativos para determinar las

preferencias térmicas en el interior de los edificios.

7.3.2 Incidencias del vano en el confort del trópico

La interpretación de los resultados de las preferencias de los individuos en esta franja terrestre, señala que la relación cultural desarrollada por el ser tropical con el ambiente exterior, exige que exista una conexión permanente y de grandes proporciones para integrar el exterior con el interior. En el trópico la abstracción de una vivienda no es más que una gran cubierta que protege al hombre de la lluvia, las paredes son elementos que se pueden cerrar cuando sea necesario, haciendo que la permeabilidad y la porosidad sean conceptualmente el inicio de un encargo de diseño.

Las aperturas de la piel de la vivienda tropical pueden llegar a tener grandes proporciones, ya que la satisfacción psicológica

y la identificación con el espacio construido está dada por la

mayor proporción e integración del exterior con el interior. Una

de las características más comunes observadas en el inventario de vanos, fue la variedad en materiales, componentes del vano (ventanas) y configuración de los espacios, características propias de las viviendas tropicales, la cual hizo difícil la determinación rasgos semánticos similares en el vano e implicó basarse más bien en aspectos geométricos comunes para definir las condiciones de diseño. Esta variedad observada en los componentes del vano y su significancia con respecto a los efectos que pueda tener en el confort, puede constituirse en campo para futuras investigaciones. El confort en los espacios de la vivienda tropical puede variar por múltiples características relacionadas principalmente con la envolvente, las cubiertas, la orientación y las protecciones exteriores, el vano participa parcialmente en el confort ambiental de la vivienda como se ha demostrado en esta investigación.

7.4 Proyección para futuras investigaciones

El camino por recorrer para que desde la arquitectura tropical contemporánea se haga un uso eficiente de los recursos y logre una adecuada calidad ambiental está apenas iniciando, el potencial de propuestas y soluciones es de gran magnitud, especialmente en el uso y aplicación de tecnología, no solo para la eficiencia energética, sino en toda la concepción, desarrollo y ejecución de un proyecto arquitectónico. Con los resultados desarrollados en esta

tesis, se presenta una metodología y herramienta de utilización factible por parte de los arquitectos, para adecuar sus propuestas de diseño residencial en climas cálidos húmedos, con una reducción potencial en el consumo de

energía para climatización e iluminación y altos niveles de confort, sin la necesidad de profundizar en todos los aspectos técnicos tratados en esta investigación, evidenciando una posibilidad para implementar recomendaciones de mejoramiento en los proyectos que permitan interactuar en el proceso creativo.

Los movimientos de aire en el trópico tienen gran importancia como remedio contra las altas temperaturas y humedades, simulaciones acerca del enfriamiento de la envolvente y sus aperturas son necesarias para la comprobación de las condiciones de diseño propuestas en este trabajo.

Es necesario complementar esta investigación con estudios de individuos y viviendas que pertenezcan a diversas densidades y estratos socio-económicos, de tal suerte que una definición de condiciones cubra una amplia gama de tipologías residenciales para el clima cálido húmedo tropical.

La inclusión de nuevas relaciones geométricas obtenidas en un estudio más amplio implica la revisión de las variables programadas en la herramienta generativa y su posterior validación con posibles usuarios. Dado que la aplicación es de tipo paramétrico, la posibilidad de exploración de resultados con geometrías complejas puede convertirse en un campo de desarrollo de investigaciones futuras.

Por último una línea de investigación acerca de la ventana en sí, sus materiales, las relaciones geométricas entre sus componentes, sus valores culturales y estéticos, sería un aporte importante a la arquitectura local.

Esta tesis ha permitido por primera vez, identificar la relevancia de los vanos en el confort residencial del trópico latinoamericano, mediante la revisión de los parámetros ambientales (climáticos, espaciales y visuales) y factores cualitativos de confort en relación con características geométricas otorgadas por el diseño. Los resultados complementan el desarrollo en arquitectura sustentable, que mayormente se realiza para climas templados, y generan indicaciones específicas para la vasta edificación residencial en áreas cálidas húmedas, que siguen patrones muy generales.

La investigación ha precisado aspectos de los vanos y su disposición que confieren una mejor satisfacción ambiental, con medios pasivos que mitigan los consumos energéticos en viviendas avanzadas. Ha revelado

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

que la diversidad, distribución, permeabilidad, protección y vinculación visual de

las fenestraciones residenciales, son sustanciales para el confort sostenible en climas cálidos húmedos, planteando una novedosa implementación geométrica y una herramienta computacional para promover la aplicación de estas condiciones en la arquitectura habitacional, brindando una estrategia original de estudio de situaciones ambientales, identificación de factores relevantes y de generalización para el diseño residencial tropical.



DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS DEL TROPICO

8 Bibliografía

ARTÍCULO

S

Akashi, M. et al. (2005). Methods for controlling air flow in and around a building under cross-ventilation to improve Indoor thermal comfort. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. 93, 437-449. [Fecha de consulta: 23 de Agosto de 2010.]
<http://www.elsevier.com/locate/jweia>.

Aries, M., et al. (2010). Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort. *Journal of Environmental Psychology*. 1-9. [Fecha de consulta: 24 de Agosto de 2010.]
<http://www.elsevier.com/locate/jep>.

Bastide, A., et al. (2006). Building energy efficiency and thermal comfort in tropical climates, presentation of a numerical approach for predicting the percentage of well-ventilated living spaces in buildings using natural ventilation. *Energy and Buildings*. Volume 38, Issue 9: 1093–1103. [Fecha de consulta: 24 Mayo 2012].
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880600017X>

Brager, G.S. & De Dear, R. (1998). Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and Buildings*. 27, 83-96. [Fecha de consulta: 07 Noviembre de 2011.] <http://www.elsevier.com/locate/enbuild>.

Bravo, G., et al. (2009). About Thermal Comfort: neutral temperature in the humid tropic. *Palapa*. Vol IV, n.1 (08), 33-38. [Fecha de consulta: 23 de Junio de 2011.]
<http://redalyc.uaemex.mx/src/inicio/ArtPdfRed.jsp?iCve=94814777005>.

Caldas, L. et al. (2003). An evolutionary model for sustainable design. *Management of Environmental Quality*. Vol. 14 (3). 383 – 397. [Fecha de consulta: 02 Noviembre 2010] <http://dx.doi.org/10.1108/14777830310479450>.

Caldas, L. & Norford, L. K. (2002). A design optimization tool based on a genetic algorithm. *Automation in Construction*. Volume 11, (2). 173-184. [Fecha de consulta: 26 Abril 2012]
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926580500000960>.

Chen, Q. et al. (2001). Natural ventilation design for houses in Thailand. *Energy and Buildings*. 33, 815-824. [Fecha de consulta: 08 Junio de 2010.]

<http://www.elsevier.com/locate/enbuild>.

David, M. et al. (2011). Assessment of the thermal and visual efficiency of solar shades. *Building and Environment*. Volume 46, Issue 7. 1489–1496. [Fecha de consulta: 20 mayo 2012]. <http://dx.doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.01.022>.

Donath, D. & Lobos, D. (2009). Plausibility in Early Stages of Architectural Design: A New Tool for High-Rise Residential Buildings. *Tsinghua Science & Technology*. Volume 14, Issue 3,

327 - 332. [Fecha de consulta: 01 Febrero de 2012.]
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1007021409700483>.

Essia, Z., et al. (2007). Optimization of Mediterranean building design using genetic algorithms. *Energy and Buildings*. 39, 148 - 153. [Fecha de consulta: 22 de Noviembre de 2010.]
<http://www.elsevier.com/locate/enbuild>.

Farley, K. M. J., & Veitch, J. A. (2001). A room with a view: A review of the effects of windows on work and well-being (IRC-RR-136). NRC *Institute for Research in Construction*. Ottawa, Canada. <http://irc.nrc-cnrc.gc.ca/fulltext/rr/rr136/>. [Fecha de consulta: 26 febrero 2011]

Feriadi, H. & Wong, N.H. (2004). Thermal comfort for natural ventilated houses in Indonesia. *Energy and Buildings*. 36, 614-626. [Fecha de consulta: 08 Junio de 2010.].
<http://www.elsevier.com/locate/enbuild>.

Frontczak, M. & Wargocki, P. (2011). Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. *Building and Environment*. Volume 46, Issue 4, 922 - 937. [Fecha de consulta: 11 Julio de 2011.]
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310003136>.

González, R. et al. (2008). Daylight evaluation of the prototype bioclimatic house. *Revista técnica de la facultad de ingeniería, Universidad del Zulia*. V 31 No. 1, 1-15. [Fecha de consulta: 12 de Mayo de 2011.]
<http://www.scielo.org.ve/pdf/rftiuz/v31n1/art08.pdf>.

—. (2006). Daylight of buildings: Theoretical methodological proposal for the characterization and evaluation of spaces. *Revista técnica de la facultad de ingeniería, Universidad del Zulia*. V 9 No. 3. 1-18. [Fecha de consulta: 12 de Mayo de 2011.]
http://www.scielo.org.ve/scielo.php?pid=S025407702006000300004&script=sci_arttext.

Grimme, F. et al. (2006). Hombre y clima, estamos perdiendo nuestra adaptación al clima? *Editorial Instituto de arquitectura tropical*. [Fecha de consulta: 01 Noviembre de 2010.]
<http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/INDEX.htm>.

Hanna, R. (1997). The relationship between thermal comfort and user satisfaction in hot dry climates. *Renewable Energy*. Vol 10, Issue 4. 559-568. [Fecha de consulta: 21 de Febrero de

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

2012.]

<http://>

www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148196000377.

Humphreys, M.A. (1996). Thermal comfort temperatures world- wide - *The current position. Renewable Energy-WREC*.

Vol 8, Issues 1

– 4. 139 - 144. [Fecha de consulta: 20 Septiembre de 2011.]

<http://>

www.journals.elsevier.com/renewable-energy/

Humphreys, M.A. & Nicol, J.F. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*.

34, 563-572. [Fecha de consulta: 20 Septiembre de 2011.]
http://

www.elsevier.com/locate/enbuild

Kaplan, R. (2001). The nature of the view from home: Psychological benefits. *Environment and Behavior*. 33. 507-542. [Fecha de consulta: 13 de Septiembre de 2010.]
http://eab.sagepub.com.

Liping et al. (2006). Facade design optimization for naturally ventilated residential buildings in Singapore. *Energy and Buildings*. Volume 39, Issue 8. 954-961. [Fecha de consulta: 23 junio 2011]
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778806002647.

Mallick, F.H. (1996). Thermal comfort and building design in the tropical climates. *Energy and Buildings*. 23, 161-167. [Fecha de consulta: 08 de Junio de 2010.]
http://www.elsevier.com/locate/enbuild.

Markus, T. (1967). The function of windows- A reappraisal. Great

Britain. *Pergamon Press*. Building Science. Vol. 2. 97-121.

Mercado, V. et al. (2008). Evaluación térmico-energético y cualitativa de condiciones ambientales de una vivienda social de la ciudad de Mendoza. Condiciones reales de uso y estrategias de mejoramiento térmico-energético bioclimático. *Avances en Energías renovables y Medio Ambiente*. Vol 12. 73-80. Argentina. [Fecha de consulta: 15 Julio 2010]
http://www.cricyt.edu.ar/lahv/asades/modulos/averma/lista.php?a=2008.

Nicol, J. F. & Humphreys, M. A. (2002). Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*. 34(6). 563-572. [Fecha de consulta: 11 Julio 2011]
http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037877880200063.

Nicol, F. (2004). Adaptive thermal comfort standards in the hot- humid tropics. *Energy and Buildings*. 36. 628-637. [Fecha de consulta: 20 de Septiembre de 2011]
www.elsevier.com/locate/enbuild.

Persson, M.L. et al. (2006). Influence of window size on the energy balance of low energy houses. *Energy and Buildings*. 38. 181-188. [Fecha de consulta: 6 de Febrero de 2013.]

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778805000885>.

Prianto, E. & Depecker, P. (2003). Optimization of architectural design elements in tropical humid region with thermal comfort approach. *Energy and Buildings*. 35, 273-280. [Fecha de consulta: 14 de Septiembre de 2010.] <http://www.elsevier.com/locate/enbuild>.

Renner, G. & Ekárt, A. (2009). Genetic algorithms in computer aided design. *Computer-Aided Design*. Volume 35, Issue 8. 709-726. [Fecha de consulta: 26 Abril de 2012.] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010448503000034>.

Rijal, H.B. et al. (2007). Using results from field surveys to predict the effect of open windows on thermal comfort and energy use in buildings. *Energy and Buildings*. 39, 823 - 836. [Fecha de consulta: 06 de Junio de 2011.] <http://www.elsevier.com/locate/enbuild>.

Sambou V. et al. (2009). Thermal optimization of multilayered walls using genetic algorithms. *Energy and Buildings*. Volume 41, Issue 10. 1031 - 1036. [Fecha de consulta: 22 Noviembre de 2010.] <http://www.elsevier.com/locate/enbuild>.

Singh, V. & Gu, N. (2012). Towards an integrated generative design framework. *Design Studies*. Volume 33, Issue 2. 185-207. [Fecha de consulta: 23 Junio de 2012] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0142694X11000391>.

Stagno, B. (1999). Tropicalidad y arquitectura. *Fundación Claus para la arquitectura y el desarrollo, Instituto de arquitectura tropical*. [Fecha de consulta: 02 de Noviembre de 2010] <http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/INDEX.htm>.

Suga, K. et al. (2010). Structural analysis of pareto-optimal solution sets for multi-objective optimization: An application to outer window design problems using multi objective genetic algorithms. *Building and Environment*. 45 (5). 1144-1152. [Fecha de consulta: 10 Marzo 2012] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132309003217>.

Tuhus-Dubrow, D. & Krarti, M. (2010). Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings. *Building and Environment*. 45. 1574-1581. [Fecha de consulta: 10 marzo 2012] <http://www.elsevier.com/locate/buildenv>.

Turrin et. al. (2011). Design explorations of performance driven geometry in architectural design using parametric modeling and genetic algorithms. *Advanced Engineering Informatics*. 25. 656-675. [Fecha de consulta: 28 Mayo de 2012] <http://www.elsevier.com/locate/aei>.

—. (2012). Performative skins for passive climatic comfort. A parametric design process. *Automation in construction*.

22. 36-

50. [Fecha de consulta: 26 Abril 2012]

<http://www.elsevier.com/locate/autcon>.

Wang, L. et al. (2007). Façade design optimization for naturally ventilated residential building in Singapore. *Energy and Buildings*.

39. 954-961. [Fecha de consulta: 28 de Mayo de 2012.]

<http://www.elsevier.com/locate/enbuild>.

Zagreus, L. et al. (2004). Listening to the Occupants: A Web-based Indoor Environmental Quality Survey. *Indoor Air*. 14 (Suppl 8). 65-74. [Fecha de consulta: 21 de Febrero de 2012.] <http://www.cbe.berkeley.edu/research/publications.htm#survey>.

CONFERENCIAS

Aris et al. (2006, septiembre). *Energy conscious automated design of building facades using genetic algorithms*. In Communicating Space(s), eCAADe06 Proceedings. eCAADe. 898-903.

Brager, G. & Baker, L. (2008, julio). *Occupant Satisfaction in Mixed- Mode Buildings*. Proceedings, Air Conditioning and Low Carbon Cooling Challenge. Windsor, UK. [Fecha de consulta: 21 Febrero de 2012.]. <http://www.cbe.berkeley.edu/research/publications.htm#survey>.

Caldas L, & Rocha J. (2001, abril). *A Generative Design System Applied to Siza's School of Architecture at Oporto, in John S. Gero, Scott S. Chase and Mike Rosenman (eds)*. En : CAADRIA. Key Centre of Design Computing and Cognition. University of Sydney. 253-264.

Eguía, S., et al. (2004, julio). *Impacto solar en fachadas. Metodología para la determinación de características termo lumínicas en envolventes vidriadas*. I Conferencia Latino Americana de Construcción Sustentable. X Encuentro nacional de tecnología do ambiente construido, San Pablo. [Fecha de consulta: 01 de Noviembre de 2010.]

Elzeyadi, I. (2009, junio). *Architectural pride and environmental prejudice: The effect on personal status, historical value, and indoor décor on occupants indoor environmental quality in offices*. Conference on passive and low energy architecture PLEA 2009. Quebec, Canadá. 22 – 24. [Fecha de consulta: 12 de Junio de 2010] <http://www.plea2009.arc.ulaval.ca/En/Proceedings.html>

Kheng S., T. (Noviembre 2008). *Megacities in the tropics. Towards an architectural agenda for the future*. En: II Conferencia de arquitectura, urbanismo y territorio. Encuentro tropical. Instituto de Arquitectura tropical de Costa Rica.

Laar, M. (2001, noviembre). *Light and shadow, an analysis of daylighting and shadowing systems for the tropics*. In Pereira et. al. (Eds). Proceedings of the 18th International Conference on passive and low energy architecture PLEA. Florianopolis. 209-213. [Fecha de consulta: 01 de Noviembre de 2010] <http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/INDEX.htm>.

Lei, G. (2009, junio). *Naturally ventilated urban housing in southern China. A research review on current energy efficient residential design code*. Conference on passive and low energy architecture. Quebec, Canadá. [Fecha de consulta: 28 de Mayo de 2011] <http://www.plea2009.arc.ulaval.ca/En/Proceedings.html>

Marin, Ph. et al. (2008, septiembre). *Integral evolutionary design, integrated to early stage of architectural design process*. eCAADe 2008. Architecture 'in computo'. [Fecha de consulta: 20 de Diciembre de 2011.] <http://www.crai.archi.fr/media/pdf/marin-ddssIntegralEvol.pdf>.

Stagno, B. (2004, noviembre). *Climatizando con el clima. III Encuentro de arquitectura urbanismo y paisajismo tropical*, San José ,Costa Rica. [Fecha de consulta: 02 Noviembre de 2010.] <http://www.arquitecturatropical.org/EDITORIAL/INDEX.htm>.

Torres, S.L. & Sakamoto, Y. (2007, septiembre). *Facade design optimization for daylight with a simple genetic algorithm*. *Proceedings of Building Simulation*. Beijing. [En línea] http://www.ibpsa.org/proceedings/BS2007/p117_final.pdf. [Fecha de consulta: 26 Abril de 2012]

Weytjens, L., et al. (November 2012). *User Preferences for a Simple Energy Design Tool: Capturing information through focus groups with architects*. In: PLEA2012 - 28th Conference, Opportunities, Limits & Needs Towards an environmentally responsible architecture. Lima, Perú.

LEYES, NORMAS TÉCNICAS Y ORGANIZACIONES

Alcaldía de Santiago de Cali. *Cali en cifras*. [Fecha de consulta: 6 Febrero de 2013] <http://www.cali.gov.co/descargar.php?id=33101>

ASHRAE 55. 2004. Standard 55. *Thermal environmental conditions for human occupancy*. s.l. American society of heating, refrigerating, and air-conditioning engineers. Atlanta, 2004.

Asociación Brasileira de normas técnicas. (ABNR). NBR15575. *Norma Brasileira de desempenho de edificios habitacionais de hasta más de cinco pisos*.

Colciencias. (2005). *Plan energético y minero*. [Fecha de consulta: 20 Junio de 2010] <http://www.colciencias.gov.co/>.

Constitución Política de Colombia. *Artículo 311*. [Fecha de consulta: 20 Junio de 2010]
<http://www.banrep.gov.co/regimen/resoluciones/cp91.pdf>.

Higher Education Funding Council for England. HEFCE. (2006). *Guide of post occupancy evaluation (POE)*.
<http://www.smg.ac.uk/documents/POEBrochureFinal06.pdf>.

Instituto de Arquitectura Tropical de Costa Rica (IAT).
[Fecha de consulta: 28 Octubre 2010]
<http://www.arquitecturatropical.org/>.

ISO, International Standard 7730. (2005). *Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. International Organization for Standardization. Geneva.

Ley 9 de 1979. *Normas de seguridad del código sanitario*. Colombia. [Fecha de consulta: 20 Junio de 2010]
<http://copaso.upbbga.edu.co>.

Ministerio de minas y energía de Colombia- PROURE.
[Fecha de consulta: 02 Julio 2011]
http://www.ipse.gov.co/index.php?option=com_content&view=article&id=265%3Aministr-o-de-minas-y-energia-firma-resolucion-proure&catid=193%3Anoticias&Itemid=541&lang=es

Ministerio de minas y energía de Colombia. *Reglamento técnico de iluminación, Anexo General. Resolución No. 180540 de Marzo 30 de 2010*. [Fecha de consulta: 11 Julio de 2011] <http://www.co.electricaribe.unionfenosa.com>.

co.electricaribe.unionfenosa.com.

Ministerio de vivienda construcción y saneamiento del Perú. *Zona Climática 8- Sub tropical húmedo*. [Fecha de consulta: 20 junio 2010]
http://fenix.vivienda.gob.pe/desa_bioclimaticoset/Archivos/Doc/word/Recomendaciones%20de%20Diseno%20ZONA9.jpg.

Ministerio de vivienda del Perú. *Construcción de edificaciones bioclimáticas con eficiencia energética*. [Fecha de consulta: 20 Junio 2010]
http://www.vivienda.gob.pe/dnc/lima_04_2011.aspx.

Norma Europea EN 15251:2007. *Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas iluminación y ruido*. CEN 2007 Bruxelles.

Normas mínimas para vivienda de interés social urbana. *Decreto 2060 del 2004*. Colombia. [Fecha de consulta: 20 Junio de 2010]
<http://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=1428>.

Unidad de planeación minero energética de
Colombia. UPME.
[http://www.upme.gov.co/Upme12/2007/Elementos_](http://www.upme.gov.co/Upme12/2007/Elementos_Formulacion_Politica_Energetica.pdf)
[Formulacion_Politica_Energetica.pdf.](http://www.upme.gov.co/Upme12/2007/Elementos_Formulacion_Politica_Energetica.pdf)

U.S Department of Energy. *Building energy tools directory*.
[Fecha de consulta: 2 Septiembre 2010]
[http://apps1.eere.energy.gov/](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm)
[buildings/tools_directory/alpha_list.cfm](http://apps1.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/alpha_list.cfm)

LIBROS

Barney, B. & Ramírez, F. (1994). *La arquitectura de las casas de hacienda en el valle del alto cauca*. Bogotá: Áncora Editores. 167 p.

Beckett, H.E. & Godfrey, J.A. (1978). *Ventanas: función, diseño e instalación*. España: Gustavo Gili. 357P.

Fanger, P.O. (1972). *Thermal comfort. Analysis and applications in environmental engineering*. United States: McGraw-Hill. 244p.

García, J.R & Fuentes, V. (1995). *Viento y Arquitectura. El viento como factor de diseño arquitectónico*. México D.F: Trillas. 169P.

Hernández, R., et al. (1991). *Metodología de la investigación*. México: Mc Graw Hill. 613p.

Jiménez, S. (2006). *El proyecto arquitectónico. Aprender investigando*. Colombia: ed: San Buenaventura. 247p.

Jiménez, S. (2009). *La arquitectura de Cali. Valoración histórica*. Colombia : Feriva S.A. 249p.

Keeler, M, & Burke, B. (2009). *Fundamentals of integrated design for sustainable building*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 342p.

Leatherbarrow, D. & Mostafavi, M. 2002. *Surface architecture*. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, MIT. 264p.

Lévy, F. (2012). *BIM In a small scale sustainable design*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc. 292p.

Olgay, V. (1998). *Arquitectura y clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili. 203p.

—. (1968). *Clima y arquitectura en Colombia*. Cali, Universidad del Valle: Carvajal y Cía. 240p.

Rybczynsky, W. (1989). *La casa. Historia de una idea*. San Sebastián: Nerea S.A. 255p.

Saldarriaga, A. (1996). *Casa Moderna. Medio siglo de arquitectura doméstica Colombiana*. Bogotá: Villegas Editores. 279p.

Serra, R. (1999). *Arquitectura y Climas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1999. 94p.

aciones energéticamente eficientes en el trópico. IDEC FAU UCV, y C. A. La Electricidad de Caracas. 160p.

Tedeschi, A. (2011). *Parametric architecture with Grasshopper.* Brienza, Italia: Edizioni Le Penseur. 208p.

Villegas, B. (1992). *Casa Colombiana.* Santa Fe de Bogotá : Villegas Editores. 181p.

**TESIS
DOCTORALES**

Caldas, L. (2001). *An evolution based generative design system: Using adaptation to shape architectural form*. Tesis Doctoral. Massachusetts Institute of Technology. [Fecha de consulta: 01 de Noviembre de 2010.] <http://library.mit.edu>.

Anexos

Anexo 1

Descripción de viviendas

Casa La Teja - 1717 (Anónima)

- Vivienda vernácula

Ubicada entre los municipios de Andalucía y Bugalagrande, rodeada de samanes y cultivos de caña de azúcar, la vivienda con 812 m² construidos, hace parte de una propiedad de gran extensión. Ha sido restaurada por sus actuales dueños, en este momento se puede considerar una casa de recreo ya que sus propietarios la ocupan en fines de semana. Hizo parte de los 19 hospedajes del “Camino Real” que servía a los más ilustres durante el siglo XVIII.



Figura A1. 1 Planta general y fotografías “La Teja”. Fuente: Fotos y levantamiento de planos (María Clara Betancourt - 2011)

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Orientación. Su planta rectangular posee las fachadas largas orientadas en sentido este-oeste, Con una inclinación de 20° hacia el oeste (figura A1.1). La fachada este que tiene el acceso está orientada acorde a la aproximación del edificio y permite ver la llegada de los visitantes, mientras la fachada posterior está orientada hacia los cultivos donde una vez estuvo el trapiche para controlar las labores (figura A1.2).



Figura A1. 2 Fachadas casa “La Teja”

Fuente: Levantamiento de planos (María Clara Betancourt - 2011)

Distribución. Tipología típica de las primeras construcciones en tierras de la colonia española, llamada “La Teja” por ser la primera construcción en teja de barro en el Nuevo Reino de Granada. Vivienda de planta rectangular de un piso, hace parte de un complejo con trapiche y capilla que fueron demolidos el siglo pasado. Casa típica de hacienda del período colonial, con una planta rectangular sencilla y una gran cubierta cuatro aguas. Se conecta con la casa de la servidumbre de otra época, por un patio interior.

La casa presenta arquitectura de dos épocas diferentes, se destaca el volumen principal destinado a los señores y un volumen de menor altura de época posterior adosado a uno de sus costados cortos, hacia la parte norte, destinado a la servidumbre. De planta rectangular, con corredores en su parte frontal y posterior desde donde se domina visualmente el paisaje, conectados por un salón en el interior, los

corredores rematan en los costados por

habitaciones exteriores destinadas a los visitantes en su fachada principal y zonas de servicio en su fachada posterior. Su planta de distribución consta de una serie de espacios seguidos comunicados internamente por vanos centrales internos, los espacios internos se iluminan y ventilan hacia los corredores, las circulaciones centrales rematan en ventanas o puertas que conectan el interior y el exterior visualmente generando transparencias a lo largo del eje longitudinal.

El volumen mas reciente con elementos arquitectónicos de otra escala, está conformado por un patio interior central con piso de piedra de canto rodado, el cual es atravesado por un hilo de agua que permitía el aseo de las bestias en el patio, alrededor de este espacio hay un corredor y una serie de habitaciones que son utilizadas por los dueños de la casa.

Los vanos. La vivienda se abre sobre sus fachadas este y oeste con dos corredores, el principal mira hacia la capilla y el acceso mientras que el posterior se abre hacia el trapiche con la intención de vigilar las labores del campo. La vivienda posee dos tipos de vanos característicos de la época, puertas y ventanas de proporción vertical protegidas por un calado en madera, con postigos que permiten la apertura en varios niveles de privacidad para controlar el paso de la luz y el aire, los postigos están divididos en cuatro naves dos inferiores y dos superiores las cuales tienen una perforación circular que permite una apertura mínima adicional. El otro tipo de vanos corresponde a las puertas internas y externas que comunican una habitación con otra o conectan el exterior con el interior, construidas en madera con dos naves, las puertas interiores al igual que las ventanas poseen una apertura diferencial acorde a las necesidades internas. Hay un predominio del lleno sobre el vacío en todas sus fachadas y de verticalidad en los vanos. Los corredores rompen la fachada a manera de un gran vano horizontal y generan espacios de permanencia protegidos de la radiación solar y la lluvia. Ninguno de los vanos de la vivienda tiene elementos adicionales de protección, las ventanas se encuentran en su estado original.

Elementos de protección. Sus fachadas están protegidas por los grandes aleros de las cuatro aguas de la casa, las ventanas tienen en sus exteriores calados de madera y postigos para controlar la luz y el viento. Las naves de las ventanas son de madera. Grandes árboles generan sombra permanente a la casa por las fachadas largas.

Casa El Níspero - 2.009

(Arq. Juan Felipe Cadavid- Casa del arquitecto)

- **Vivienda Urbana**, barrio tradicional entre medianeras -

Esta casa-estudio está ubicada en un predio medianero de 800 mt² en el barrio San Antonio, lugar de fundación de la Ciudad de Cali. Por ser un barrio de protección patrimonial y por estar desocupado el predio, su mayor valor lo constituían un grupo de árboles frutales de gran talla y edad (nísperos, guayabos y mangos), ubicados en la parte central y posterior del lote.

Orientación. La orientación del lote hace que el paso del sol sea transversal a éste, la composición de los volúmenes hace que estos no reciban sol o radiación de manera directa. Las fachadas largas (Figura A1.3) están orientadas en sentido norte-sur, mientras que los costados cortos se encuentran entre medianeras y no hay fachadas.

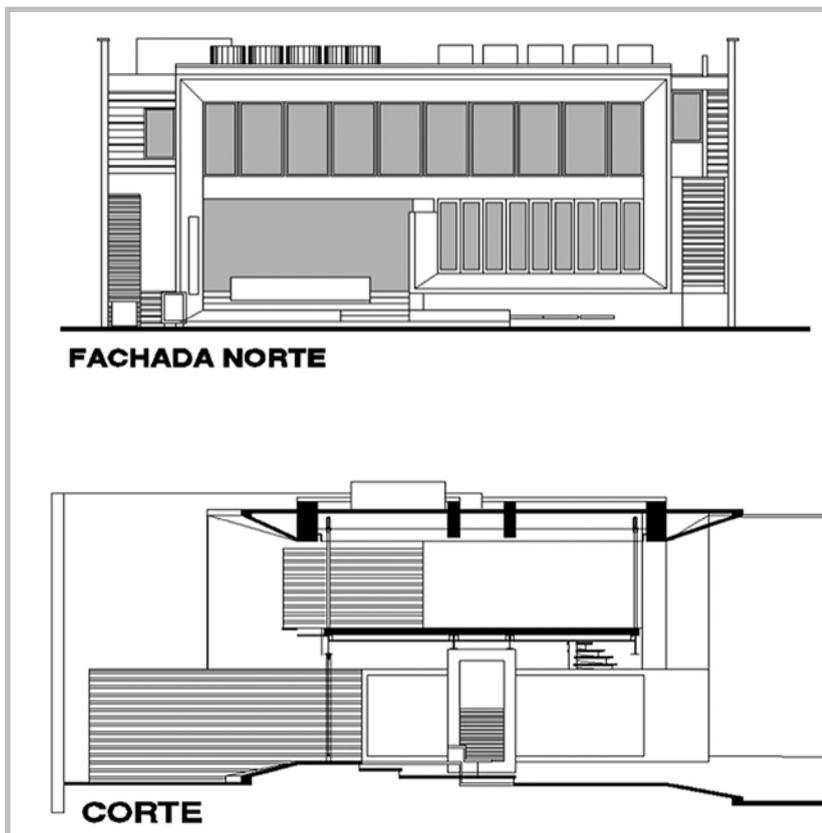


Figura A1. 3 Fachadas casa “El Níspero”

Fuente: Planos Cadavid Arquitectos
(2010),

Distribución. Su planta es rectangular (figura A1.4) y en fachada se destaca el pórtico-puente, una estructura de concreto de doble altura a la manera de las estructuras de la llamada ‘Escola Paulista’ de mitad del siglo XX en el Brasil. La casa se dispuso en dos bloques separados para las dos partes del programa. Hacia la calle una construcción de 2 pisos que alberga el estudio del arquitecto y al fondo, separados por un patio, la casa del arquitecto.

De la estructura del pórtico de 14 m de luz y vigas superiores de 1.30 m de altura se descuelgan tensores metálicos de los que se suspende a la altura del follaje de los árboles la estructura metálica intermedia. Esta segunda planta es un área libre, permite ordenar con libertad las habitaciones conforme al crecimiento de las familias. Los espacios de servicios se ubican siempre en los costados del lote entre la estructura puente y las medianeras, liberando al pórtico y ocultándolas para que no interfieran con las relaciones entre los dos patios. La casa propiamente dicha, se implanta transversalmente entre las masas de árboles a manera de un marco o puente de concreto que libera la primera planta para lograr la conexión entre ambos patios a través de las áreas

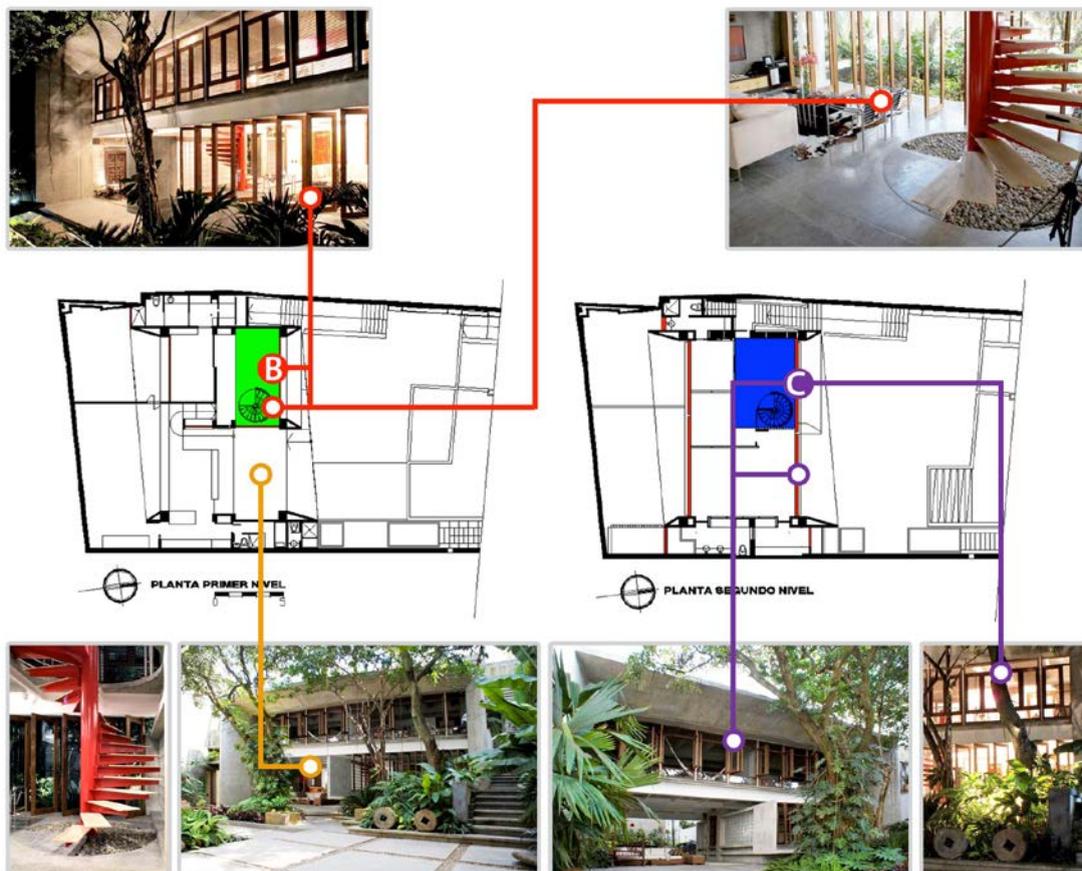


Figura A1. 4 Planta general y fotografías “El Nispero”. Fuente: Planos Cadavid Arquitectos

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS
(2010), fotografía

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

sociales. En el patio central, la piscina y el tratamiento de los pisos ordena y relaciona los espacios abiertos con los interiores de la casa -sala, comedor, cocina- que se escalonan bajo el pórtico hasta llegar al patio posterior.

Los vanos. Los vanos son corridos a lo largo de toda la fachada, en primer nivel van del piso al techo, su apertura es sobre el eje de cada nave y se abren todas a la vez. En segundo nivel igualmente van de piso a techo pero su apertura es controlada e individual, cada ventana está compuesta por varios cuerpos donde los centrales que poseen las naves abren, mientras el inferior y el superior permanecen fijos, estas ventanas en segundo nivel en su interior poseen persianas de tipo horizontal para el control de la luz. En primer nivel hay una apertura de gran tamaño que atraviesa el volumen de lado a lado generando el espacio del comedor y permitiendo la comunicación entre los patios.

Elementos de protección. La casa está rodeada de abundante vegetación, la cual genera sombra permanente y el pórtico hace el trabajo de alero por ambas fachadas.

Casa La Queja 1.990-2.000

(Arq. Benjamín Barney Caldas – Casa del arquitecto)

- Vivienda Urbana, barrio tradicional entre medianeras -

Ubicada en el Barrio tradicional de San Antonio de la ciudad de Cali. Esta vivienda es el reciclaje de una vieja casa de un piso muy alto en un barrio tradicional de patios y calles, donde sus lotes extremadamente estrechos dificultan la construcción de edificios, este barrio quedó aislado de la ciudad por las urbanizaciones que se hicieron para los Juegos Panamericanos.



Figura A1.5 Planta general y fotografías “La Queja”.

Fuente: Planos Benjamín Barney (2010), fotografía María Clara

Betancourt y Silvia Patiño

Orientación. Su fachada principal (figura A1.5) está orientada hacia el norte y por los otros tres puntos cardinales restantes está entre medianeras, como respuesta al lote el arquitecto desarrolló una serie de patios por donde ilumina y ventila la vivienda construida en un lote de 9.50 m de frente y 53 m de profundidad aproximadamente.

Distribución. Al ser un reciclaje ésta conservó parte de la primera crujía de la vivienda original, sin las molduras

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

de las fachadas de principios del siglo XX. Posee los antiguos zaguanes, corredores y patios, se crearon terrazas, cerradas por techos. La vivienda conserva muros de adobe antiguos que se corrigieron y acomodaron a una retícula y se combinaron con los nuevos

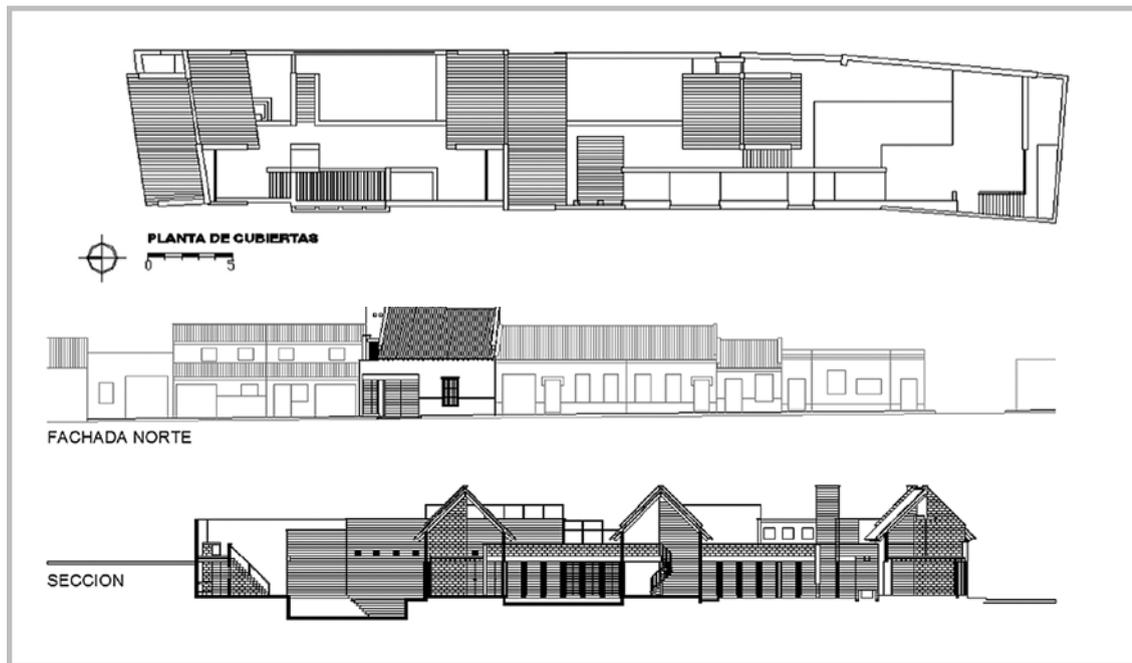


Figura A1.6 Planta cubiertas, fachada y corte casa "La Queja". Fuente: Planos Benjamín Barney (2010)

bloques de cemento que soportan las terrazas y cubiertas de teja de barro. La vivienda inicia en el antiguo zaguán que da al primer patio y la totalidad de sus se hacen pasando de largo por los espacios de la casa que se desarrollan a lado y lado de los patios (figura A1.6), cinco en total, todos con características diferentes, y recursos particulares como la vegetación, el agua, aves y tortugas, en primer nivel las aperturas de la vivienda se hacen hacia los patios por circulaciones y la conexión con el exterior se da en sentido vertical, siempre se mira al cielo, mientras las terrazas de segundo nivel permiten descubrir la ciudad y los cerros que la circundan.

Los vanos. En la fachada principal que da a la calle, hay una ventana antigua, de tipo colonial, restaurada y reubicada. Ésta vivienda posee una piel muy particular hacia los patios interiores, ya que todos los espacios son abiertos con grandes vanos de pared a pared, donde hay necesidad de cerrar los espacios aparecen unos muros-ventana hechos de una reja tipo celosía de metal. Los vanos de habitaciones y estudio tienen postigos independientes con naves de vidrio y madera, detrás de los cuales, hacia el exterior, está la reja celosía que da seguridad y permite el paso del aire cuando el usuario abre los postigos. En esta vivienda el muro como divisor de espacios o generador de piel exterior, desaparece totalmente y en algunos casos aparece el muro-ventana.

Elementos de protección. Las cubiertas tienen aleros que protegen las fachadas, en sus patios interiores hay vegetación, los vanos tienen ventanas de madera y en su exterior rejas de metal para tamizar la luz.

Casa del Agua
 2010
 (Arq. Benjamín Barney
 Caldas)

- Vivienda Sub Urbana

-
 Se encuentra al sur de la ciudad de Cali en sector residencial llamado Pance, hace parte de una de las seis casas del condominio “El Samán”, el cual tiene una zona común recorrida a todo su largo por una acequia, que atraviesa algunas de los predios y se convierte en el tema central de la “Casa del Agua”.

Orientación. La casa tiene sus fachadas más largas en sentido norte sur, con aperturas por todos sus flancos que permiten el paso del aire permanentemente (figura A1.7).

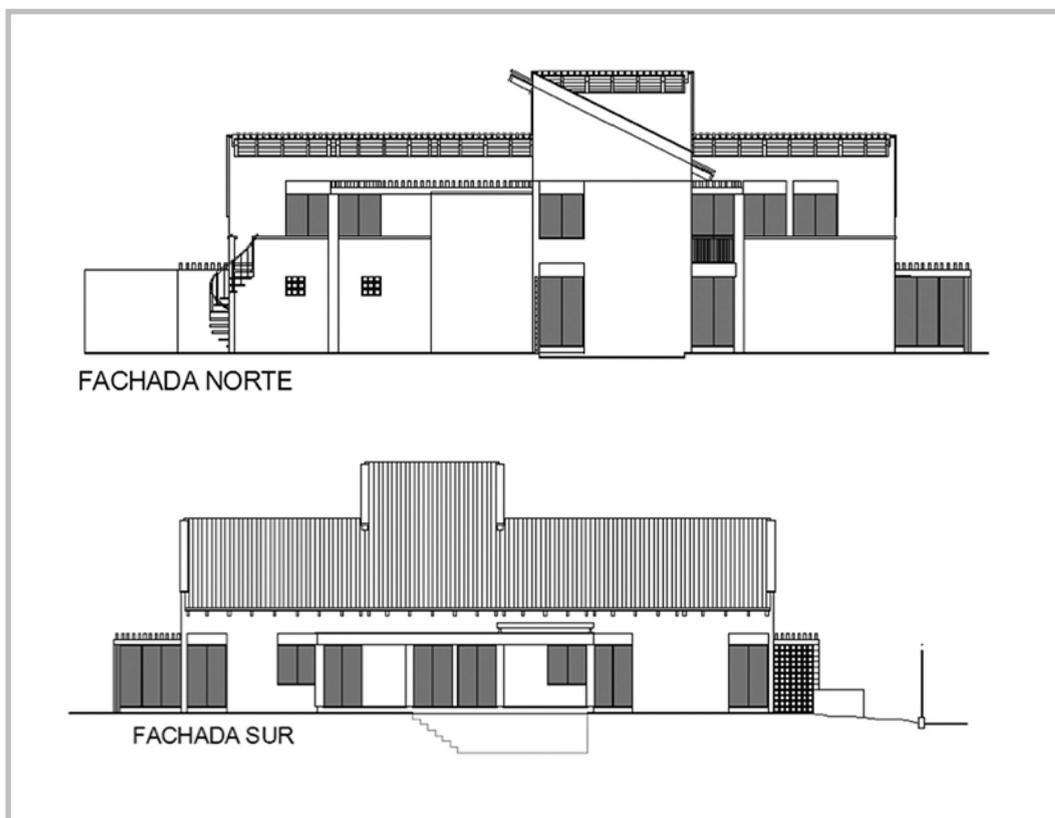


Figura A1.7 Fachadas “Casa del Agua”. Fuente: Planos Benjamín Barney (2010)

Distribución. Su diseño, es estrictamente modulado, estandarizado y repetitivo, características que imprime el arquitecto a todas sus obras al utilizar mampostería en bloque de cemento, formalmente recurre a tradiciones arquitectónicas de la región, pero también incorpora actuales (figura A1.8). Esta vivienda se desarrolla en dos niveles, en el primer nivel zonas sociales, de servicios y

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS
alcobas con cinco posibles configuraciones que además son
reversibles e intercambiables. Los estudios están
comunicados con el salón por una puerta corrediza y se
puede

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

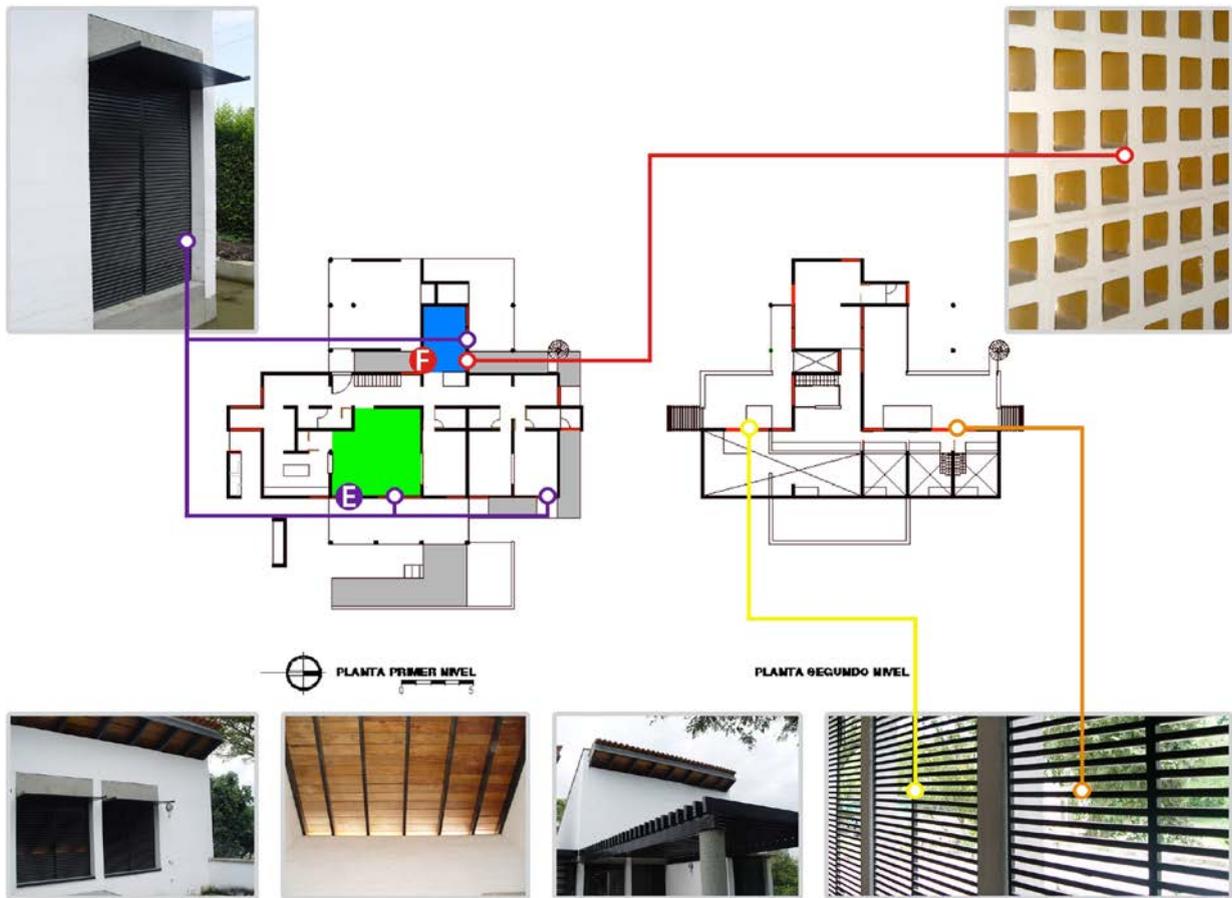


Figura A1. 8 Plantas primer nivel, segundo nivel y fotografías “Casa del agua”.

Fuente: Planos Benjamín Barney (2010), fotografía María Clara Betancourt.

usar al tiempo como alcoba de huéspedes. En el segundo piso se encuentra la alcoba principal un estudio y muchas terrazas que son la cubierta de los espacios de primer piso.

Los vanos. El diseño de persianas de hierro de puertas y ventanas se repite de manera modular por toda la envolvente, este diseño facilita el paso del aire, al tiempo que produce vistas al exterior tamizadas por el diseño de la ventana, de manera permanente y garantizando seguridad. Esta solución no posee ningún tipo adicional de protección como anjeos, persianas o cortinas.

Elementos de protección. La casa posee frondosa vegetación en su fachada norte-este, todos los vanos tienen además del alero una protección adicional tipo parasol metálico que protege parcialmente de la lluvia.

Casa La Rebeca
1.998
 (Arq. **María Clara**
Betancourt)

- Vivienda Sub Urbana

Ubicada en el Municipio de Jamundí al sur de la ciudad de Cali. Esta vivienda se encuentra en un condominio de casas campestres implantadas en lotes que por sus dimensiones permiten que las viviendas estén aisladas unas de otras, el terreno tiene 3000 m² y la vivienda 400 m². Este territorio actualmente está rodeado de cultivos de caña de azúcar y arroz.

Orientación. Sus fachadas más largas están orientadas este-oeste dando prioridad a las visuales y al sentido del lote (figura A1.10). Las zonas privadas están orientadas hacia el naciente y las zonas sociales hacia el poniente.

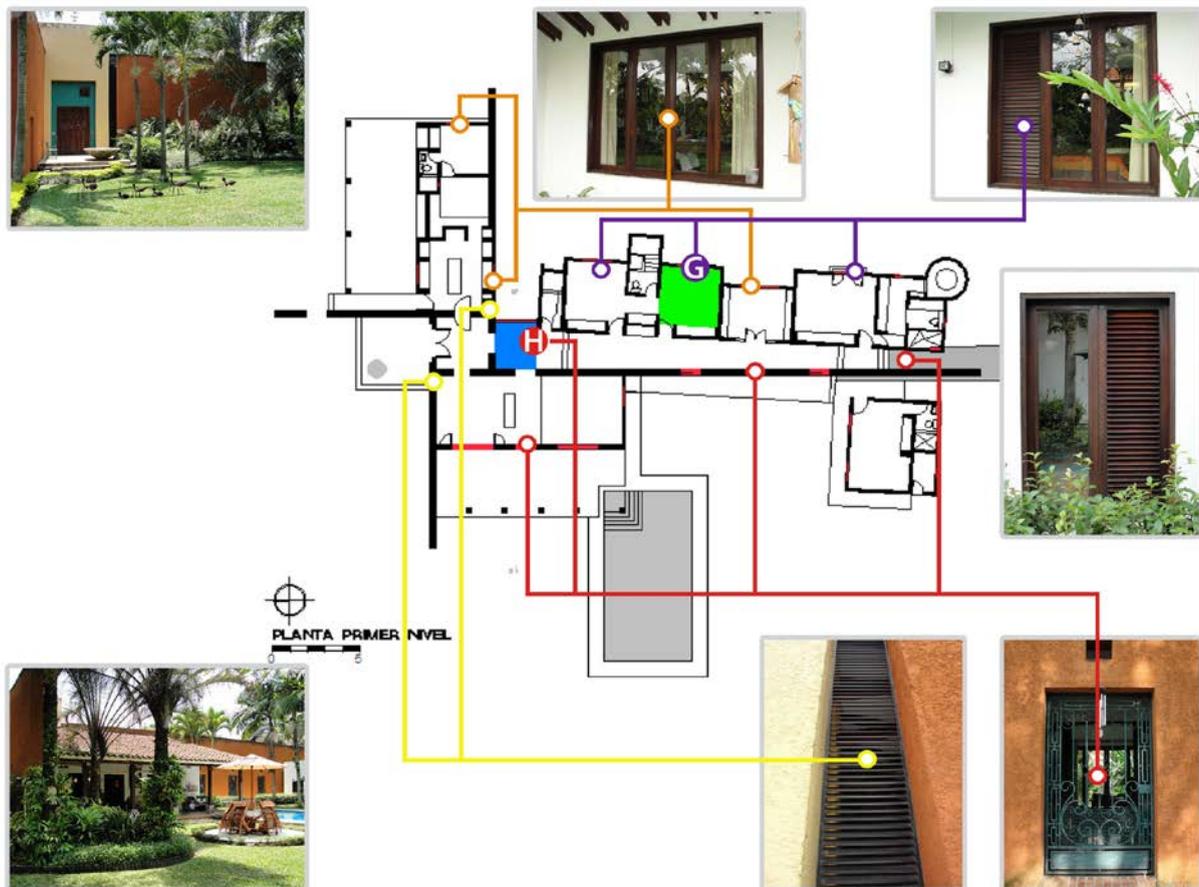


Figura A1.9 Planta general y fotografías “La Rebeca”. Fuente: Planos y fotos María Clara Betancourt (2010)

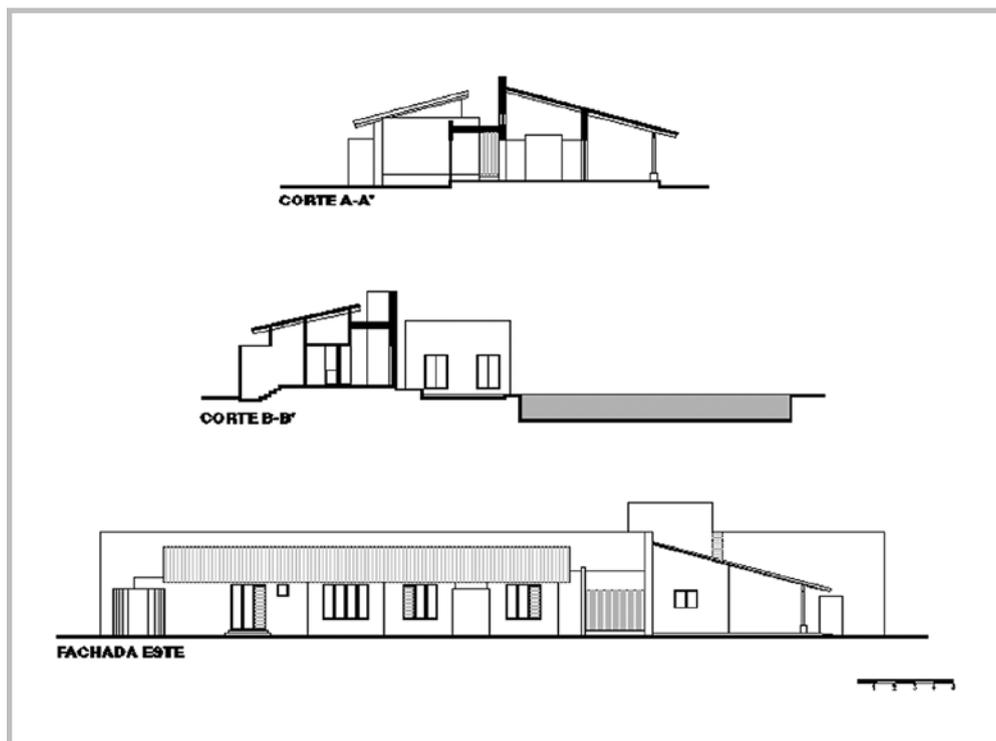


Figura A1.10 Cortes y Fachada “La Rebeca”.

Fuente: Planos y fotos Maria Clara Betancourt (2010)

Distribución. La planta de esta vivienda se desarrolla en forma de esvástica donde cada uno de los cuadrantes tiene un uso bien diferenciado; zona de servicios, zona social, zona privada y zona de aproximación y acceso (figura A1.9). En el centro de la figura se encuentra una torre de doble altura que indica el acceso a la vivienda, de ella se desprenden cuatro grandes muros que organizan el programa de la vivienda. La torre reparte a sus cuatro lados a cada zona de la casa y es el origen de una gran circulación que pretende recuperar el corredor de la casa colonial, todas las habitaciones se comunican por este corredor. Este gran eje tiene un leve grado de inclinación en el volumen de las habitaciones con el propósito de enfatizar la visual hacia el remate del mismo que termina en un espejo de agua al cual se desciende por escaleras como en los antiguos baños de las casas de hacienda y conecta visualmente con el jardín exterior. Todos los espacios de la vivienda se relacionan visualmente con el exterior integrando el proyecto arquitectónico y el paisajístico. La vivienda está construida con materiales de la región hechos a mano como pisos y mampostería, pinturas a base de tierra y cal, cubiertas de teja de barro y madera construidas a manera tradicional.

Los vanos. Esta vivienda posee dos tipos de vanos claramente diferenciados, los que son de madera y vidrio están ubicados en espacios donde se necesita un nivel de

control de la humedad, los animales tropicales y la
privacidad, como en espacios privados

tipo habitaciones y estudio. Los vanos de madera y vidrio están conformados por dos, tres o cuatro naves operables, de las cuales una es de celosías de madera y permite graduar el paso del viento acorde a la necesidad del usuario. Interiormente en los espacios privados hay cortinas como protección adicional a la privacidad. Los vanos con forja metálica se encuentran ubicados en sitios sociales o de circulación, donde está permitido el ingreso de la lluvia, los animales, el sol, el viento y además permiten una conexión permanente con el paisaje que rodea la casa, algunos son operables y otros son fijos. Se utilizan vanos en cubiertas de zonas de duchas sin ningún tipo de control para permitir la ventilación de los mismos.

Elementos de protección. Todos los vanos de madera están protegidos por aleros, mientras que los vanos de forja metálica, las habitaciones están protegidas del poniente por el corredor y uno de los muros gruesos que disminuyen los efectos de la radiación solar.

Casa Los Cuchos (Arq. Oscar Cárpena)

- Vivienda Sub Urbana -

El programa de la casa responde a las necesidades de una vivienda de pocos espacios pero con dimensiones generosas. Localizada en el Condominio Campestre Solares la Morada al sur de la ciudad de Cali, en el municipio de Jamundí en un lote de 3000 m². Orientación. Tiene la mayor parte de sus fachadas orientadas hacia el sur y el este, hacia el norte y el oeste se encuentran las zonas de servicio (figura A1.11). Esta orientación favorece las visuales hacia la zona verde arborizada en la parte posterior del lote.

Distribución. Formalmente la vivienda se desarrolla reinterpretando el patio como elemento articulador. Delimitado por los volúmenes de la casa en dos de sus lados, la zona de estacionamiento y el corredor en los dos lados restantes. Este atrio de planta cuadrada con elementos de vegetación y agua convierten el acceder a la vivienda en un recorrido de preámbulo (figura A1.12). El hall de acceso que reparte a los diferentes

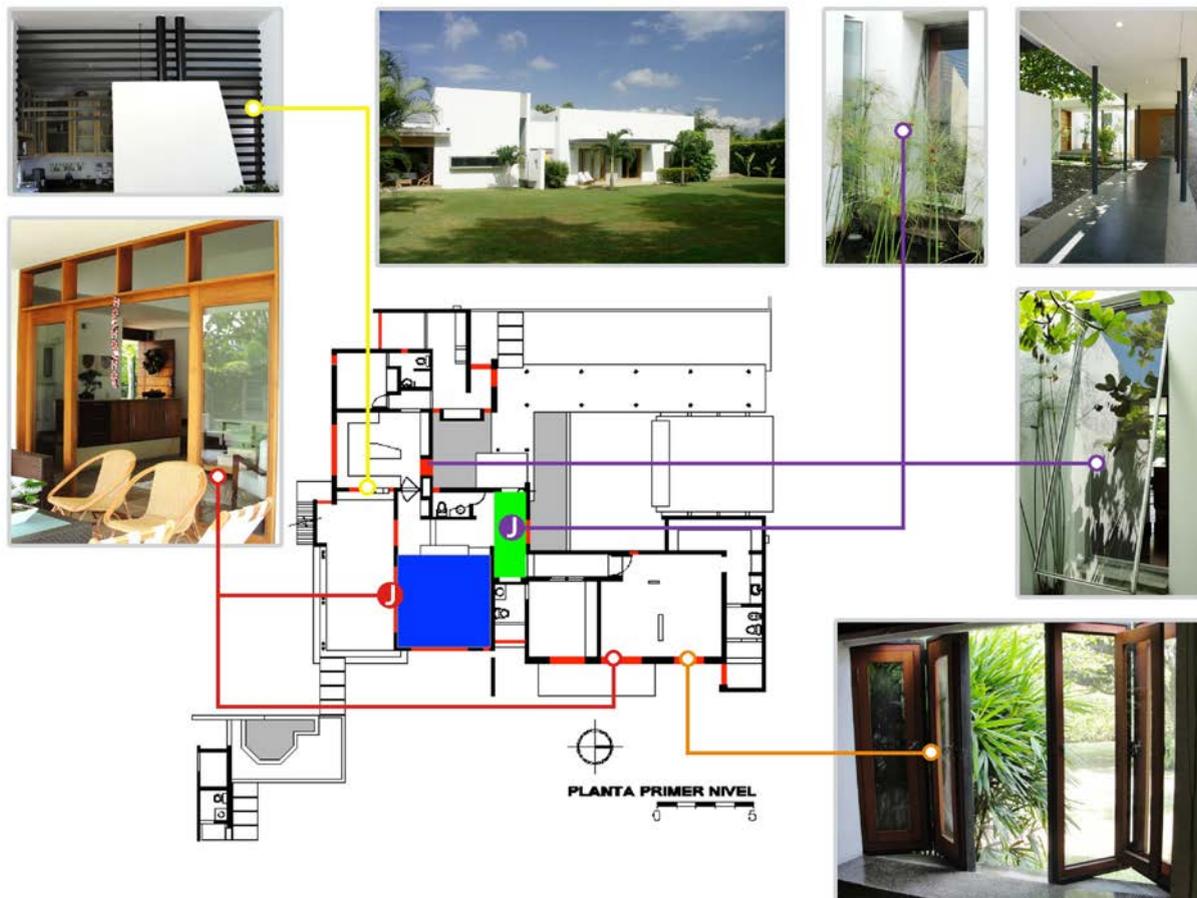


Figura A1.11 Planta general y fotografías “Los Cuchos”.
Fuente: Planos Oscar Cárpena (2010), fotos María Clara Betancourt y Jorge Giraldo

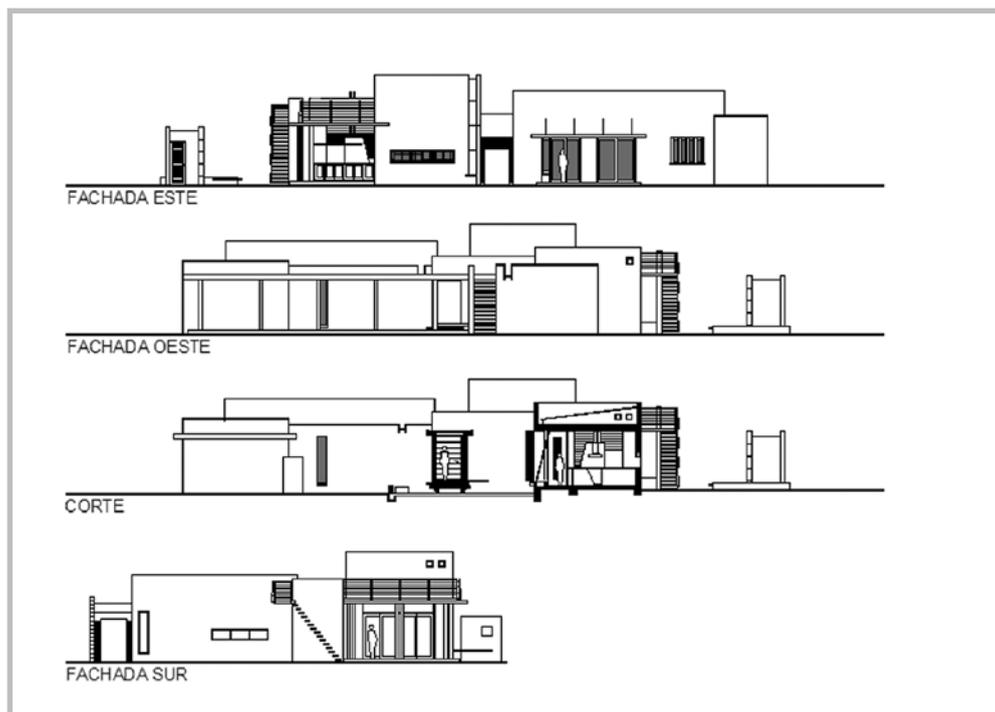


Figura A1.12 Fachadas y corte “Los Cuchos”. Fuente: Planos Oscar Cárpena (2010)

espacios articula la zona privada y las zonas sociales de la casa, convirtiéndose en un filtro. Espacios como el salón, la terraza, cocina y el comedor, se relacionan visual y funcionalmente, siendo protagonistas y articuladores del proyecto el cual estuvo desarrollado dándole prioridad a los espacios sociales. La volumetría del conjunto jerarquiza los espacios como el salón y las habitaciones por su altura, las zonas más bajas corresponden a circulaciones y servicios. El lenguaje busca ser limpio y sencillo, primando los espacios blancos e iluminados.

Los vanos. Esta vivienda posee una gran variedad en los vanos que conforman la fachada, no solo por sus materiales sino por la variedad de sus formas y materiales, cada uno responde a una necesidad relacionada no solo con el uso del espacio, sino con el nivel de conexión que se pretende con el exterior. Los vanos delgados y alargados en aluminio y vidrio que se ubican en las zonas de circulación y de servicios, son de tipo proyectante y permiten una apertura controlada en su parte inferior. Los vanos de madera y vidrio de las zonas sociales con aperturas permanentes en su parte superior, están compuestos por cuatro naves, dos de las cuales son operables. En las habitaciones hay vanos donde aparece como elemento adicional el anjeo o malla el cual permite en horas de la tarde tener abiertas las naves de vidrio.

Elementos de protección. Se combinan parasoles y retrocesos como protección de algunos vanos. En zonas de circulaciones los vanos no tienen ningún tipo de protección.

**Casa El hormiguero -
2.006**

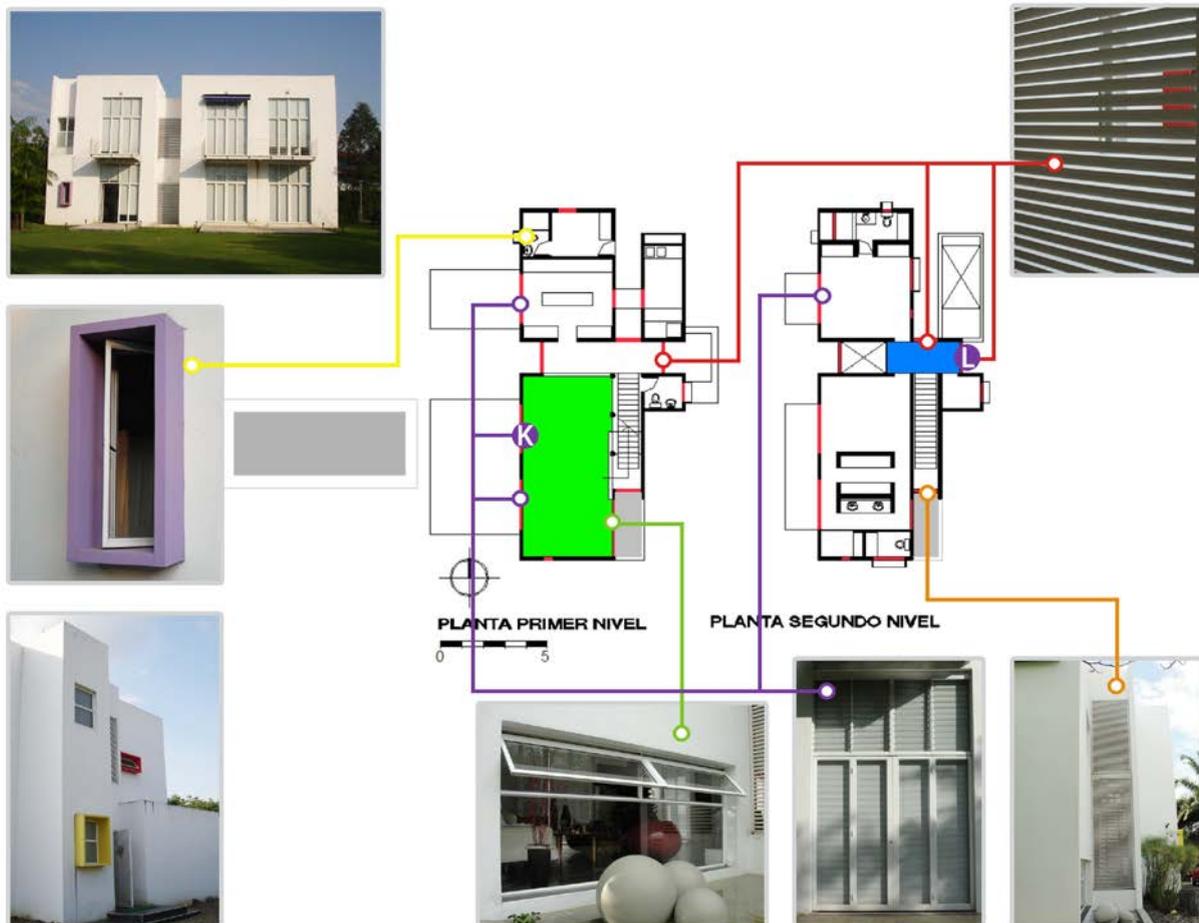
(Arq. María Clara Betancourt – Casa del arquitecto)

- Vivienda Sub Urbana

Se encuentra ubicada en el Condominio Solares la Morada, en el municipio de Jamundí, en un lote de 1500 m2.

Orientación. Esta vivienda tiene sus lados largos orientados en sentido este-oeste (figura A1.13), dando prioridad a la visual de los Farallones de Cali, la orientación del lote y a las zonas verdes aledañas. Sus fachadas (figura A1.14) se abren completamente hacia la visual y el jardín y de manera controlada hacia los vecinos por tres costados.

Distribución. De planta rectangular de doble altura, conformada por dos volúmenes articulados por los accesos y circulaciones de la casa. Una de las características de la vivienda es el manejo de las transparencias por sus ejes de circulación gracias a la permeabilidad de los vanos tanto de puertas como de ventanas. Todos los espacios de la casa tienen una fachada abierta con grandes ventanales hacia las visuales, el jardín y el parque que



DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Figura A1.13 Plantas primer y segundo nivel y fotografías “El Hormiguero”. Fuente: Planos y fotos María Clara Betancourt (2010)

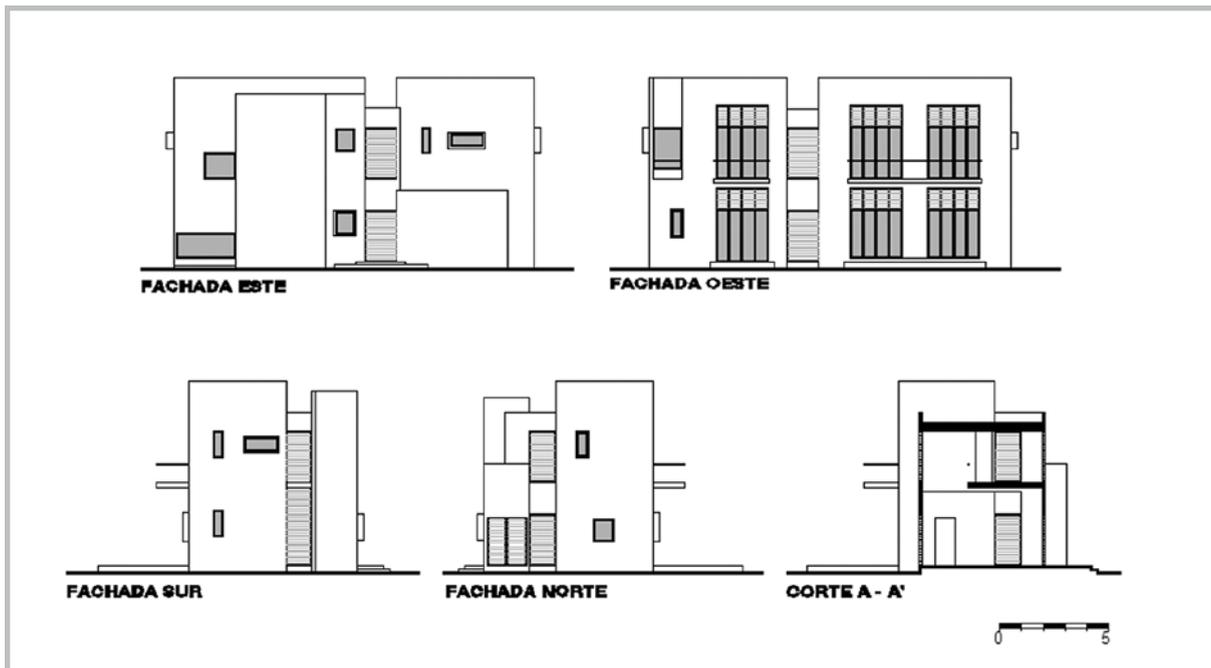


Figura A1.14 Fachadas y corte “El Hormiguero”. Fuente: Planos María Clara Betancourt (2010)

se encuentra en su parte posterior. El programa de esta vivienda es muy pequeño con dos habitaciones en segundo piso y zonas sociales y de servicio en primer piso. La casa en su interior no posee puertas para permitir movimientos de aire en los espacios interiores, en los espacios de circulación y terrazas de segundo nivel, los pisos son hechos de forja metálica para permitir el paso del aire en sentido vertical.

Los vanos. Hay dos tipos de vanos los de espacios de permanencia y los de espacios de circulación o transición. Los de permanencia pequeños están diseñados para enmarcar algunos puntos del paisaje a manera de cuadro, son operables y por seguridad pueden permanecer abiertos hasta cierto grado para impedir el paso de una persona, los grandes están orientados hacia la visual de las montañas y las zonas verdes, tienen cuatro naves de tipo plegables que dejan el vano completamente abierto, en su parte superior tienen una celosía de vidrio operable. Los vanos de las circulaciones tanto horizontales como verticales, son una celosía de tubos metálicos no operables que permiten el contacto permanente con el exterior y generan las transparencias de los ejes de circulación, estos vanos tamizan la entrada de luz y permiten la renovación constante de aire dentro de la vivienda.

Elementos de protección. No hay elementos arquitectónicos que protejan las aperturas de fachadas, sobre la fachada oeste hay árboles que protegen parcialmente, hay persianas tipo celosía en el interior en vanos de la fachada oeste para proteger de la radiación.

Casa Cárpena Escobar (Arq. Oscar Cárpena – Casa del arquitecto)

- Vivienda Sub Urbana

Localizada también en el Condominio Solares la morada en Jamundí. Esta vivienda está dispuesta en sentido longitudinal del lote privilegiando las visuales en su parte posterior.

Orientación. Esta vivienda está orientada en sentido este-oeste por sus lados largos (figura A1.15), la mayor cantidad de aperturas de fachada están ubicadas en el costado este (figura A1.16). Esta orientación se debe a que la casa se plantea como un mirador lineal donde todos los espacios gozan de la vista de los arboles en la parte posterior del predio.



Figura A1.15 Plantas primer y segundo nivel y fotografías “Casa Cárpena Escobar”.

Fuente: Planos Oscar Cárpena (2010), fotos María Clara Betancourt y Jorge Giraldo.

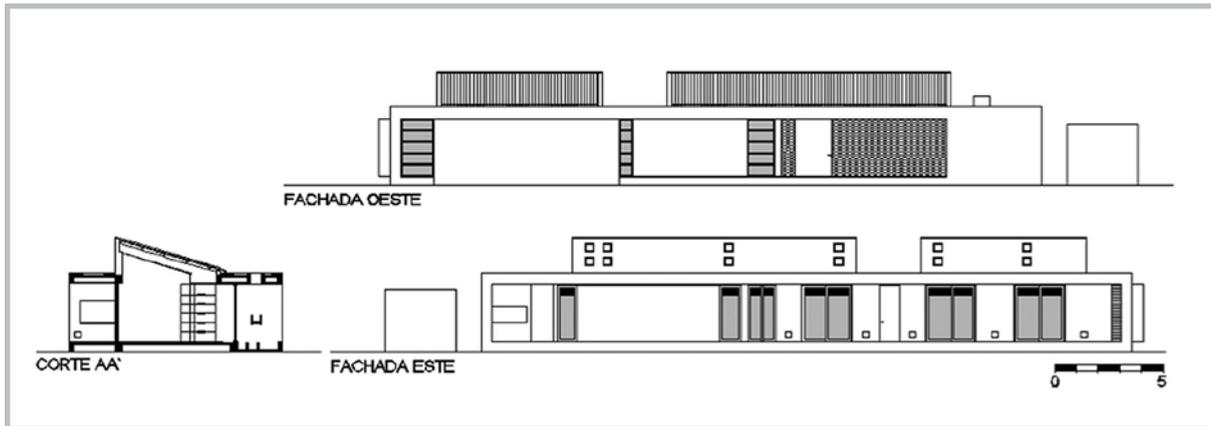


Figura A1.16 Fachadas y corte “Casa Cárpena Escobar”. Fuente: Planos Oscar Cárpena (2010)

Distribución. El acceso combina elementos de vegetación, agua y sombra los cuales permiten la ventilación cruzada y garantiza la frescura del aire que entra a la casa. La zona social se plantea como un espacio susceptible de convertirse en terraza ya que sus vanos se transforman en una pared de vidrio que al abrirse completamente y sumado a la reja en el acceso, evolucionan en un espacio en contacto permanente con la naturaleza.

La casa de planta rectangular se recorre por un solo eje que organiza sus espacios, en la zona social este eje de circulación está delimitado por una gran reja en forja metálica que se convierte en el tema central de la casa. Los espacios interiores son altos con cubierta a un agua. Todas las habitaciones tienen sistema de aire acondicionado.

Los vanos. Predominan en la envolvente los vanos de aluminio y vidrio con celosía en su parte superior para la renovación constante del aire interior. Estos vanos son de grandes proporciones tanto en espacios privados como en los sociales y presentan persianas enrollables como protección adicional en las habitaciones. El otro tipo de vanos es una gran abertura en la fachada principal hecha en forja metálica que permite el contacto permanente con la naturaleza, no es operable y posee una persiana enrollable adicional que la cubre para protegerse del sol poniente y de la humedad.

Casa Club del Campo 2008
 (Arq. Héctor Andrés Hermida)

- Vivienda Sub Urbana, proyecto comercial -

Este proyecto está ubicado dentro del desarrollo del condominio Solares la Morada en el municipio de Jamundí, a 10 minutos del sur de la ciudad de Cali. El Club del Campo la Morada cuenta con un área de 370,000 m² de los cuales 74,000 m² están destinados a zonas verdes recreativas, este desarrollo tiene 196 unidades de vivienda resueltas en uno y dos pisos en lotes que van desde los 700 m² a los 2,000 m² de área y las viviendas van de los 220m² a los 330 m².

Orientación. Todas las viviendas están orientadas en sus fachadas más largas en sentido este-oeste con un ángulo de inclinación (figura A1.17). En sentido este se encuentran las habitaciones y en sentido oeste están las zonas de servicio. Las fachadas de sus naves largas orientadas en sentido Norte – Sur, no tienen aberturas (figura A1.18) .



Figura A1.17 Planta general, planta altillo y fotografías “Club del Campo la Morada”.
 232

Fuente: Planos Nuevo Urbanismo (2010), fotos María Clara
Betan- court.

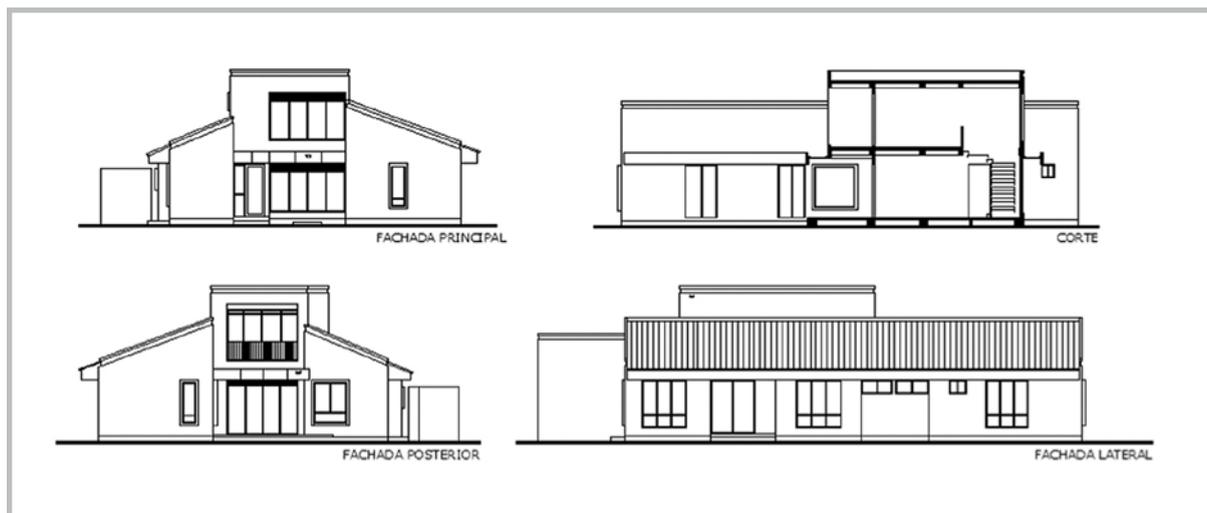


Figura A1.18 Fachadas y corte “Club del Campo la Morada”. Fuente: Planos Nuevo Urbanismo (2010)

Distribución. Vivienda compuesta de dos naves que se unen por un volumen cuadrado de dos pisos, centrada en el lote rodeada de verde con poca vegetación, es una vivienda de un proyecto comercial hecha en serie. Su planta de dos naves cada una con un uso específico, servicios y privado están unidas por la zona social que tiene dos niveles. Cada nave tiene una circulación perimetral para distribuir a todos los espacios. De forma alargada y volumen sencillo con una cubierta a un agua cada nave, unidas por un paralelepípedo que contiene los espacios sociales.

Los vanos. Ventanas de aluminio y vidrio, los ventanales de las zonas sociales tienen celosía en la parte superior para permitir la entrada de aire permanente, las demás ventanas son de naves que se corren, todas son operables y tienen anjeos.

Elementos de protección. Las cubiertas tienen un alero pequeño hacia sus lados largos, la circulación protege del poniente las habitaciones. En la zona de servicios está expuesta a la radiación del sol en horas de la tarde.

Anexo 2

Mediciones de aspectos climáticos de los casos de estudio

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

2011/04/20	11:00	1,0	22,6	91	32,4	0	22,8	83,1	
2011/04/20	12:00	1,3	24,7	79	63,2	0	23,4	78,3	
2011/04/20	13:00	1,2	25,6	75	52,5	0	23,7	76,5	
2011/04/20	14:00	1,0	26,7	71	54,3	0	24,4	74,9	
2011/04/20	15:00	1,3	26,8	69	31,1	0	23,6	78,6	
2011/04/20	16:00	1,4	27,0	68	29,0	0	23,6	78,9	
2011/04/20	17:00	3,4	25,7	74	13,8	0	23,6	79,5	
2011/04/20	18:00	2,4	23,4	83	2,1	0	23,5	78,6	
2011/04/20	19:00	1,7	21,1	96	0,1	0	23,3	80,2	
2011/04/20	20:00	1,4	20,7	99	0,0	0	23,4	80,1	
2011/04/20	21:00	2,1	20,4	100	0,0	0	23,3	80,6	
2011/04/20	22:00	2,2	20,1	100	0,0	0	23,3	80,9	
2011/04/20	23:00	1,9	20,0	100	0,0	0	23,2	81,2	
2011/04/21	00:00	1,5	19,9	100	0,0	0	23,2	80,7	
2011/04/21	01:00	0,8	19,8	100	0,0	0	23,2	80,9	
2011/04/21	02:00	0,8	19,8	100	0,0	0	23,2	80,7	
2011/04/21	03:00	1,3	19,4	100	0,0	0	23,1	80,6	
2011/04/21	04:00	1,0	19,3	100	0,0	0	23,1	80,6	
2011/04/21	05:00	0,7	19,1	100	0,0	0	23	81	
2011/04/21	06:00	1,0	18,8	100	0,1	0	23	80,7	
2011/04/21	07:00	0,2	18,8	100	2,4	0	23	81,1	
2011/04/21	08:00	0,3	20,0	100	12,9	0	23	80,6	
2011/04/21	09:00	1,0	22,2	94	33,0	0	23	81	
2011/04/21	10:00	1,6	23,9	83	54,1	0	23	80,7	

13/04/11	17:00	0,7	25,7	69,1	68,6	0	23,1	88,2	
13/04/11	18:00	0,6	26,6	62,2	99,3	0	23,4	78,6	
13/04/11	19:00	2,3	25,7	60,1	1,6	0	23,4	78,2	
13/04/11	20:00	2,5	24,9	63,9	0	0	23,2	78,9	
13/04/11	21:00	1,9	24,4	65,7	0	0	23,1	78,7	
13/04/11	22:00	1,9	24,1	66,3	0	0	23	76,8	
13/04/11	23:00	1,2	23,4	68,2	0	0	22,9	78,4	
13/04/11	0:00	1	22,5	75	0	0	22,7	77,7	
14/04/11	1:00	1,6	21,8	75	0	0	22,2	76,1	
14/04/11	2:00	0,8	21,7	75,5	0	0	22,1	76	
14/04/11	3:00	0,4	21	84,5	0	0	22,2	77,9	
14/04/11	4:00	0,2	20,8	87,3	0	0	21,9	77,8	
14/04/11	5:00	0,6	21,2	81,5	0	0	21,8	79	
14/04/11	6:00	0,1	20,8	84,5	0	0	21,7	76,5	
14/04/11	7:00	1,1	20,7	77,8	55,6	0	21,6	76,3	
14/04/11	8:00	0,8	21,9	72,2	110	0	21,9	80,5	
14/04/11	9:00	0,6	22,8	73,9	210,7	0	22,5	84,6	
14/04/11	10:00	0,6	25,3	66,1	598,5	0	23,5	79,2	
14/04/11	11:00	1,5	26,6	60,6	605,7	0	24,1	76,7	
14/04/11	12:00	0,6	27,7	55,5	686,5	0	24,5	74,7	
14/04/11	13:00	1	28,5	52,6	455,7	0	25,9	67,1	
14/04/11	14:00	1,2	28,2	53	272,7	0	25	71,2	
14/04/11	15:00	2,2	27,3	55	163,6	0	24,7	70,6	
14/04/11	16:00	2,8	28	51,1	314,6	0	25,8	67	

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

14/04/11	17:00	3,3	27,8	52,2	166	0	25,7	66,2	
14/04/11	18:00	3,3	26,3	57,4	37	0	25,3	67,5	
14/04/11	19:00	2,3	25,6	60,5	0,5	0	25,2	68,3	
14/04/11	20:00	1,3	25,2	63,7	0	0	25,2	69,9	
14/04/11	21:00	0,5	24	74,1	0	0	25,2	71,8	
14/04/11	22:00	0,5	23,6	74,6	0	0	25	71,3	
14/04/11	23:00	1,6	23,2	75,6	0	0	24,9	71,5	
14/04/11	0:00	1,6	23,3	74,6	0	0	24,7	73	
15/04/11	1:00	0,3	22,7	79,5	0	0	24,6	75,3	
15/04/11	2:00	1,1	21,9	83,9	0	0	24,3	77,4	
15/04/11	3:00	0,6	20,6	92,7	0	0	24,1	81	
15/04/11	4:00	0,4	20,6	94,6	0	0	23,9	81,3	
15/04/11	5:00	0,6	20,6	95,3	0	0	23,8	83,1	
15/04/11	6:00	1	20,6	94,6	0	0	23,7	83,8	
15/04/11	7:00	1,1	20,6	94,3	15,4	0	23,5	84,3	
15/04/11	8:00	1,2	20,8	92,7	64,3	0	23,3	84,8	
15/04/11	9:00	1,3	21	91,2	72,3	0	23,5	85,1	
15/04/11	10:00	1,2	21,1	88,9	152,1	0	23,3	84,9	
15/04/11	11:00	1,6	21,9	85,1	299,9	0	23,4	84,1	
15/04/11	12:00	1,3	23,5	77,5	464,4	0	23,9	81,8	
15/04/11	13:00	1,1	24,9	70	537,6	0	24,5	78,4	
15/04/11	14:00	0,6	26,1	63,2	615,7	0	24,9	76	
15/04/11	15:00	1,8	25,9	65,6	103,5	0	25	74,9	
15/04/11	16:00	2,9	24,3	73,4	92,8	0	24,9	75,8	

12/04/11	13:00	0,1	25,4	63,3	567,5	0	22,9	84,6	
12/04/11	14:00	0,9	26,6	58,7	484,4	0	23,1	83,7	
12/04/11	15:00	1,2	27	57	424,4	0	23,3	83,3	
12/04/11	16:00	0,7	26	61,6	141,4	0	23,2	81,1	
12/04/11	17:00	0,6	21,7	85,4	76,1	0	23	86,9	
12/04/11	18:00	0,2	21,7	86,2	21,9	0	22,9	89,3	
12/04/11	19:00	1,9	21,1	88,8	0	0	22,7	88,6	
12/04/11	20:00	0,5	21,2	88,9	0	0	22,6	89	
12/04/11	21:00	0,8	21	88,3	0	0	22,6	91	
12/04/11	22:00	1,7	20,2	94,3	0	0	22,3	90,2	
12/04/11	23:00	1,2	19,7	96,5	0	0	22,2	90,3	
12/04/11	0:00	1,1	19,5	97,3	0	0	22,1	90,6	
13/04/11	1:00	1,3	19,3	97,5	0	0	21,9	90,6	
13/04/11	2:00	1	19,1	98,5	0	0	21,8	91,4	
13/04/11	3:00	0,8	19,2	98,2	0	0	21,7	90,8	
13/04/11	4:00	0,1	19,2	96,8	0	0	21,6	91,3	
13/04/11	5:00	0,4	19,3	95,5	0	0	21,6	90,5	
13/04/11	6:00	0,7	19,2	95,9	0	0	21,3	90	
13/04/11	7:00	0,8	19,2	95,6	55,5	0	21,3	90,7	
13/04/11	8:00	0,6	20,5	87,8	189,9	0	21,4	91,1	
13/04/11	9:00	0,8	21,2	83,4	232,1	0	21,8	90,1	
13/04/11	10:00	0,7	22,3	77,7	312	0	22,1	86,3	
13/04/11	11:00	0,6	23,6	69,7	443,1	0	22,4	84,2	
13/04/11	12:00	0,8	24,3	66,5	419,3	0	22,7	82,3	

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

2011/03/31	08:00	0,3	20,5	100	7,4	0	22,1	92,3	
2011/03/31	09:00	0,9	22,1	97	19,6	0	23	88,1	
2011/03/31	10:00	1,6	23,1	92	23,9	0	23,1	87,2	
2011/03/31	11:00	1,7	24,0	85	32,7	0	23,4	83,1	
2011/03/31	12:00	0,8	26,1	74	67,9	0	24,4	77,1	
2011/03/31	13:00	1,0	28,0	65	68,5	0	25	74,8	
2011/03/31	14:00	1,4	29,5	56	88,0	0	26,3	69,2	
2011/03/31	15:00	1,3	29,7	55	51,9	0	25,9	68,2	
2011/03/31	16:00	1,4	30,2	56	52,1	0	26,7	66,1	
2011/03/31	17:00	1,2	29,9	54	24,9	0	26,3	68,5	
2011/03/31	18:00	2,1	27,9	59	9,0	0	26	67,9	
2011/03/31	19:00	1,7	25,8	66	0,3	0	25,9	71,8	
2011/03/31	20:00	1,8	25,4	66	0,0	0	25,4	73,2	
2011/03/31	21:00	1,8	24,3	74	0,0	0	25	73,6	
2011/03/31	22:00	1,5	23,3	83	0,0	0	24,4	79,4	
2011/03/31	23:00	2,1	22,6	87	0,0	0	24,2	81,7	
2011/04/01	00:00	1,5	22,4	89	0,0	0	23,4	88,4	
2011/04/01	01:00	1,4	22,0	93	0,0	0	23,2	90,1	
2011/04/01	02:00	0,5	21,1	97	0,0	0	22,8	91,1	
2011/04/01	03:00	1,1	21,0	99	0,0	0	22,1	93,6	
2011/04/01	04:00	2,0	20,4	98	0,0	0	21	91,4	
2011/04/01	05:00	2,5	19,2	97	0,0	0	20,2	93	
2011/04/01	06:00	1,9	18,8	97	0,0	0	20	93,1	
2011/04/01	07:00	1,4	19,1	96	6,0	0	21,3	87,5	

2011/03/30	08:00	0,5	21,1	98	5,7	0	22,1	89,2	
2011/03/30	09:00	0,6	23,4	86	34,6	0	23,7	79	
2011/03/30	10:00	1,4	26,7	70	63,2	0	24,6	75,5	
2011/03/30	11:00	1,5	27,9	65	67,6	0	25,4	72,2	
2011/03/30	12:00	1,6	28,3	63	66,5	0	26,5	68,2	
2011/03/30	13:00	1,0	30,0	58	82,0	0	27,3	65,5	
2011/03/30	14:00	2,0	30,2	57	61,4	0	27,6	62,6	
2011/03/30	15:00	2,4	30,7	55	68,1	0	28	61,9	
2011/03/30	16:00	2,5	30,4	52	39,9	0	27,4	60,9	
2011/03/30	17:00	3,2	29,2	52	23,0	0	27	62,2	
2011/03/30	18:00	4,1	24,5	71	5,3	0	23,5	76,9	
2011/03/30	19:00	1,1	21,0	93	0,0	0	23,8	80,9	
2011/03/30	20:00	1,8	20,5	98	0,0	0	22,7	83,6	
2011/03/30	21:00	1,3	20,5	97	0,0	0	22,8	86,1	
2011/03/30	22:00	0,9	20,4	98	0,0	0	23	84,4	
2011/03/30	23:00	0,5	20,7	99	0,0	0	23,4	82,1	
2011/03/31	00:00	0,9	20,5	100	0,0	0	22,5	91,5	
2011/03/31	01:00	1,1	20,5	100	0,0	0	22,4	91,3	
2011/03/31	02:00	0,7	20,5	100	0,0	0	21,9	93,9	
2011/03/31	03:00	0,3	20,5	100	0,0	0	22,3	90,2	
2011/03/31	04:00	0,8	20,2	100	0,0	0	21,9	93,5	
2011/03/31	05:00	0,9	19,6	100	0,0	0	21,6	91,5	
2011/03/31	06:00	0,7	19,1	100	0,0	0	21,1	93,5	
2011/03/31	07:00	0,4	19,1	100	1,2	0	21,3	95,5	

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

7/04/11	22:00:00	1,4	21,7	83	0,0	0	23,6	80,5	
7/04/11	23:00:00	1,0	20,4	92	0,0	0	22,6	86,5	
8/04/11	0:00:00	1,3	19,8	93	0,0	0	22,9	84,2	
8/04/11	1:00:00	0,6	19,5	97	0,0	0	22,7	87,7	
8/04/11	2:00:00	0,4	19,5	99	0,0	0	22,1	93,7	
8/04/11	3:00:00	1,2	19,4	99	0,0	0	22,6	92,2	
8/04/11	4:00:00	1,2	19,0	100	0,0	0	21,9	93,5	
8/04/11	5:00:00	1,2	18,7	100	0,0	0,4	21,3	95,1	
8/04/11	6:00:00	1,0	18,7	100	0,0	0	21,8	92,7	
8/04/11	7:00:00	0,7	18,9	100	1,3	0	21,4	94,3	
8/04/11	8:00:00	0,8	19,2	99	5,5	0	22,6	88,4	
8/04/11	9:00:00	1,0	20,9	92	28,2	0	22,8	90	
8/04/11	10:00:00	1,7	22,2	84	37,5	0	23,7	82,8	
8/04/11	11:00:00	1,4	23,8	76	54,4	0	25,3	78	
8/04/11	12:00:00	1,2	25,3	70	67,2	0	25,6	75,2	
8/04/11	13:00:00	1,2	25,4	70	36,2	0	25,5	75	
8/04/11	14:00:00	1,6	25,6	70	34,7	0	25,7	75,5	
8/04/11	15:00:00	2,5	25,6	71	28,1	0,4	26	75,4	
8/04/11	16:00:00	2,5	26,3	68	28,2	0	26,4	70,3	
8/04/11	17:00:00	2,5	26,5	63	13,9	0	26	71	
8/04/11	18:00:00	1,2	25,2	68	3,7	0	25,2	72,8	
8/04/11	19:00:00	3,1	22,4	81	0,1	0	22,9	83,3	
8/04/11	20:00:00	3,1	19,9	91	0,0	0	24	81,1	
8/04/11	21:00:00	2,7	18,6	100	0,0	0	22,4	88	

6/04/11	20:00:00	1,5	21,5	82	0,0	0	25,3	74,1	
6/04/11	21:00:00	2,1	20,0	94	0,0	0	24,4	79,1	
6/04/11	22:00:00	1,2	19,6	97	0,0	0	24,3	78,8	
6/04/11	23:00:00	0,8	19,6	99	0,0	0	24,2	80,3	
7/04/11	0:00:00	0,5	19,6	99	0,0	0	24,2	81,3	
7/04/11	1:00:00	0,7	19,4	100	0,0	0	24,1	82,2	
7/04/11	2:00:00	0,6	19,4	100	0,0	0	24	82	
7/04/11	3:00:00	0,7	19,0	100	0,0	0	23,9	83	
7/04/11	4:00:00	0,6	19,0	100	0,0	0	23,8	83,1	
7/04/11	5:00:00	0,6	18,9	100	0,0	0	23,7	81,2	
7/04/11	6:00:00	0,5	18,9	100	0,0	0	23,6	83	
7/04/11	7:00:00	0,5	18,9	100	1,8	0	23	86,3	
7/04/11	8:00:00	0,8	19,5	100	6,3	0	23,1	87,9	
7/04/11	9:00:00	0,9	20,4	97	12,7	0	23,3	85,6	
7/04/11	10:00:00	0,8	21,3	90	19,9	0	23,4	82,8	
7/04/11	11:00:00	0,5	22,3	83	17,9	0	23,8	82,2	
7/04/11	12:00:00	1,5	22,7	82	36,4	0	24,4	80	
7/04/11	13:00:00	1,0	25,3	71	74,0	0	25,5	75,1	
7/04/11	14:00:00	1,7	26,3	65	70,0	0	25,9	71,6	
7/04/11	15:00:00	1,8	26,8	60	55,7	0	26,2	66,2	
7/04/11	16:00:00	1,4	27,4	58	47,5	0	25,8	70,6	
7/04/11	17:00:00	1,3	27,4	59	28,9	0	25,9	67,9	
7/04/11	18:00:00	1,3	24,6	72	3,3	0	25,2	74,4	
7/04/11	19:00:00	0,5	23,1	83	0,1	0	25	78	

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

22/04/11	12:00	1,8	23,8	77	59,4	0	24,7	74,4	
22/04/11	13:00	1,8	24,5	72	50,0	0	24,8	73,4	
22/04/11	14:00	1,7	25,1	70	65,2	0	25,5	69,9	
22/04/11	15:00	0,9	26,6	66	56,3	0	26,3	70	
22/04/11	16:00	1,1	27,3	63	50,2	0	27,2	66,1	
22/04/11	17:00	0,8	27,8	58	25,6	0	26,8	69,5	
22/04/11	18:00	1,2	25,7	70	5,7	0	25	78,7	
22/04/11	19:00	1,2	23,0	81	0,2	0	23,8	81,1	
22/04/11	20:00	0,8	21,0	93	0,0	0	22,8	89	
22/04/11	21:00	0,5	19,9	97	0,0	0	22,2	92,5	
22/04/11	22:00	1,0	19,9	98	0,0	0	22,4	91,8	
22/04/11	23:00	1,1	20,2	97	0,0	0	22,2	94	
23/04/11	0:00	0,8	19,9	98	0,0	0	21,7	95,7	
23/04/11	1:00	0,5	19,2	99	0,0	0	21,5	94,6	
23/04/11	2:00	0,6	19,0	100	0,0	0	21,3	95,7	
23/04/11	3:00	0,7	18,5	100	0,0	0	20,8	96,1	
23/04/11	4:00	0,5	18,6	100	0,0	0	20,7	97,5	
23/04/11	5:00	0,4	18,7	100	0,0	0	21	96	
23/04/11	6:00	0,7	18,6	100	0,0	0	20,9	97	
23/04/11	7:00	0,7	18,9	100	2,8	0	21,2	94,3	
23/04/11	8:00	0,9	19,7	99	8,0	0	21,8	93,3	
23/04/11	9:00	0,7	21,3	90	25,6	0	22,9	83,9	
23/04/11	10:00	1,5	23,5	77	52,6	0	23,9	80,1	
23/04/11	11:00	1,3	24,7	73	66,8	0	25,8	74,3	

23/04/11	13:00	1,3	27,0	64	70,0	0	28,1	61,4	
23/04/11	14:00	1,6	27,6	60	57,1	0	28,3	59,9	
23/04/11	15:00	1,1	28,7	56	50,6	0	28,8	59,8	
23/04/11	16:00	1,2	28,0	58	21,0	0	28,2	64,3	
23/04/11	17:00	3,0	26,6	63	7,0	0	25,9	69,4	
23/04/11	18:00	2,8	23,1	74	1,5	0	24,1	72,3	
23/04/11	19:00	3,4	20,4	85	0,0	0	22,7	82	
23/04/11	20:00	1,7	20,1	90	0,0	0,5	21,5	92,8	
23/04/11	21:00	1,3	18,7	96	0,0	0	20,9	92	
23/04/11	22:00	0,9	18,0	100	0,0	0	21,3	94	
23/04/11	23:00	1,6	18,4	100	0,0	0	21,2	93,9	
24/04/11	0:00	1,5	18,3	100	0,0	0	21,1	92,9	
24/04/11	1:00	1,4	18,4	99	0,0	0	20,5	95,9	
24/04/11	2:00	0,5	18,2	100	0,0	0	20,6	95	
24/04/11	3:00	0,7	17,9	100	0,0	0	20	97	
24/04/11	4:00	1,0	17,8	100	0,0	0	19,7	99,2	
24/04/11	5:00	1,5	17,9	100	0,0	0	20,3	96,4	
24/04/11	6:00	1,3	18,1	100	0,0	0	20,7	95,5	
24/04/11	7:00	0,8	18,3	100	4,6	0	22,7	89,3	
24/04/11	8:00	0,9	20,0	94	24,2	0	23,4	83,8	
24/04/11	9:00	0,6	21,5	86	23,3	0	25	76,2	
24/04/11	10:00	1,2	23,0	79	47,0	0	23,9	81,4	
24/04/11	11:00	1,4	24,4	74	68,1	0,7	25,6	71,2	
24/04/11	12:00	1,1	25,3	70	65,9	0	26,2	68,8	

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

2011/04/04	20:00	1,9	19,1	99	0,0	0	23,5	86,7	
2011/04/04	21:00	1,1	19,3	98	0,0	0	23,5	83,1	
2011/04/04	22:00	0,7	18,8	100	0,0	0	23,5	83,8	
2011/04/04	23:00	0,8	18,9	100	0,0	0	23,6	84,1	
2011/04/05	00:00	0,8	19,1	100	0,0	0	23,4	84,8	
2011/04/05	01:00	0,7	19,0	100	0,0	0	23,3	86,3	
2011/04/05	02:00	0,8	19,0	100	0,0	0	23,1	86,1	
2011/04/05	03:00	0,7	18,7	100	0,0	0	23,2	86,9	
2011/04/05	04:00	0,8	18,9	100	0,0	0	23,2	88,1	
2011/04/05	05:00	0,7	18,9	100	0,0	0	23	88,3	
2011/04/05	06:00	0,4	18,6	100	0,0	0	22,8	88,4	
2011/04/05	07:00	0,6	18,6	100	2,1	0	22,2	92,7	
2011/04/05	08:00	0,5	19,3	98	7,8	0	22	95,5	
2011/04/05	09:00	0,4	20,9	90	15,3	0	22,4	92,5	
2011/04/05	10:00	0,7	22,1	87	22,8	0	23,4	89,9	
2011/04/05	11:00	2,2	20,9	92	8,5	0	23,5	87,1	
2011/04/05	12:00	2,0	22,0	88	36,2	0	23,9	87,3	
2011/04/05	13:00	2,7	22,4	85	24,8	0	23,4	88,9	
2011/04/05	14:00	3,1	21,6	89	16,9	0	23,4	85	
2011/04/05	15:00	1,7	22,6	80	28,1	0,5	24,7	76	
2011/04/05	16:00	1,3	23,3	73	22,7	0	24,6	71,7	
2011/04/05	17:00	0,7	23,7	68	12,9	0	24,7	73,8	
2011/04/05	18:00	0,9	22,6	76	3,7	0	24,4	79,1	
2011/04/05	19:00	1,0	21,0	87	0,2	0	23,7	82	

2011/04/05	20:00	0,6	19,8	95	0,0	0	24,2	81,8	
2011/04/05	21:00	0,5	18,7	99	0,0	0	24,5	77,8	
2011/04/05	22:00	0,4	18,3	99	0,0	0	24,3	76,8	
2011/04/05	23:00	0,3	18,4	98	0,0	0	24,3	77,8	
2011/04/06	00:00	1,2	18,4	96	0,0	0	24,2	78,3	
2011/04/06	01:00	0,9	18,0	98	0,0	0	24	78,6	
2011/04/06	02:00	0,7	17,9	100	0,0	0	23,9	77,6	
2011/04/06	03:00	0,4	18,0	100	0,0	0	23,8	78,6	
2011/04/06	04:00	0,6	18,0	100	0,0	0	23,8	79,8	
2011/04/06	05:00	0,6	18,0	100	0,0	0	23,7	79,8	
2011/04/06	06:00	0,5	18,2	100	0,0	0	23,6	80,6	
2011/04/06	07:00	0,3	18,3	100	1,3	0	22	89,2	
2011/04/06	08:00	0,5	19,2	99	8,2	0	21,4	94,9	
2011/04/06	09:00	0,6	21,5	85	27,8	0	23,1	87,7	
2011/04/06	10:00	1,4	23,1	79	39,8	0	24,5	80,4	
2011/04/06	11:00	1,4	24,1	73	55,3	0	25,6	75,2	
2011/04/06	12:00	1,1	25,7	70	64,3	0	26,5	71,1	
2011/04/06	13:00	1,4	25,6	68	31,2	0	26,2	75,4	
2011/04/06	14:00	1,1	26,7	65	57,7	0	27,4	69,2	
2011/04/06	15:00	1,1	27,8	62	55,0	0	27,7	67	
2011/04/06	16:00	0,9	27,9	59	34,1	0	27,4	67,2	
2011/04/06	17:00	3,4	25,7	68	14,8	0	26,3	71,8	
2011/04/06	18:00	1,7	23,1	81	1,9	0	25,6	74,7	
2011/04/06	19:00	1,7	21,5	81	0,1	0	25,3	72,1	

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

26/03/11	20:00	1,4	22,3	78	0,0	0,00	26,6	67,9	
26/03/11	21:00	0,9	21,7	82	0,0	0,00	26,3	69,5	
26/03/11	22:00	0,7	21,0	90	0,0	0,00	26,1	72,8	
26/03/11	23:00	0,5	20,3	95	0,0	0,00	26	72,2	
27/03/11	0:00	0,5	19,8	98	0,0	0,00	25,8	73,3	
27/03/11	1:00	0,9	18,9	100	0,0	0,00	25,6	74,1	
27/03/11	2:00	0,6	18,6	100	0,0	0,00	25,4	73,4	
27/03/11	3:00	0,3	18,1	100	0,0	0,00	25,2	72,4	
27/03/11	4:00	0,5	17,4	100	0,0	0,00	25	72,6	
27/03/11	5:00	0,5	17,0	100	0,0	0,00	24,8	72,2	
27/03/11	6:00	0,5	16,6	100	0,0	0,00	24,6	70,7	
27/03/11	7:00	0,7	17,0	100	2,5	0,00	24,6	72,5	
27/03/11	8:00	0,6	18,8	99	8,1	0,00	24,9	74,6	
27/03/11	9:00	0,4	21,7	88	31,1	0,00	26	74	
27/03/11	10:00	1,3	24,3	77	49,3	0,00	26,5	71,5	
27/03/11	11:00	1,3	25,4	72	65,6	0,00	27,2	69,5	
27/03/11	12:00	1,2	26,6	67	70,0	0,00	28,3	64,3	
27/03/11	13:00	1,1	27,6	63	62,8	0,00	29	62,2	
27/03/11	14:00	1,3	28,8	59	65,2	0,00	28,6	61,8	
27/03/11	15:00	1,7	29,1	56	48,4	0,00	28,7	61,7	
27/03/11	16:00	1,0	28,7	56	21,9	0,00	28,5	61,7	
27/03/11	17:00	1,1	28,7	58	17,1	0,00	28,4	64,7	
27/03/11	18:00	1,1	27,1	67	5,5	0,00	28	72,1	
27/03/11	19:00	0,9	24,8	81	0,2	0,00	27,5	72,2	

25/03/11	21:00	0,8	18,8	100	0,0	0,00	25	74,9	
25/03/11	22:00	0,4	18,3	100	0,0	0,00	24,6	75,5	
25/03/11	23:00	1,1	17,9	100	0,0	0,00	24,3	76,4	
26/03/11	0:00	0,7	17,8	100	0,0	0,00	23,9	76,7	
26/03/11	1:00	0,7	17,5	100	0,0	0,00	23,7	77	
26/03/11	2:00	0,7	17,3	100	0,0	0,00	23,5	77,4	
26/03/11	3:00	0,5	16,8	100	0,0	0,00	23,2	78	
26/03/11	4:00	0,6	16,7	100	0,0	0,00	23	78,1	
26/03/11	5:00	0,7	16,6	100	0,0	0,00	22,8	79,1	
26/03/11	6:00	0,7	17,0	100	0,0	0,00	22,7	79,4	
26/03/11	7:00	0,4	17,1	100	1,9	0,00	22,9	79,9	
26/03/11	8:00	0,3	18,3	100	9,6	0,00	23,7	79,6	
26/03/11	9:00	0,6	20,7	91	23,3	0,00	25,1	76	
26/03/11	10:00	0,7	22,6	81	31,7	0,00	26,9	70,3	
26/03/11	11:00	1,0	24,5	72	45,9	0,00	28,3	62,8	
26/03/11	12:00	0,7	25,9	67	50,5	0,00	30,2	58,2	
26/03/11	13:00	2,4	26,9	65	49,9	0,00	31,4	56,5	
26/03/11	14:00	1,6	27,1	62	33,3	0,00	31	55,5	
26/03/11	15:00	1,4	27,8	61	48,0	0,00	32,8	50,1	
26/03/11	16:00	2,2	28,0	63	50,3	0,00	31,3	53,6	
26/03/11	17:00	2,1	28,1	62	34,4	0,00	30,9	54,4	
26/03/11	18:00	2,4	26,4	66	9,5	0,00	28,7	62,3	
26/03/11	19:00	1,9	24,3	70	0,3	0,00	27,4	62,5	
26/03/11	20:00	1,4	22,3	78	0,0	0,00	26,6	67,9	

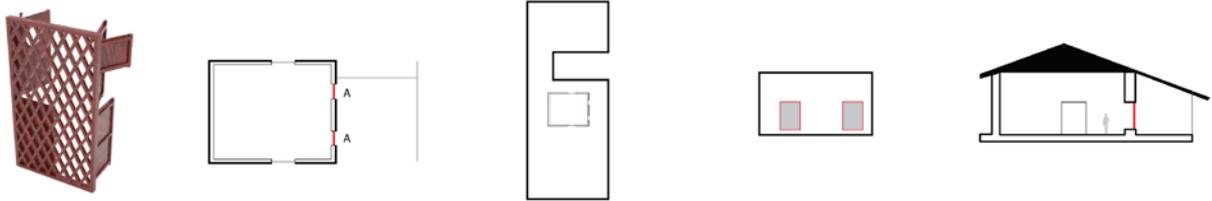
Anexo 3

Registro de condiciones

Registro de condiciones

Los aspectos climáticos más importantes de todos los casos están representados en una tabla que combina temperatura interior, exterior, de confort, humedad relativa interior, exterior y zona de confort, realizados con la información obtenida por las estaciones meteorológicas de CENICAÑA, el DAGMA y la estación portátil utilizada para los registros en interiores. Los datos más representativos de cada uno se encuentran expresados en cifras al inicio de cada gráfico. A continuación se explicarán con detalle los registros de cada caso referentes a Temperatura interior y exterior (T_i , T_e), Humedad Relativa (HR), características del espacio o del vano (E) e iluminancia (I).

Caso A – Alcoba “La Teja”- Vivienda vernácula.



A LA TEJA - ALCOBA - VIVIENDA VERNÁCULA 20-21/04/2011						
TEMPERATURA	Amplitud térmica °C			Diferencia HR %		
	Interior	Exterior		Interior	Exterior	
	1,6	°C		8,2		
	Promedio Int	Promedio Ext		6	%	
	23,29	°C		32,0		
	Alta	Baja		Promedio Int	Promedio Ext	
	27,0	temp externa		80,0	%	
	24,4	temp interna		90,9		
	27,3	temp confort		Alta	Baja	
	16:00	Horas críticas Exterior		100,0	HR externa	
14:00	Horas críticas Interior		80,9	HR interna		
			21:00	Horas críticas Exterior		
			23:00	Horas críticas Interior		

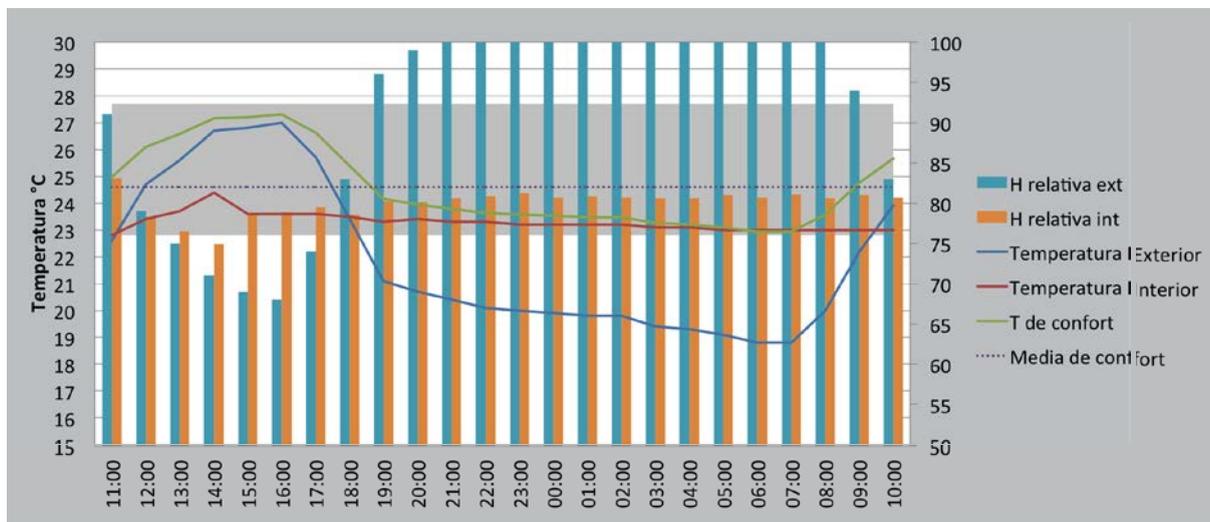


Figura A3.1 Diario de valores para temperatura y humedad relativa de “La Teja”.

Ti, Te: En la figura A3.1 se observa que las temperaturas interior y de confort se encuentran las 24 horas en la zona de confort definida. La temperatura interior en promedio en 24 horas fue de 23.28°C, alcanzó un máximo de 24.4°C a las 2:00 pm, tuvo un comportamiento muy estable en el interior de la habitación, en la noche no se presentaron pérdidas cuando la temperatura exterior estuvo por debajo de la zona de confort alcanzando un mínimo de 18.8°C. En la noche la temperatura exterior desciende y sale de la

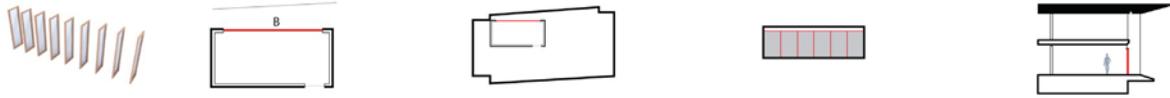
zona de confort durante 16 horas.

HR: La temperatura y la humedad relativa interiores no tuvieron grandes variaciones durante las 24 horas, la humedad relativa interior en la zona de confort, osciló entre 75 y 83%.

E: La orientación de los vanos hacia el Este y el corredor frente a los vanos, no permite ganancias de calor considerables al interior. Los anchos muros de 63 centímetros, contribuyen a que no haya pérdidas en la noche cuando la temperatura es baja y los vientos exteriores son considerables. La proporción del área de la ventana, de 8.52% con relación al área de la habitación, no permite que los agentes climáticos tengan gran incidencia en el interior del espacio. No se registró movimiento de aire al interior de la habitación durante las 24 horas. El tamaño reducido de las ventanas con relación al espacio interior, el espesor de los muros, el corredor y alero de la cubierta, son una barrera contra el clima y permiten a su vez mantener en el interior una temperatura y humedad relativa estables con pocas variaciones durante el día y dentro de la zona de confort.

I: Con respecto a la iluminación las mediciones de iluminancia estuvieron en promedio en -4Lux, estando por debajo de las recomendaciones de la norma UNE EN 12464-1 de 2003, que para dormitorios debe estar en promedio en 150Lux.

Caso B - Salón “El Níspero” – Vivienda urbana entre medianeras.



B EL NÍSPERO - SALA - VIVIENDA URBANA 13-14/04/2011						
Amplitud térmica °C			Diferencia HR %			
TEMPERATURA	Interior	Exterior	Interior	Exterior		
	3,8	7,8	21,2	36,2		
	Promedio In	Promedio Ex	Promedio In	Promedio Ex		
	23,18	24,2	76,95	68,2		
	Alta	Baja	Alta	Baja		
	28,5	temp externa	20,7	87,3	HR externa	51,1
	25,9	temp interna	22,1	88,2	HR interna	67
	28,1	temp confort	24,0	04:00	Horas críticas Exterior	16:00
	13:00	Horas críticas Exterior	07:00	17:00	Horas críticas Interior	16:00
	13:00	Horas críticas Interior	02:00			
			LUMINOSIDAD RELATIVA			

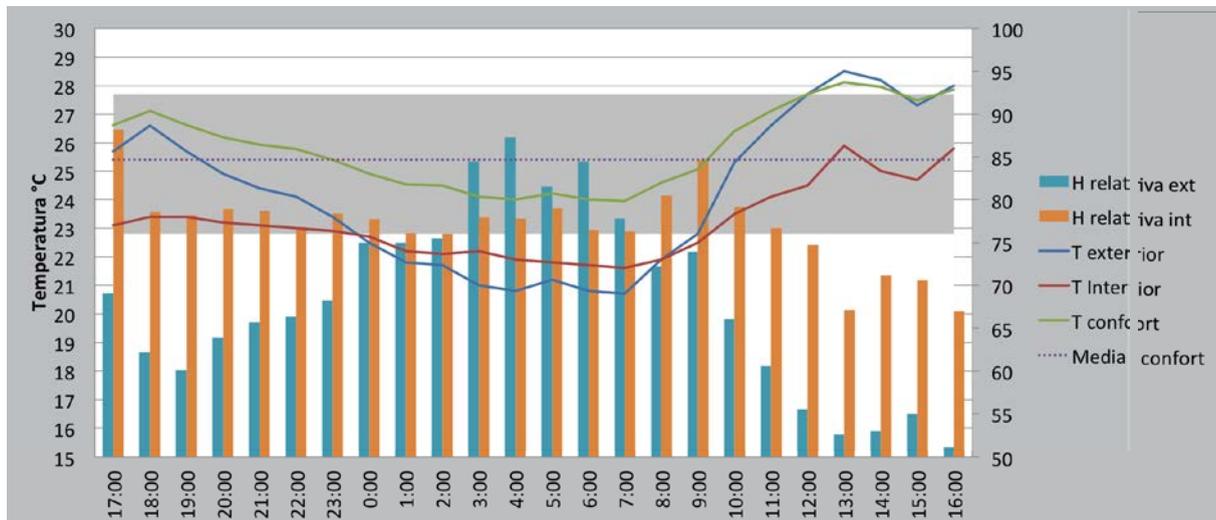


Figura A3.2 Diario de valores para temperatura y humedad relativa del salón “El Níspero”

Ti, Te: Para la fecha del registro, la temperatura interior del salón del Níspero (figura A3.2), estuvo desde las 24:00 a las 9:00 horas por fuera de la zona de confort comportándose de manera similar a la temperatura exterior, el resto del día y en la hora más crítica a las 14:00, la temperatura interior estuvo dentro de la zona de confort.

HR: La HR interior estuvo entre el 77 y 85%. La temperatura de confort estuvo siempre por encima de la temperatura interior. Este vano ubicado al Norte con vegetación y sombra permanente, no permite una aireación del espacio motivo por el cual se registró una alta humedad.

E: La envolvente exterior de este espacio está conformado por una serie de ventanas de vidrio de piso a techo, que al estar ubicadas hacia el norte, no reciben la radiación directa del sol y por consiguiente la temperatura no se ve afectada por el clima exterior. No se registraron movimientos de viento dentro del espacio.

I: Los vanos están protegidos por vegetación que afecta la calidad de la iluminación interior. Los niveles de iluminancia estuvieron en 37 Lux, la norma UNE EN 12464-1 de 2003 sugiere 300Lux.

Caso C - Estar-Estudio “El Níspero” – Vivienda urbana entre medianeras.



C EL NÍSPERO - ESTUDIO - VIVIENDA URBANA 14-15/04/2011				
Amplitud térmica °C		Diferencia HR %		
TEMPERATURA	Alta		Baja	
	27,8	temp externa	20,6	
	25,7	temp interna	23,3	
	27,7	temp confort	23,9	
	17:00	Horas críticas Exterior	04:00	
	17:00	Horas críticas Interior	10:00	
HUMEDAD RELATIVA	Interior		Exterior	
	18,9		43,1	
	Promedio Int		Promedio Ext	
	77,15		78,1	
	Alta		Baja	
	95,3	HR externa	52,2	
85,1	HR interna	66,2		
05:00	Horas críticas Exterior	17:00		
09:00	Horas críticas Interior	17:00		

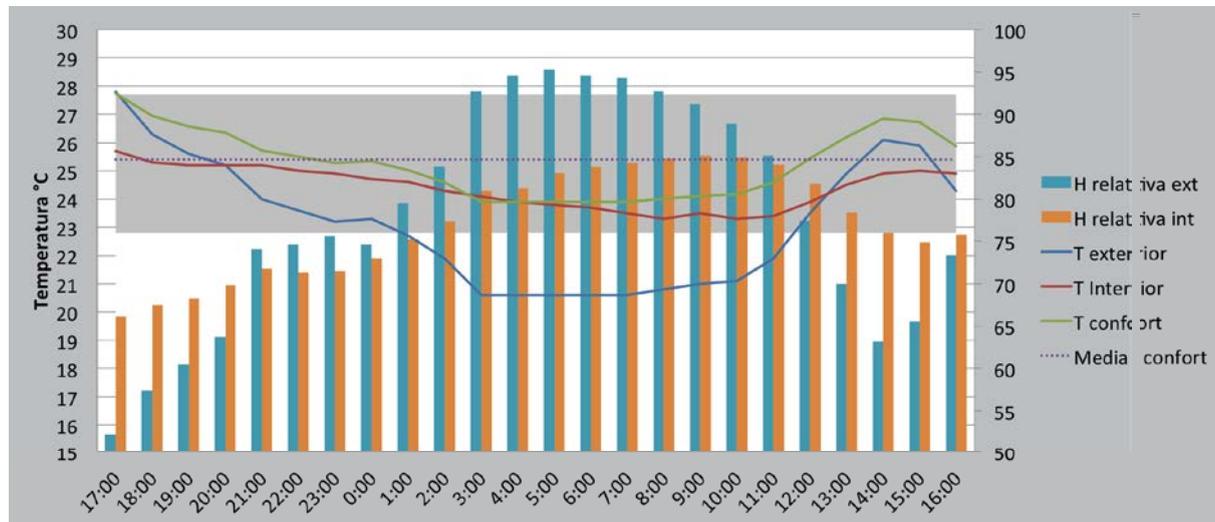


Figura A3.3 Diario de valores para temperatura y humedad relativa del estudio “El Níspero”

Ti, Te: En la figura A3.3, se puede observar que la temperatura interior y de confort del estudio del Níspero, estuvieron todo el día dentro de la zona de confort, aun cuando en horas de la noche y parte de la mañana la temperatura exterior estuvo por debajo de la zona de confort, además ambas temperaturas presentaron una tendencia similar con una diferencia entre ellas que no supera 1°C. Desde la 1:00 a las 12:00 horas, la temperatura exterior estuvo por debajo de la zona de confort, pero la temperatura interior

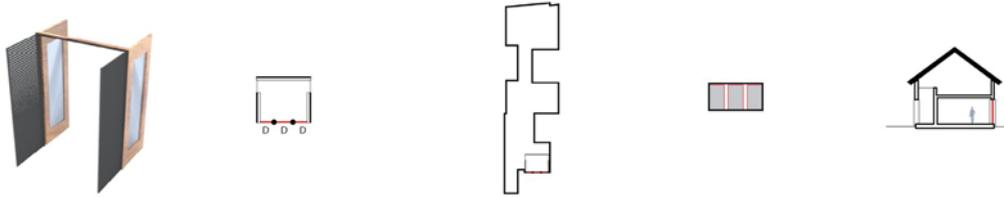
estuvo siempre dentro de la zona.

HR: La HR interior y exterior 77,1 y 78,1% respectivamente, es similar en promedio en las 24 horas.

E: Este espacio tiene ventanas de vidrio de piso a techo con una cortina tipo persiana horizontal de madera en su interior, están orientados al norte con vegetación en el exterior y un alero de 2,64 metros. Su orientación no permite entrada del sol durante el año y por consiguiente no hay ganancias. No se registraron movimientos de aire dentro del espacio.

I: La vegetación y las persianas interiores, dan como resultado niveles de iluminancia por debajo de los estándares aceptados para realizar actividades de estudio en el espacio. Los niveles de iluminancia estuvieron en -34 Lux mientras la norma UNE EN 12464-1 de 2003, sugiere 500Lux.

Caso D - Alcoba "La Queja" – Vivienda urbana entre medianeras.



D LA QUEJA - ALCOBA - VIVIENDA URBANA 04/12-13/2011							
Amplitud térmica °C			Diferencia I-R %				
TEMPERATURA	Interior	Exterior	Interior	Exterior	HUMEDAD RELATIVA		
	2	7,9	10,3	41,5			
	Promedio Int	Promedio Ext	Promedio Int	Promedio Ext			
	22,27	21,6	88,25	84,6			
	Alta	Baja	Alta	Baja			
	27,0	temp externa	19,1	HR externa		57,0	
	23,3	temp interna	21,3	HR interna		81,1	
	27,3	temp confort	23,1	02:00		Horas críticas Exterior	15:00
	15:00	Horas críticas Exterior	02:00	02:00		Horas críticas Interior	16:00
	15:00	Horas críticas Interior	06:00				

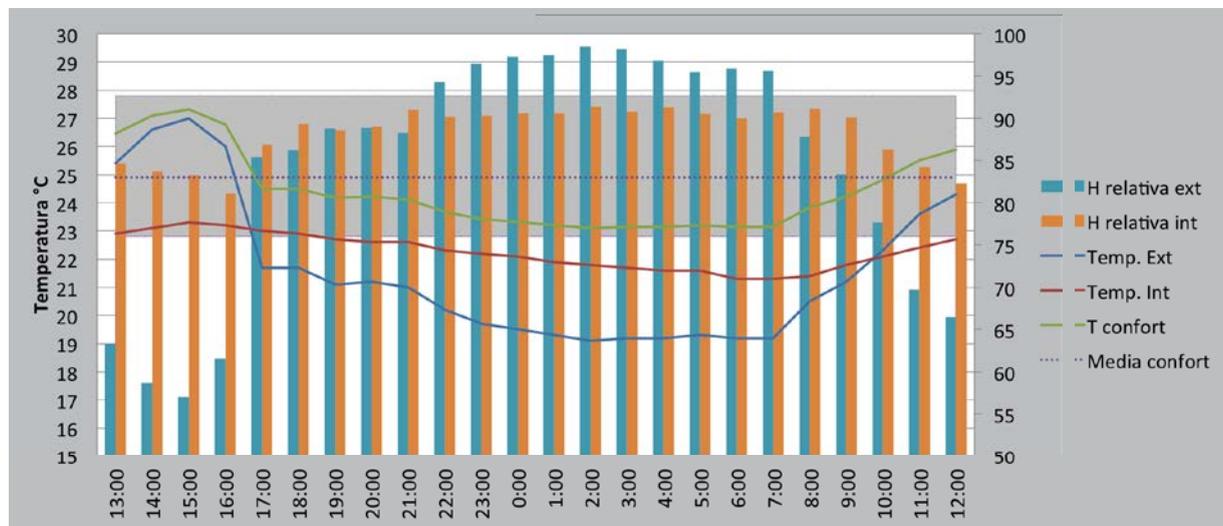


Figura A3.4 Diario de valores para temperatura y humedad relativa de la alcoba de "La Queja".

Ti, Te: En la figura A3.4 , se puede observar que las variaciones de temperatura en el interior no superaron los 2°C, la temperatura interior y exterior estuvieron 17 horas por debajo de la zona de confort. La temperatura de confort estuvo por encima de la temperatura interior durante las 24 horas. No se evidencian ganancias en la hora caliente más crítica a las 15:00 horas cuando la temperatura sube a los 26.6°C. La temperatura exterior estuvo baja lo cual explica que durante once horas la temperatura interior

también fuera baja con respecto a la media anual.

HR: La humedad relativa estuvo entre 81 y 93% en la zona de confort. El promedio de HR interior es mayor que el exterior.

E: El vano de pared a pared está compuesto por ventanas dobles con vidrio en su parte exterior y en su parte interior naves de hierro forjado sin vidrio con cortinas, tanto ventanas como cortinas permanecen cerradas durante todo el día, lo cual explica que la temperatura interior no tenga variaciones considerables durante las 24 horas, ya que el vano está orientado al sur y aislado del clima exterior. No se registraron movimientos de aire en el interior.

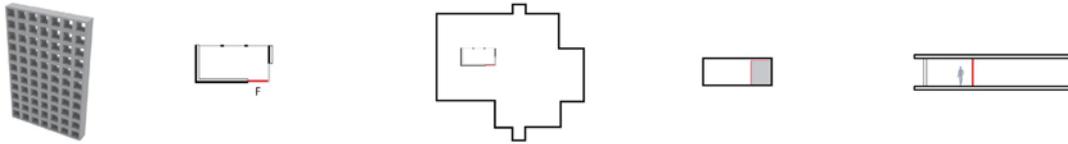
I: El promedio de los registros de iluminancia fue de 17 Lux, mientras la norma UNE EN 12464-1 de 2003, sugiere 150 Lux.

HR: La hora crítica del día es a las 16:00 horas cuando se registra mayor temperatura y es cuando menos HR se registra. La HR registrada en la zona de confort estuvo entre 74 y 93%. El promedio de HR interior es ligeramente más alto que el exterior.

E: La orientación al sur y el alero protector de 3.30 metros, no permiten ganancias considerables durante el día, aunque en la madrugada la temperatura desciende por debajo de la franja de confort. No se registraron movimientos de aire dentro del espacio.

I: Con respecto a la iluminación los registros de iluminancia estuvieron en promedio en 11Lux, estando por debajo de las recomendaciones de la norma UNE EN 12464-1 de 2003 que para salones, debe estar en promedio en 300Lux.

Caso F - Estar-Estudio “Casa del Agua” – Vivienda sub urbana.



F CASA DEL AGUA - ESTUDIO - VIVIENDA SUB URBANA 30-31/03/2011					
Amplitud térmica °C			Diferencia HR %		
TEMPERATURA	Interior	Exterior	HUMEDAD RELATIVA	Interior	Exterior
	6,9 °C	11,6		34,6 %	48,0
	Promedio Int	Promedio Ext		Promedio Int	Promedio Ext
	23,91 °C	23,6		80,5 %	83,8
	Alta	Baja		Alta	Baja
	30,7 temp externa	19,1		100,0 HR externa	52,0
	28,0 temp interna	21,1		95,5 HR interna	60,9
	29,3 temp confort	23,1		00:00 - 7:00 Horas críticas Exterior	16:00
	15:00 Horas críticas Exterior	07:00		07:00 Horas críticas Interior	06:00
	15:00 Horas críticas Interior	06:00			

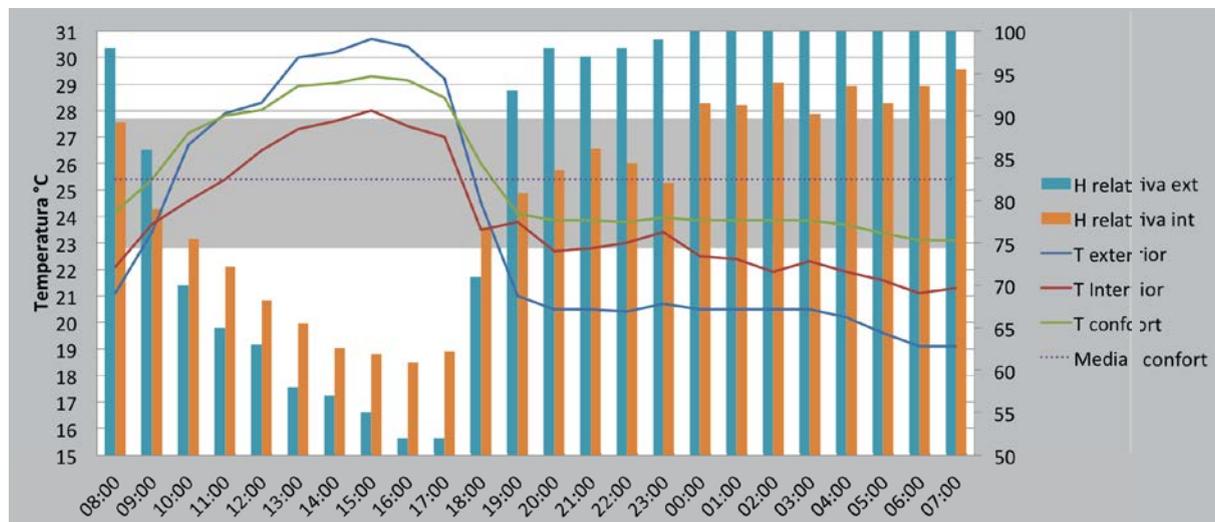


Figura A3.6 Diario de valores para temperatura y humedad relativa del estudio “Casa del Agua”

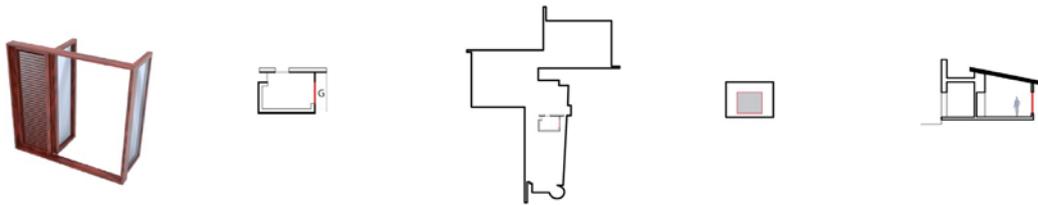
Te, Ti: En la figura A3.6, se observa que la temperatura interior tiende a estabilizarse con la exterior, debido a la permeabilidad del vano, que está hecho de calados en concreto. La temperatura de confort estuvo siempre por encima de la temperatura interior.

HR: La HR registrada en la zona de confort estuvo entre 83 y 61%. **E:** Cuando la temperatura exterior sube, la interior también debido a la orientación de los vano en sentido este y oeste, aunque tienen

una protección de sombra generada por segundo nivel en ambos sentidos.

I: Los niveles de iluminancia estuvieron en 34 Lux, la norma UNE EN 12464-1 de 2003, sugiere 500Lux para estudios y espacios de estar.

Caso G - Alcoba “La Rebeca” – Vivienda sub urbana.



G LA REBECA - ALCOBA - VIVIENDA SUB URBANA 22-23/03/2011					
Amplitud térmica °C			Diferencia I-R %		
TEMPERATURA	Interior	Exterior	Interior	Exterior	
	4,1 °C	9,1	20,1 %	41,0	
	Promedio Int	Promedio Ext	Promedio Int	Promedio Ext	
	24,38 °C	22,1	79,64 %	83,9	
	Alta	Baja	Alta	Baja	
	27,8 temp externa	18,7	100,0 HR externa	59,0	
	26,4 temp interna	22,3	89,8 HR interna	69,7	
	27,7 temp confort	22,9	5:00 - 8:00 Horas críticas Exterior	15:00	
	15:00 Horas críticas Exterior	07:00	08:00 Horas críticas Interior	15:00	
	16:00 Horas críticas Interior	08:00			
			HUMEDAD RELATIVA		

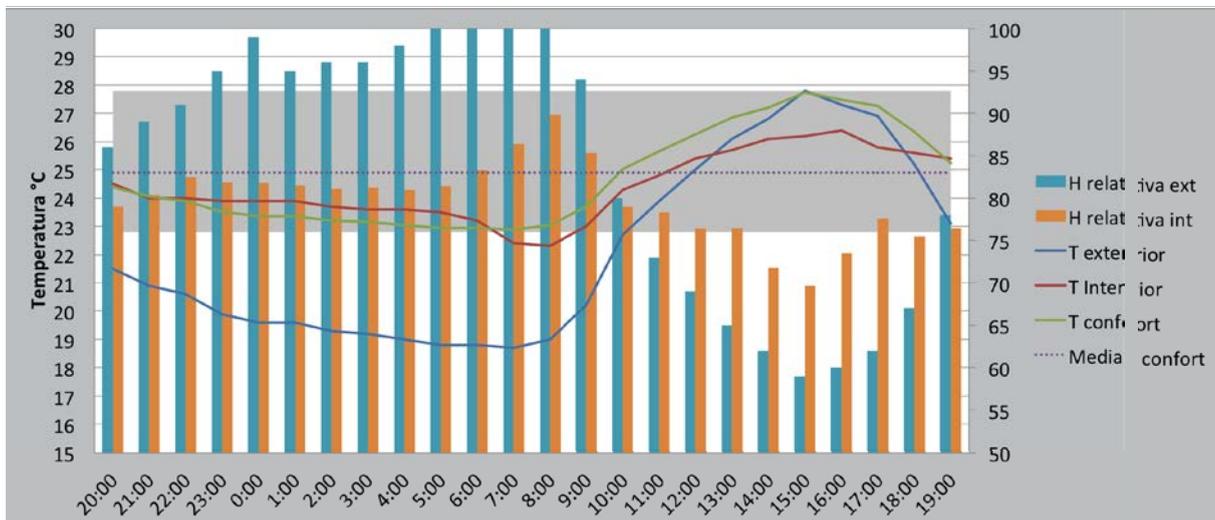


Figura A3.7 Diario de valores para temperatura y humedad relativa alcoba “La Rebeca”

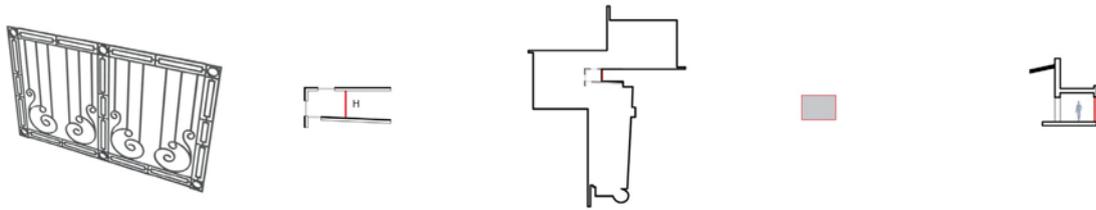
Ti, Te: La temperatura interior se mantuvo durante la mayor parte de las 24 horas en la zona de confort, aunque la temperatura exterior bajó en la madrugada. La temperatura de confort e interior son similares durante todo el día. No se registraron ganancias considerables cuando la temperatura subió en horas de la tarde, manteniéndose la temperatura interior por debajo de la exterior y la de confort. La temperatura exterior no sobrepasó la franja de confort, pero sí estuvo por debajo cerca de 15 horas (figura A3.7).

HR: La humedad relativa interior tuvo pocas variaciones durante las 24 horas.

E: Este vano está orientado hacia el este, lo cual impide ganancias considerables en horas de la tarde. No se registraron movimientos de aire considerables al interior del espacio. La tipología de la ventana permite regular la cantidad de luz que entra en las horas de la mañana ya que la nave de celosía es operable.

I: Los niveles de iluminancia estuvieron en 335 Lux, por encima de la norma UNE EN 12464-1 de 2003 (150 Lux para habitaciones).

Caso H - Pasillo "La Rebeca" – Vivienda sub urbana.



H LA REBECA - HALL - VIVIENDA SUB URBANA 28/04/2011					
Amplitud térmica °C			Diferencia H-R %		
TEMPERATURA	Interior	Exterior	Interior	Exterior	
	6,5 °C	8,8	26,1 %	35,0	
	Promedio Iní	Promedio Exí	Promedio Iní	Promedio Exí	
	22,53 °C	21,1	91,18 %	89,4	
	Alta	Baja	Alta	Baja	
	26,5 temp externa	17,7	100,0 HR externa	65,0	
	26,4 temp interna	19,9	100 HR interna	73,9	
	27,1 temp confort	22,4	00:00 - 8:00 Horas críticas Exterior	16:00 - 17:00	
	16:00 Horas críticas Exterior	03:00	3:00 - 5:00 Horas críticas Interior	16:00	
	14:00 Horas críticas Interior	00:00			
			LUMEDAD RELATIVA		

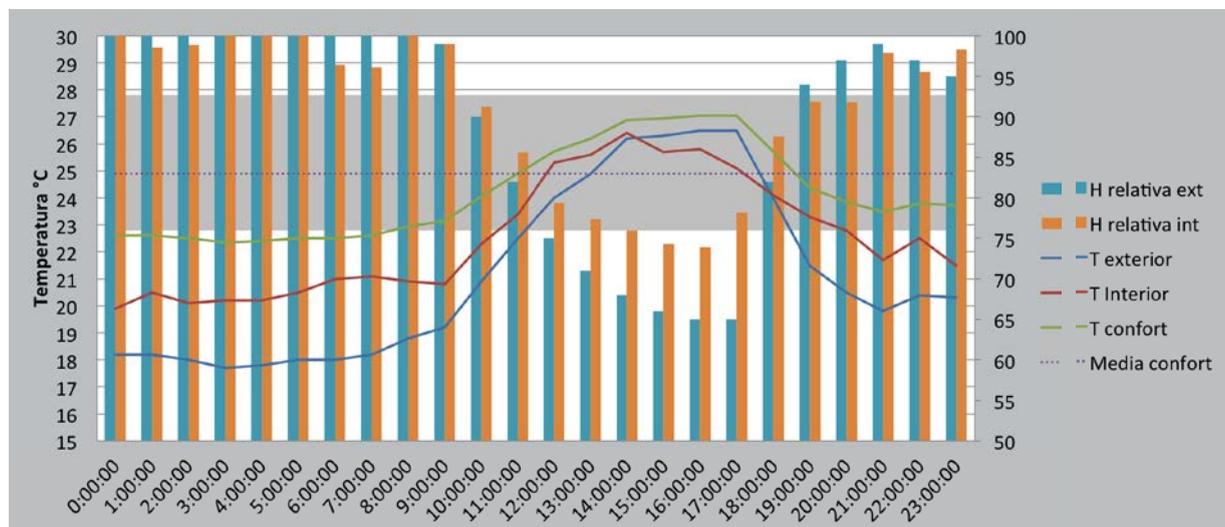


Figura A3.8 Diario de valores para temperatura y humedad relativa del pasillo "La Rebeca"

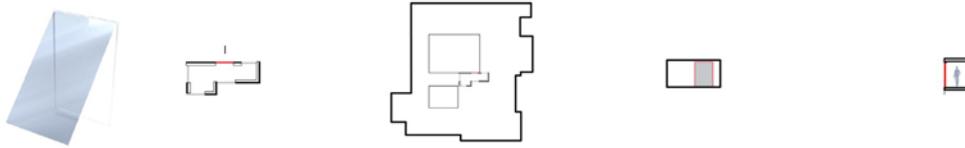
Ti, Te: Las lecturas de temperaturas tanto en interior como en exterior tienen una trayectoria similar durante las 24 horas con poca variación entre los registros interiores y exteriores, la temperatura de confort estuvo siempre por encima de las demás temperaturas y estuvo por debajo de la franja de confort durante 8 horas en la madrugada, cuando la temperatura exterior bajó hasta los 17 °C (figura A3.8).

HR: Se registraron altos niveles de humedad alcanzando el 91% en el interior como promedio. El promedio de HR interior es más alto que el exterior.

E: Esta ventana no tiene opción de regular su grado de apertura, al no tener aleros en períodos de lluvia esta entra y baña el espacio completamente. En la parte exterior hay frondosa vegetación que impide la radiación en horas de la mañana y por consiguiente ganancias considerables a esas horas.

I: Los niveles de iluminancia estuvieron en 289 Lux, cuando los niveles mínimos para zonas de circulación están en los 100Lux. No se registraron movimientos de aire considerables al interior del espacio.

Caso I - Pasillo “Los Cuchos” – Vivienda sub urbana.



I LOS CUCHOS - HALL - VIVIENDA SUB URBANA 7-8/04/2011			
Amplitud térmica °C		Diferencia HR %	
TEMPERATURA	Alta	Baja	
	26,5	temp externa	18,7
	26,4	temp interna	21,3
	27,7	temp confort	22,9
	17:00	Horas críticas Exterior	05:00
	16:00	Horas críticas Interior	05:00
HUMEDAD RELATIVA	Interior	Exterior	
	24,8	%	37,0
	Promedio Int	Promedio Ext	
	83,63	%	86,1
	Alta	Baja	
	100,0	HR externa	63,0
95,1	HR interna	70,3	
04:00 -7:00	Horas críticas Exterior	17:00	
05:00	Horas críticas Interior	16:00	

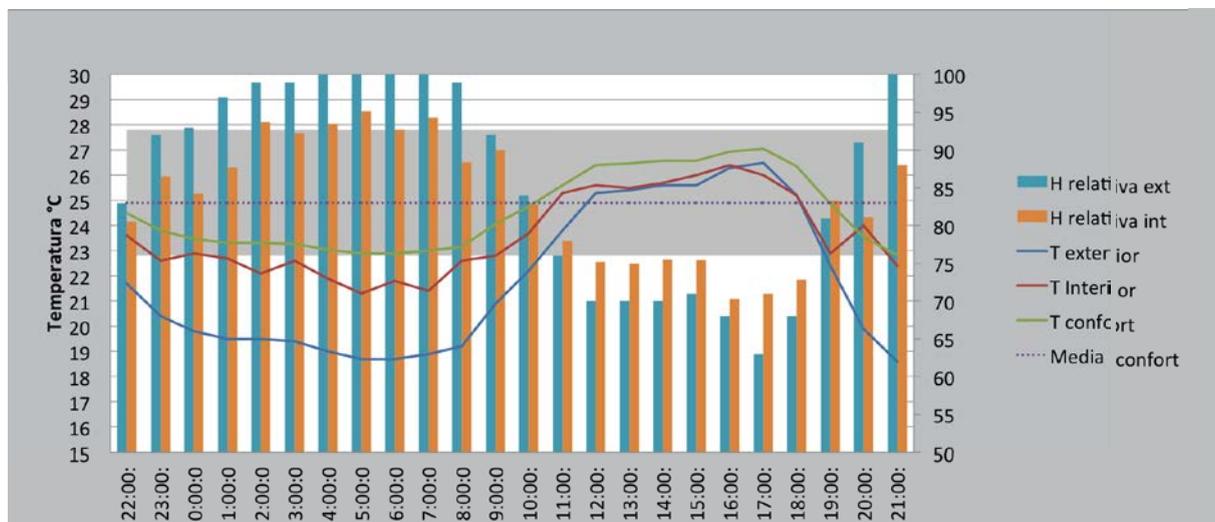


Figura A3.9 Diario de valores para temperatura y humedad relativa del pasillo “Los Cuchos”

Ti, Te: Los registros de temperatura de la figura A3.9, no presentan grandes variaciones durante las 24 horas, la temperatura de confort estuvo siempre por encima de la exterior y la interior con variaciones mínimas, la temperatura exterior estuvo cerca de 13 horas por debajo de la zona de confort en horas de la madrugada y la temperatura interior 8 horas.

HR: La diferencia de HR en el interior no supera los 25 puntos porcentuales.

E: Esta ventana es de tipo proyectante que abre en su parte inferior y toma el aire que ha sido refrescado por un espejo de agua junto a la ventana. Este vano está orientado al norte y no tiene ningún tipo de protección adosada a la fachada.

I: Los registros de iluminancia estuvieron en promedio en 483 Lux, estando por encima de las recomendaciones de la norma UNE EN 12464-1.

Caso J - Salón “Los Cuchos” – Vivienda sub urbana.



J LOS CUCHOS - SALA - VIVIENDA SUB URBANA 6-7/04/2011					
Amplitud térmica °C			Diferencia HR %		
TEMPERATURA	Interior	Exterior	Interior	Exterior	
	3,2	°C	8,5	21,7	%
	Promedio Iní	Promedio Exi	Promedio Iní	Promedio Exi	
	24,42	°C	21,7	79,0	%
	Alta	Baja	Alta	Baja	
	27,4	temp externa	18,9	100,0	HR externa
	26,2	temp interna	23,0	87,9	HR interna
	27,5	temp confort	23,0	01:00 -08:00	Horas críticas Exterior
	16:00	Horas críticas Exterior	07:00	08:00	Horas críticas Interior
	15:00	Horas críticas Interior	07:00		
			LUMINANCIA		

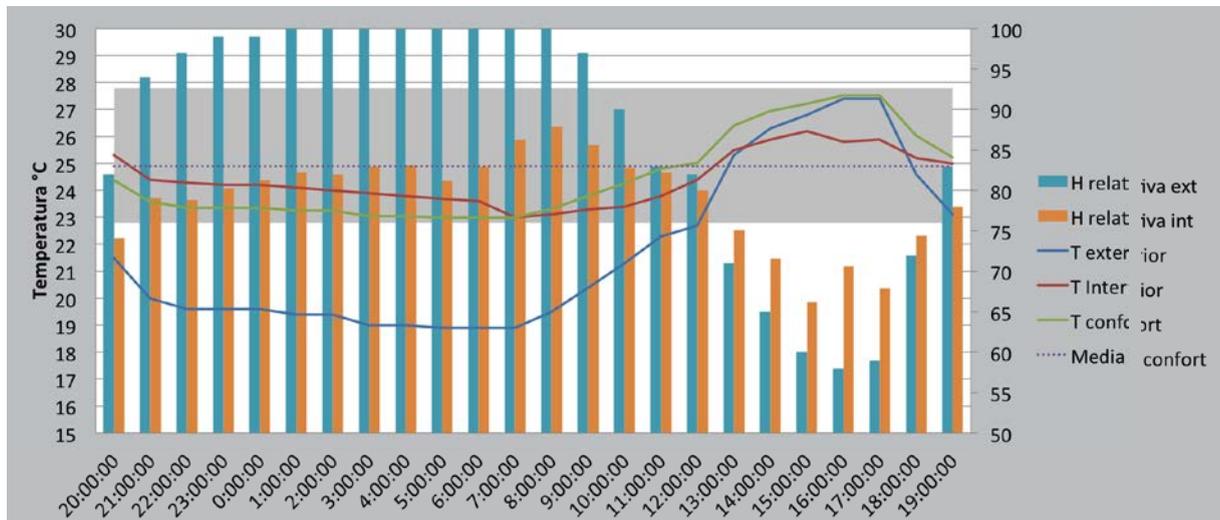


Figura A3.10 Diario de valores para temperatura y humedad relativa del salón “Los Cuchos”

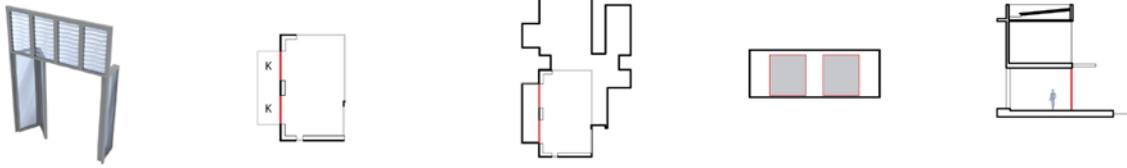
Ti, Te: La temperatura exterior estuvo 17 horas por fuera de la zona de confort, las temperaturas de confort e interior fueron similares durante las 24 horas y estuvieron dentro de la franja de confort. En horas de mayor calor no se registran ganancias significativas en la temperatura interior (figura A3.10).

HR: Se registro humedad del 100% en horas de la madrugada y temperaturas muy bajas a las mismas horas, pero la temperatura interior se mantuvo en la zona de confort.

E: No se registraron movimientos de aire considerables en el interior del espacio. El vano está protegido de la radiación directa por una cubierta de 4.10 metros.

I: Los registros de iluminancia estuvieron en promedio en 1078 Lux, estando por encima de las recomendaciones de la norma UNE EN 12464-1.

Caso K - Salón "Hormiguero" – Vivienda sub urbana.



K EL HORMIGUERO - SALA - VIVIENDA SUB URBANA 22-23/04/2011					
Amplitud térmica °C			Diferencia HR %		
TEMPERATURA	Interior	Exterior	Interior	Exterior	
	6,5 °C	9,3	31,4 %	42,0	
	Promedio Int	Promedio Ext	Promedio Int	Promedio Ext	
	23,22 °C	21,9	85,37 %	86,6	
	Alta	Baja	Alta	Baja	
	27,8 temp externa	18,5	100,0 HR externa	58,0	
	27,2 temp interna	20,7	97,5 HR interna	66,1	
	27,7 temp confort	22,8	02:00 -07:00 Horas críticas Exterior	17:00	
	17:00 Horas críticas Exterior	03:00	04:00 Horas críticas Interior	16:00	
	16:00 Horas críticas Interior	04:00			
HUMEDAD RELATIVA					

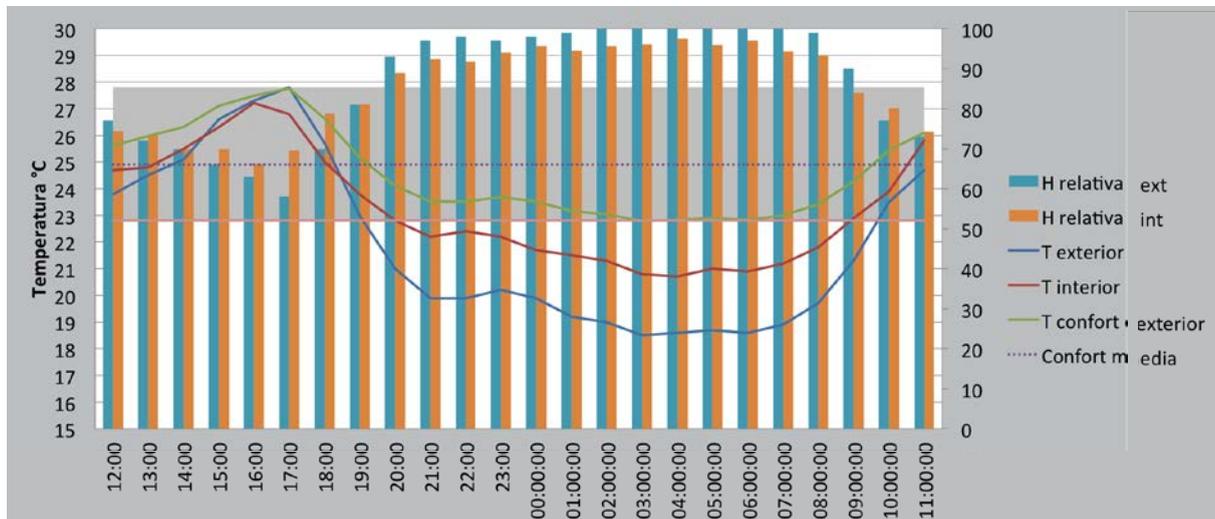


Figura A3.11 Diario de valores para temperatura y humedad relativa del salón "El hormiguero"

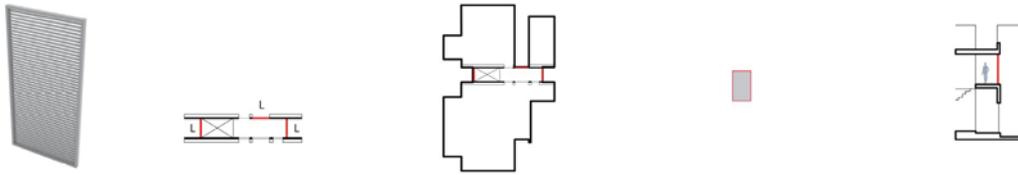
Ti, Te: Las tres temperaturas tuvieron registros similares en la tarde. En la noche la temperatura también baja con la exterior pero con una diferencia de más de dos grados (figura A3.11).

HR: La humedad relativa se comporta de manera muy similar en los registros interiores y exteriores, lo cual indica que hay altos niveles de humedad en el interior durante muchas horas al día.

E: Este vano está orientado hacia el oeste con una gran área de vidrio por lo cual la temperatura del espacio sube rápidamente con las altas temperaturas en las horas de la tarde.

I: Los niveles de iluminancia estuvieron en 698 Lux, cuando los niveles mínimos para zonas de estar están en los 300 Lux. No se registraron movimientos de aire considerables al interior del espacio.

Caso L - Pasillo "Hormiguero" – Vivienda sub urbana.



L EL HORMIGUERO - HALL - VIVIENDA SUB URBANA 23-24/04/2011		
TEMPERATURA	Amplitud térmica °C	
	Alta	Baja
	28,7	temp externa 17,8
	28,8	temp interna 19,7
	28,2	temp confort 22,4
	15:00	Horas críticas Exterior 04:00
15:00	Horas críticas Interior 04:00	
HUMEDAD RELATIVA	Diferencia I-R %	
	Interior	Exterior
	39,4	44,0
	Promedio Int	Promedio Ext
	82,68	85,3
	Alta	Baja
100,0	HR externa 56,0	
99,2	HR interna 59,8	
22:00 -07:00	Horas críticas Exterior 15:00	
04:00	Horas críticas Interior 15:00	

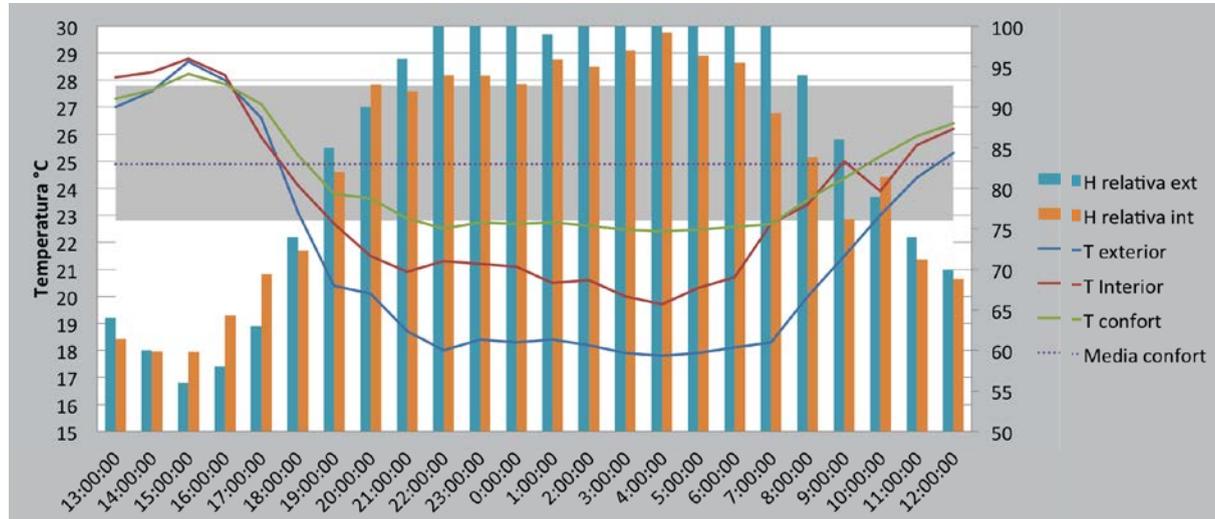


Figura A3.12 Diario de valores para temperatura y humedad relativa del pasillo "El Hormiguero"

Ti; Te: En horas de temperaturas altas las tres temperaturas tienen igual registro, mientras que cuando baja la temperatura en la madrugada las demás descienden pero con una diferencia de dos grados en promedio entre ellas, la temperatura interior sigue el mismo patrón de la exterior y tanto en el día como en la noche salen de la zona de confort (figura A3.12).

HR: La humedad relativa tiene registros bastante diferentes en altas y bajas temperaturas, pero cuando son bajas tienen registros en el interior de hasta 99.2%.

E: Este espacio tiene vanos orientados hacia el norte, el oeste y el este, sus ventanas son permeables en su totalidad motivo por el cual tanto la temperatura del interior como la humedad relativa tienen lecturas similares a las exteriores.

V: Se registraron movimientos de aire a las 11:00 y 20:00 horas, con 0,7 m/s y 0,5 m/s respectivamente.

I: Los niveles de iluminancia estuvieron en 730 Lux, la norma UNE EN 12464-1 de 2003, sugiere 100 Lux para pasillos.

Caso M - Salón “Casa Cárpena Escobar” – Vivienda sub urbana.



M CÁRPENA-ESCOBAR - SALA - VIVIENDA SUB URBANA 04-05/04/2011									
TEMPERATURA	Amplitud térmica °C				HUMEDAD RELATIVA	Diferencia H-R			
	Interior		Exterior			Interior	Exterior		
	2,7	°C	5,1			23,8	%	32,0	
	Promedio Inè		Promedio Exè			Promedio Inè		Promedio Exè	
	23,43	°C	20,4			85,34	%	92,1	
	Alta		Baja			Alta		Baja	
	23,7	temp externa	18,6			100,0	HR externa	68,0	
	24,7	temp interna	22,0			95,5	HR interna	71,7	
	25,6	temp confort	22,8			22:00 -07:00 Horas críticas Exterior		17:00	
	17:00	Horas críticas Exterior		07:00		08:00 Horas críticas Interior		16:00	
15:00	Horas críticas Interior		08:00						

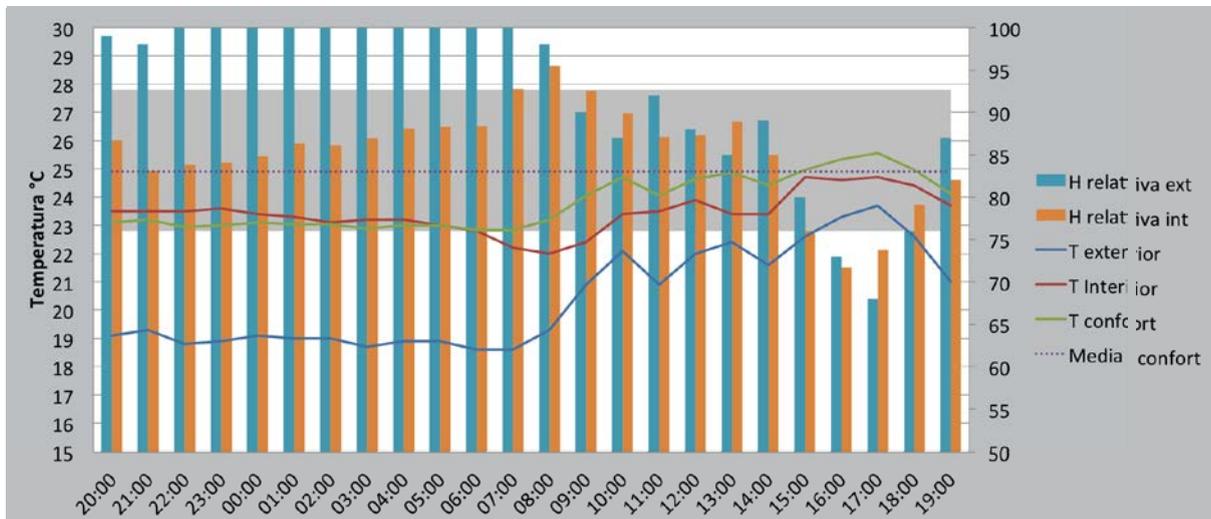


Figura A3.13 Diario de valores para temperatura y humedad relativa del Salón casa “Cárpena-Escobar”

Ti, Te: Se puede observar en la figura A3.13, que la temperatura interior no tuvo grandes variaciones durante las 24 horas y se mantuvo en un promedio de 23,4 °C, su diferencia de temperatura durante todo el día y noche no supera los tres grados y es similar a la temperatura de confort. Los registros exteriores durante todo el periodo de medición fueron bajos estando solo tres horas dentro de la zona de confort. La humedad relativa no tuvo variaciones considerables al igual que la temperatura y se registran altos

niveles de humedad dentro del espacio.

HR: Se registraron altos niveles de HR en el interior con un promedio de 85,34% durante las 24 horas.

E: Este vano está orientado al oeste, como característica particular tiene una frondosa vegetación que lo cubre en toda su área, además de un alero de 2.15 metros y un espejo de agua en su parte inferior. Además tiene una densa cortina que es operada en la tarde y la noche.

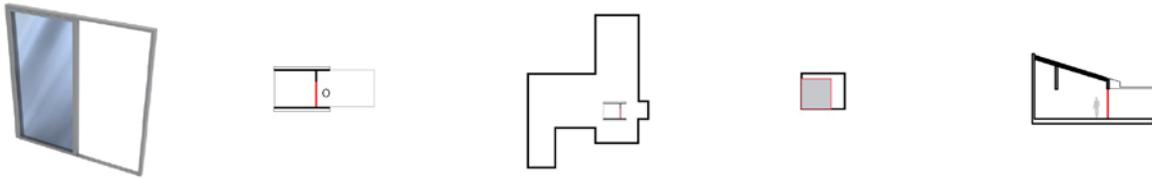
I: Los registros de iluminancia estuvieron en promedio en 765 Lux, estando por encima de las recomendaciones de la norma UNE EN 12464-1.

HR: Se registro humedad relativa promedio de 75% en el interior. **E:** Este espacio tiene aire acondicionado pero durante los registros no se operó. Este vano está orientado al este con un alero de 2,38 metros que protege de la radiación directa en la mañana, la ventana tiene una gran área de vidrio. Orientado al este.

I: Los registros de iluminancia estuvieron en promedio en 931 Lux, estando por encima de las recomendaciones de la norma UNE EN 12464-1.

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Caso O - Estar “Club del Campo” – Vivienda sub urbana, proyecto comercial.



O CLUB DEL CAMPO - ESTAR - PROYECTO COMERCIAL 26-27/03/2011			
TEMPERATURA	Amplitud térmica °C		
	Interior	Exterior	
	4,4 °C	12,5	
	Promedio Iní	Promedio Exi	
	26,57 °C	22,5	
	Alta	Baja	
	29,1 temp externa	16,6	
	29,0 temp interna	24,6	
	28,4 temp confort	21,8	
	15:00 Horas críticas Exterior	06:00	
13:00 Horas críticas Interior	06:00		
HUMEDAD RELATIVA	Diferencia HR %		
	Interior	Exterior	
	12,3 %	44,0	
	Promedio Iní	Promedio Exi	
	69,75 %	82,8	
	Alta	Baja	
	100,0 HR externa	56,0	
	74,0 HR interna	61,7	
	01:00 -07:00 Horas críticas Exterior	15:00	
	09:00 Horas críticas Interior	15:00	

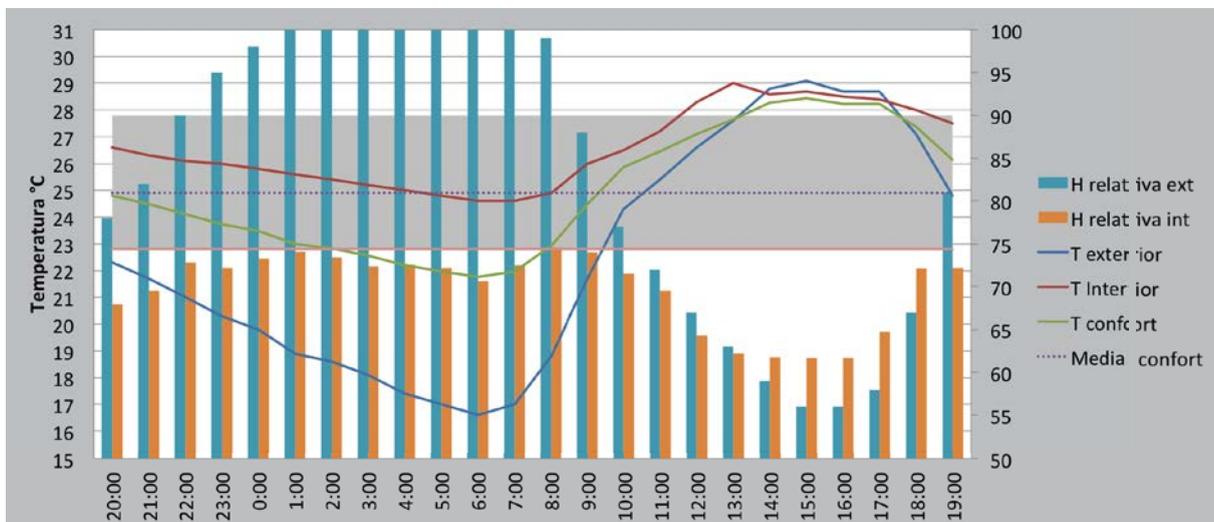


Figura A3.15 Diario de valores para temperatura y humedad relativa del estar “Club del Campo”

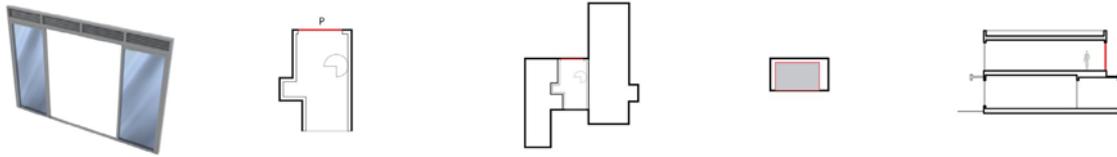
Ti, Te: En la madrugada la temperatura no baja, a pesar del descenso notorio en la temperatura exterior que alcanza los 16,6 °C. Las tres temperaturas (figura A3.15) tienen iguales registros en las horas más calurosas saliendo de la zona de confort. La temperatura interior estuvo por encima de la de confort, todo el tiempo.

HR: Se registraron bajos niveles de humedad relativa en el interior (promedio 69,5%), mientras que en el exterior eran del 100%.

E: El espacio no logra tener pérdidas en horas de la noche debido a la hermeticidad del mismo, ya que sus vanos no tienen aperturas que permitan intercambio de aire, sin ser operadas. Este espacio tiene aire acondicionado. Este vano está protegido por la sombra generada por una pérgola de 3.00 metros en la parte exterior, está orientado al este.

I: Con respecto a la iluminancia estuvo en promedio en 860 Lux, estando por encima de las recomendaciones de la norma UNE EN 12464-1 de 2003, que para espacios estar debe estar en promedio en 300 Lux. No se registraron movimientos de aire dentro del espacio.

Caso P - Estudio "Club del campo" – Vivienda sub urbana, proyecto comercial.



P CLUB DEL CAMPO - ESTUDIO - PROYECTO COMERCIAL 25-26/03/2011						
TEMPERATURA	Amplitud térmica °C			Diferencia F-R %		
	Interior	Exterior		Interior	Exterior	
	10,1	°C		29,8	%	
	Promedio Int	Promedio Ext		Promedio Int	Promedio Ext	
	26,41	°C		69,25	%	
	Alta	Baja		Alta	Baja	
	28,1	temp externa	16,6	100,0	HR externa	61,0
	32,8	temp interna	22,7	79,9	HR interna	50,1
	27,9	temp confort	21,8	21:00 -08:00 Horas críticas Exterior 15:00		
	17:00	Horas críticas Exterior 05:00		07:00 Horas críticas Interior 15:00		
15:00	Horas críticas Interior 05:00					

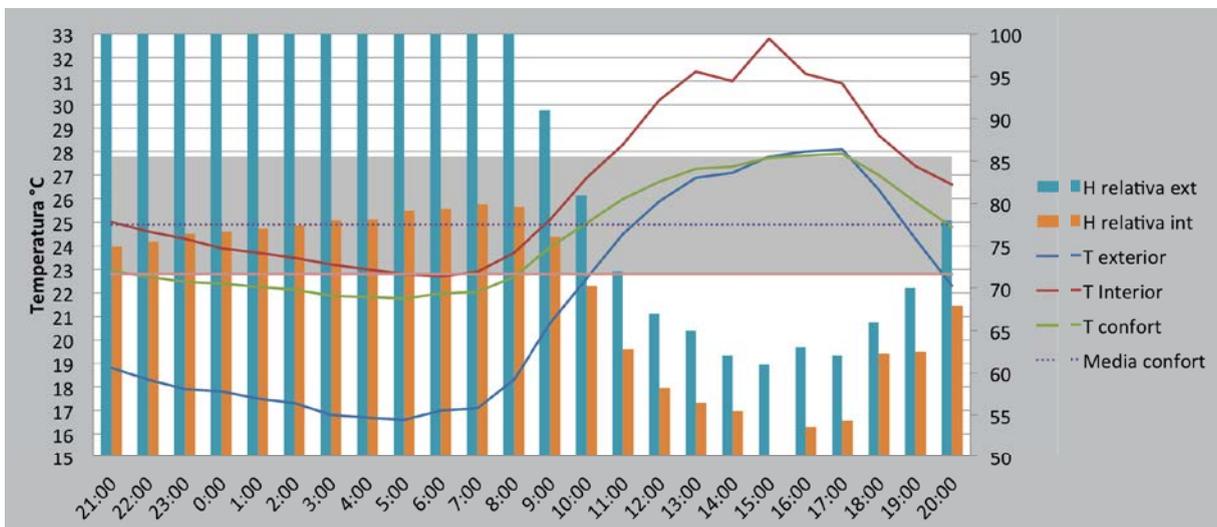


Figura A3.16 Diario de valores para temperatura y humedad relativa del estudio "Club del Campo"

Ti, Te: Los registros de la figura A3.16 muestran que la temperatura interior sale de la zona de confort desde las 11:00 hasta las 19:00 horas, alcanzando una temperatura máxima de 32,8 °C mientras en el exterior se registraron 28,1°C, la temperatura interna estuvo 4,7 °C por encima de la temperatura exterior y de confort en la hora crítica, cuando la temperatura exterior bajó en la madrugada hasta los 16,6 °C, el interior registró 6,2 °C por encima. La temperatura

interior estuvo en promedio 5 °C por encima de diferencia durante las 24 horas con respecto a la temperatura exterior.

HR: Se registraron bajos niveles de humedad relativa en el interior (79%, máxima), mientras que en el exterior eran del 100%.

Anexo 4

Cuestionario de post-ocupación

CUESTIONARIO DE POST-OCUPACION

Institución: UNIVERSIDAD ICESI (Cali) – UNIVERSIDAD DEL BÍO BÍO (Concepción)

Vivienda:

Fecha:

Hora:

Introducción

Estamos llevando a cabo una encuesta para evaluar las características de la vivienda y su relación con los ocupantes. Esta información será usada para obtener una retroalimentación de los usuarios con respecto al confort. Las respuestas son anónimas, por favor responda todas las preguntas.

Parte 1

1. Genero

Masculino:

Femenino

(Marque uno)

Genero

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 1	9	50,0	50,0	50,0
2	9	50,0	50,0	100,0
Total	18	100,0	100,0	

2. Tiempo en la casa

a. Cuanto tiempo en horas permanece en la casa en el día – desde las 6 am a las 6 pm?

(Marque uno)

Horas >1 1-2 3-4 5-6 7-8 >8

Tiempo en casa

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 1	2	11,1	11,1	11,1
2	4	22,2	22,2	33,3
3	5	27,8	27,8	61,1
4	6	33,3	33,3	94,4
5	1	5,6	5,6	100,0
Total	18	100,0	100,0	

3. Horas de actividad

a. Cuanto tiempo permanece realizando alguna actividad en la casa durante el día en promedio?

(Marque uno)

Horas >1 1-2 3-4 5-6 7-8 >8

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Hr. Actividad

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1	5	27,8	29,4	29,4
	2	3	16,7	17,6	47,1
	3	5	27,8	29,4	76,5
	4	4	22,2	23,5	100,0
	Total	17	94,4	100,0	
Perdidos	Sistema	1	5,6		
Total		18	100,0		

4. Horas de inactividad

a. Cuanto tiempo permanece descansando en la casa durante el día en promedio?

(Marque uno)

Horas >1 52.9% 1-2 47.1% 3-4 5-6 7-8 >8

Hr. Inactividad

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1	9	50,0	52,9	52,9
	2	8	44,4	47,1	100,0
	Total	17	94,4	100,0	
Perdidos	Sistema	1	5,6		
Total		18	100,0		

Parte 2: Ubicación en el edificio

1. Ubicación

Durante la semana, cuánto tiempo permanece usted en promedio en los siguientes espacios?

a: Zonas sociales como estaderos, porches, salones, corredores, salas de televisión o juegos (Marque uno)

Horas

0-5 33.3% 6-10 22.2% 11-15 16.7% 16-20 5.6% 21-25 5.6% 26-30 11.1% 31-35 5.6% >35 38.9%

Social1

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1	6	33,3	33,3	33,3
	2	4	22,2	22,2	55,6
	3	3	16,7	16,7	72,2
	4	1	5,6	5,6	77,8
	5	1	5,6	5,6	83,3
	6	2	11,1	11,1	94,4
	7	1	5,6	5,6	100,0
	Total	18	100,0	100,0	

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

b: Alcobas (*Marque uno*)

Horas	0-5	11.1%	6-10	22.2%	11-15	11.1%	16-20		21-25		26-30		31-35	5.6%	>35	38.9%
-------	-----	-------	------	-------	-------	-------	-------	--	-------	--	-------	--	-------	------	-----	-------

Alcoba1

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1	11,1	11,1	11,1
	2	22,2	22,2	33,3
	3	11,1	11,1	44,4
	5	11,1	11,1	55,6
	7	5,6	5,6	61,1
	8	38,9	38,9	100,0
Total	18	100,0	100,0	

c: Cocina y baños (*Marque uno*)

Horas	0-5	55.6%	6-10	16.7%	11-15	16.7%	16-20		21-25	11.1%	26-30		31-35		>35	
-------	-----	-------	------	-------	-------	-------	-------	--	-------	-------	-------	--	-------	--	-----	--

Cocina y wc1

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1	55,6	55,6	55,6
	2	16,7	16,7	72,2
	3	16,7	16,7	88,9
	5	11,1	11,1	100,0
Total	18	100,0	100,0	

d: Estudio (*Marque uno*)

Horas	0-5	41.2%	6-10	17.6%	11-15	5.9%	16-20	5.9%	21-25	5.9%	26-30	17.6%	31-35		>35	5.6%
-------	-----	-------	------	-------	-------	------	-------	------	-------	------	-------	-------	-------	--	-----	------

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

estudio1

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1	7	38,9	41,2	41,2
	2	3	16,7	17,6	58,8
	3	1	5,6	5,9	64,7
	4	1	5,6	5,9	70,6
	5	1	5,6	5,9	76,5
	6	3	16,7	17,6	94,1
	8	1	5,6	5,9	100,0
	Total	17	94,4	100,0	
Perdidos	Sistema	1	5,6		
	Total	18	100,0		

e: Comedor (Marque uno)

Horas 0- 5 6- 10 11- 15 16- 20 21- 25 26- 30 31- 35 >35

comedor1

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	1	10	55,6	55,6	55,6
	2	4	22,2	22,2	77,8
	3	3	16,7	16,7	94,4
	5	1	5,6	5,6	100,0
	Total	18	100,0	100,0	

2. Por favor evalúe la calidad de los espacios:

(Marque uno)

a: Zonas sociales Pobre 1 2 3 4 5 6 7 Excelente

Social2

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	2	11,1	11,1	11,1
	1	1	5,6	5,6	16,7
	2	7	38,9	38,9	55,6
	3	8	44,4	44,4	100,0
	Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 2.17

b: Alcobas Pobre 1 2 3 4 5 6 7 Excelente

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Alcoba2

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 0	1	5,6	5,6	5,6
1	1	5,6	5,6	11,1
2	7	38,9	38,9	50,0
3	9	50,0	50,0	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 2.33

c: Cocina y baños Pobre 1 2 3 4 5 6 7 Excelente

Cocina y wc2

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 0	1	5,6	5,6	5,6
1	6	33,3	33,3	38,9
2	6	33,3	33,3	72,2
3	5	27,8	27,8	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 1.83

d: Estudio Pobre 1 2 3 4 5 6 7 Excelente

Estudio2

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 0	2	11,1	12,5	12,5
1	3	16,7	18,8	31,3
2	4	22,2	25,0	56,3
3	7	38,9	43,8	100,0
Total	16	88,9	100,0	
Perdidos Sistema	2	11,1		
Total	18	100,0		

Promedio = 2.00

e: Comedor Pobre 1 2 3 4 5 6 7 Excelente

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Comedor2

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 0	3	16,7	16,7	16,7
1	3	16,7	16,7	33,3
2	5	27,8	27,8	61,1
3	7	38,9	38,9	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 1.89

3. Seguridad

a. Seguridad personal: que tan seguro se siente en la vivienda?

(Marque uno)

Inseguro 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Seguro
 11.1% 27.8% 22.2% 38.9%

Seg personal

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -1	2	11,1	11,1	11,1
1	5	27,8	27,8	38,9
2	4	22,2	22,2	61,1
3	7	38,9	38,9	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 1.78

b. Que aspectos del ambiente contribuyen a hacerlo sentir seguro?

i). Visibilidad hacia el exterior

(Marque uno)

No es significativo 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Muy significativo
 11.1% 16.7% 11.1% 16.7% 16.7% 27.8%

Visibilidad

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -3	2	11,1	11,1	11,1
-2	3	16,7	16,7	27,8
0	2	11,1	11,1	38,9
1	3	16,7	16,7	55,6
2	3	16,7	16,7	72,2
3	5	27,8	27,8	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 0.67

ii). Seguridad en las ventanas y aperturas de la vivienda.

No es significativo 1 11.1% | 2 5.6% | 3 5.6% | 4 16.7% | 5 16.7% | 6 11.1% | 7 33.3% | Muy significativo

Segventana

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -3	2	11,1	11,1	11,1
-2	1	5,6	5,6	16,7
-1	1	5,6	5,6	22,2
0	3	16,7	16,7	38,9
1	3	16,7	16,7	55,6
2	2	11,1	11,1	66,7
3	6	33,3	33,3	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 0.89

iii). Iluminación

No es significativo 1 16.7% | 2 16.7% | 3 16.7% | 4 22.2% | 5 22.2% | 6 27.8% | 7 27.8% | Muy significativo

Iluminación

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -3	3	16,7	16,7	16,7
0	3	16,7	16,7	33,3
1	3	16,7	16,7	50,0
2	4	22,2	22,2	72,2
3	5	27,8	27,8	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 0.94

iv) Configuración espacial (Referente a espacios abiertos y su seguridad)

No es significativo 1 11.1% | 2 5.6% | 3 11.1% | 4 11.1% | 5 38.9% | 6 22.2% | 7 22.2% | Significativo

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Configuración

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -3	2	11,1	11,1	11,1
-1	1	5,6	5,6	16,7
0	2	11,1	11,1	27,8
1	2	11,1	11,1	38,9
2	7	38,9	38,9	77,8
3	4	22,2	22,2	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 1.17

4. Calidad del aire

a). Tiene la calidad del aire en la vivienda un efecto negativo en usted o en el desempeño de las actividades que acostumbra a realizar?.

(Marque uno)

Poco 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mucho
 33.3% 5.6% 11.1% 11.1% 11.1% 27.8%

Efecto negativoc/a

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -3	6	33,3	33,3	33,3
-2	1	5,6	5,6	38,9
0	2	11,1	11,1	50,0
1	2	11,1	11,1	61,1
2	2	11,1	11,1	72,2
3	5	27,8	27,8	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 0.06

b). El aire es fresco o viciado?

(Marque uno)

Viciado 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mucho
 5.6% 5.6% 5.6% 11.1% 5.6% 66.7%

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

frescura

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -2	1	5,6	5,6	5,6
-1	1	5,6	5,6	11,1
0	1	5,6	5,6	16,7
1	2	11,1	11,1	27,8
2	1	5,6	5,6	33,3
3	12	66,7	66,7	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 2.06

c) El aire es seco o húmedo?

(Marque uno)

Muy húmedo 1 | 2 | 3 || 4 | 5 | 6 | 7 | Muy seco
 11.1% 16.7% 50% 22.2%

humedad

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -2	2	11,1	11,1	11,1
-1	3	16,7	16,7	27,8
0	9	50,0	50,0	77,8
1	4	22,2	22,2	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = -0.17

d) El aire tiene algún olor particular?

(Marque uno)

Con olor 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Sin olor
 5.6% 11.1% 11.1% 11.1% 16.7% 11.1% 33.3%

Olor

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -3	1	5,6	5,6	5,6
-2	2	11,1	11,1	16,7
-1	2	11,1	11,1	27,8
0	2	11,1	11,1	38,9
1	3	16,7	16,7	55,6
2	2	11,1	11,1	66,7
3	6	33,3	33,3	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 0.89

e) Siente movimientos de aire?

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

(Marque uno)

Quieto 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Buen
5.6% 16.7% 16.7% 22.2% 5.6% 33.3% circul.

Movimientos

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -2	1	5,6	5,6	5,6
-1	3	16,7	16,7	22,2
0	3	16,7	16,7	38,9
1	4	22,2	22,2	61,1
2	1	5,6	5,6	66,7
3	6	33,3	33,3	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 1.06

f) Posee control en la ventilación?

(Marque uno)

Poco 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mucho
44.4% | 16.7% | 5.6% | 5.6% | 5.6% | 22.2%

Control

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -3	3	16,7	16,7	16,7
-2	1	5,6	5,6	22,2
0	3	16,7	16,7	38,9
1	2	11,1	11,1	50,0
2	5	27,8	27,8	77,8
3	4	22,2	22,2	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 0.72

5. Temperatura

a). Tiene la temperatura interior en la vivienda algún efecto negativo en sus actividades? (Marque uno)

Poco 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mucho
44.4% | 16.7% | 5.6% | 5.6% | 5.6% | 22.2%

Efecto negativo/t

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	-3	8	44,4	44,4	44,4
	-2	3	16,7	16,7	61,1
	-1	1	5,6	5,6	66,7
	1	1	5,6	5,6	72,2
	2	1	5,6	5,6	77,8
	3	4	22,2	22,2	100,0
	Total	18	100,0	100,0	

Promedio = -0.89

b) La temperatura en la noche dentro de la vivienda es muy caliente o muy fría?
(Marque uno)

Muy fría 1 | 2 | 3 || 4 | 5 | 6 | 7 | Muy caliente
 5.6% 11.1% 38.9% 22.2% 11.1% 11.1%

Temperatura noche

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	-3	1	5,6	5,6	5,6
	-2	2	11,1	11,1	16,7
	-1	7	38,9	38,9	55,6
	0	4	22,2	22,2	77,8
	1	2	11,1	11,1	88,9
	2	2	11,1	11,1	100,0
	Total	18	100,0	100,0	

Promedio = -0.44

c) La temperatura en el día dentro de la vivienda es muy caliente o muy fría?
(Marque uno)

Muy fría 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Muy caliente
 22.2% 27.8% 33.3% 16.7%

temp_día

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	-1	4	22,2	22,2	22,2
	0	5	27,8	27,8	50,0
	1	6	33,3	33,3	83,3
	2	3	16,7	16,7	100,0
	Total	18	100,0	100,0	

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

Promedio = 0.44

d) Cuantos espacios dentro de la vivienda tienen sistemas mecánicos de ventilación?

(Marque uno)

0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
5.9% | 35.3% | 29.4% | 11.8% | 5.9% | 11.8% |

Espacios

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	0	1	5,6	5,9	5,9
	1	6	33,3	35,3	41,2
	3	5	27,8	29,4	70,6
	4	2	11,1	11,8	82,4
	5	1	5,6	5,9	88,2
	6	2	11,1	11,8	100,0
	Total	17	94,4	100,0	
Perdidos	Sistema	1	5,6		
Total		18	100,0		

6. Luz

a). La calidad de la iluminación en la vivienda tiene un efecto negativo en usted o en las actividades que realiza dentro de la misma?

(Marque uno)

Poco 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mucho
22.8% | 11.1% | 5.6% | 16.7% | 5.6% | 16.7% | 16.7%

Efecto negativo/L

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	-3	5	27,8	27,8	27,8
	-2	2	11,1	11,1	38,9
	-1	1	5,6	5,6	44,4
	0	3	16,7	16,7	61,1
	1	1	5,6	5,6	66,7
	2	3	16,7	16,7	83,3
	3	3	16,7	16,7	100,0
	Total	18	100,0	100,0	

Promedio = -0.22

b) Hay mucha o poca luz natural dentro de la vivienda?

(Marque uno)

Muy Poca 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mucha
5.6% | 16.7% | 5.6% | 16.7% | 22.2% | 33.3%

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

luz natural

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	-2	1	5,6	5,6	5,6
	-1	3	16,7	16,7	22,2
	0	1	5,6	5,6	27,8
	1	3	16,7	16,7	44,4
	2	4	22,2	22,2	66,7
	3	6	33,3	33,3	100,0
	Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 1.33

c) Hay deslumbramiento por el sol o luz natural dentro de la vivienda?

(Marque uno)

Muy Poco 1 | 2 | 3 | 4 || 5 | 6 | 7 | Mucho
 38,9% 16,7% 16,7% 16,7% 5,6% 5,6%

Deslumbramiento natural

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	-3	7	38,9	38,9	38,9
	-2	3	16,7	16,7	55,6
	-1	3	16,7	16,7	72,2
	0	3	16,7	16,7	88,9
	1	1	5,6	5,6	94,4
	2	1	5,6	5,6	100,0
	Total	18	100,0	100,0	

Promedio = -1.5

d) Hay mucha o poca luz artificial dentro de la vivienda? (Marque uno)

Muy Poca 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mucha
 16,7% 16,7% 27,8% 5,6% 33,3%

Luz Artificial

		Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos	-2	3	16,7	16,7	16,7
	-1	3	16,7	16,7	33,3
	0	5	27,8	27,8	61,1
	1	1	5,6	5,6	66,7
	2	6	33,3	33,3	100,0
	Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 0.22

e) Hay deslumbramiento por la luz artificial?

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

(Marque uno)

Muy Poco 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mucho
 38.9% 33.3% 11.1% 16.7%

Deslumbramiento luz artificial

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -3	7	38,9	38,9	38,9
-2	6	33,3	33,3	72,2
-1	2	11,1	11,1	83,3
0	3	16,7	16,7	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = -1.94

f) Existen cortinas, persianas o elementos similares para bloquear la luz natural?

(Marque uno)

No son efectivos 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Muy efectivos
 17.6% 17.6% 11.8% 11.8% 35.3% 5.9%

Elementos bloqueadores

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -3	3	16,7	17,6	17,6
-2	3	16,7	17,6	35,3
0	2	11,1	11,8	47,1
1	2	11,1	11,8	58,8
2	6	33,3	35,3	94,1
3	1	5,6	5,9	100,0
Total	17	94,4	100,0	
Perdidos Sistema	1	5,6		
Total	18	100,0		

Promedio = 0.12

g) Tiene control sobre la luz natural?

(Marque uno)

Sin control 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Control total
 5.6% 11.1% 38.9% 33.3% 11.1%

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

(Marque uno)

Muy Poco 1 | 2 | 3 | 4 || 5 || 6 | 7 | Mucho
 5.6% 38.9% 55.6%

efecto restaurador

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos 0	1	5,6	5,6	5,6
2	7	38,9	38,9	44,4
3	10	55,6	55,6	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = 2.44

d) Que tan frecuentemente opera sus ventanas en un día y una noche? (Marque uno)

Muy Poco 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mucho
 22.2% 16.7% 5.6% 5.6% 22.2% 22.2% 5.6%

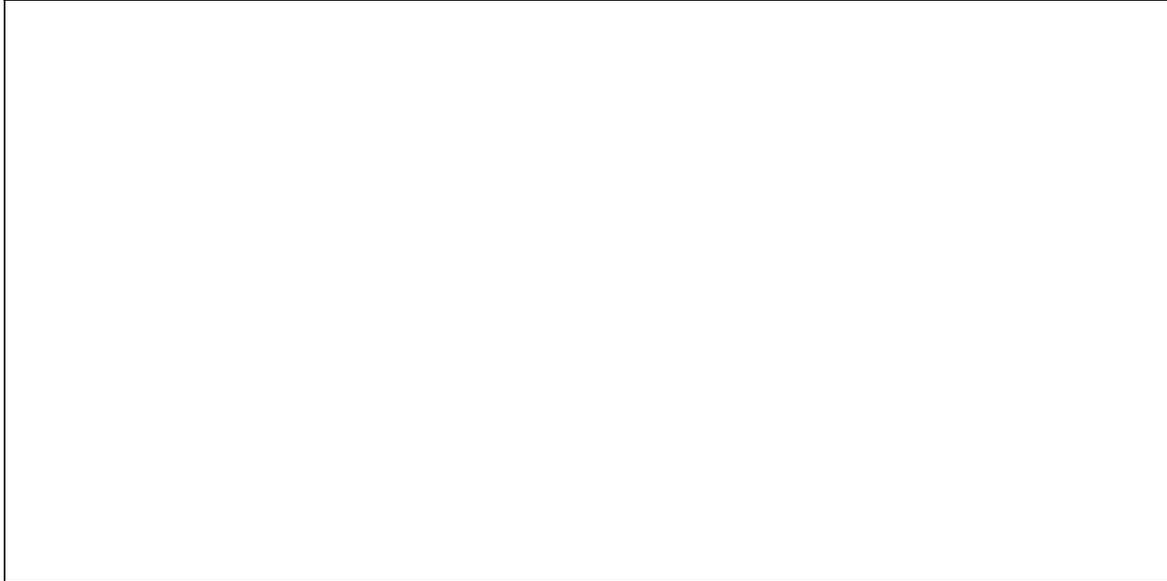
operación_ventanas

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Válidos -3	4	22,2	22,2	22,2
-2	3	16,7	16,7	38,9
-1	1	5,6	5,6	44,4
0	1	5,6	5,6	50,0
1	4	22,2	22,2	72,2
2	4	22,2	22,2	94,4
3	1	5,6	5,6	100,0
Total	18	100,0	100,0	

Promedio = -0.22

8. Comentarios

Si tiene comentarios adicionales que quisiera hacer acerca de aspectos relacionados con la calidad del espacio interior de su vivienda, anótelo en este punto. Si tiene un comentario particular acerca de una pregunta favor anotar el número de la pregunta.



Anexo 5

Encuesta de satisfacción del espacio interior de cada vano

ENCUESTA DE SATISFACCIÓN DEL ESPACIO INTERIOR DE CADA VANO

Ventana:

Espacio:

1. Ubicación

IMAGEN DE LA VENTANA y PLANTA DEL ESPACIO

2. Los vanos están orientados hacia:

<input type="checkbox"/>	Norte
<input type="checkbox"/>	Este
<input type="checkbox"/>	Sur
<input type="checkbox"/>	Oeste
<input type="checkbox"/>	Otro

3. En que piso de la vivienda se encuentra?

<input type="checkbox"/>	Primero
<input type="checkbox"/>	Segundo
<input type="checkbox"/>	Otro

4.Cuál de los siguientes aspectos usted ajusta o modifica en este espacio si quiere cambiar la temperatura interior?

<input type="checkbox"/>	Cortinas o persianas
<input type="checkbox"/>	Aire acondicionado
<input type="checkbox"/>	Apertura de puertas al interior
<input type="checkbox"/>	Apertura de puertas al exterior
<input type="checkbox"/>	Apertura de ventanas
<input type="checkbox"/>	Ventilador de techo o piso
<input type="checkbox"/>	Ninguna de las anteriores

5. Responda esta pregunta basado en la sensación térmica que ha tenido en los últimos seis meses

Poco satisfecho	Muy satisfecho
1	7

6. Si no está satisfecho con la temperatura de su espacio cual de estas contribuye en mayor proporción?

<input type="checkbox"/>	Siempre muy caliente
<input type="checkbox"/>	A veces muy caliente
<input type="checkbox"/>	Ocasionalmetne caliente
<input type="checkbox"/>	Ocasionalmente frío
<input type="checkbox"/>	A veces muy frío
<input type="checkbox"/>	Siempre muy frío

7. A que horas se presenta este problema?

<input type="checkbox"/>	En la mañana antes de las 11
<input type="checkbox"/>	A medio día entre las 11 y las 2
<input type="checkbox"/>	En la tarde entre las 2 y las 5
<input type="checkbox"/>	En la noche
<input type="checkbox"/>	Festivos o fines de semana
<input type="checkbox"/>	En las mañanas
<input type="checkbox"/>	Ninguna hora en particular
<input type="checkbox"/>	Siempre

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

8. Como describiría la fuente del desconfort?

- Alta humedad
- Baja humedad
- Movimientos de aire fuertes
- Sin movimientos de aire
- Sol entrante
- Esta área es mas caliente que el resto
- Cercanía a superficies calientes , techos, paredes, pisos
- Ventanas no operables
- Otro _____

9. Prefiere las ventanas

- Altas
- Mas altas que anchas
- Cuadradas
- Más anchas que altas
- Anchas

- 10.** Con divisiones
 sin divisiones

- 11.** Con vidrio
 Sin vidrio

- 12.** Operables
 Fijas

- 13.** Centradas en el espacio
 Descentradas

- 14.** Una sola ventana
 Fraccionadas

- 15. Que tipo de paisaje prefiere**
 Naturaleza
 Vista urbana

- 16. Prefiere**
 Vista lejana de algún objetivo
 Vista cercana de algún objetivo

Anexo 6

Encuesta general de satisfacción

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

ENCUESTA GENERAL DE SATISFACCIÓN

VIVIENDA: **GÉNERO:**

Masculino	Femenino
35,7%	64,3%

1. DATOS GENERALES

Cuántas personas habitan en la vivienda?

1	2	3	4	5 o más
	15,0%	40,0%	25,0%	20,0%

Cambiaría la orientación de la vivienda?

SI	NO
5,3%	94,7%

2. TEMPERATURA Y HUMEDAD

Su casa es:

Muy fría	Más fría que debería	Ni fría ni cálida	más cálida que fría	muy cálida
	15,8%	42,1%	26,3%	15,8%

Posee algún equipo de ventilación mecánica?

SI	NO
65,0%	35,0%

Cual?

Aire acondicionado	Ventilador	Ambos
14,3%	35,7%	50,0%

Que cantidad de horas lo tiene encendido al día?

Mañana	de 7 a 9	de 7 a 11	de 7 a 13	todo el día
Tarde	17 en adelante	18 en adelante	19 en adelante	
	9,1%	27,3%	63,6%	

Como valora la sensación térmica actual de la casa?

Muy fría	Fría	Ligeramente fría	Neutra	Ligeramente cálida	Cálida	Cálida
		25,0%	40,0%	20,0%	10,0%	5,0%

Como percibe la temperatura de la casa

Completamente inaceptable	inaceptable	Aceptable	Completamente aceptable
		40,0%	60,0%

Quiere la temperatura de su casa

Más alta	Sin cambios	Más baja
	63,2%	36,8%

Como percibe la calidad del aire?

Completamente inaceptable	inaceptable	Aceptable	Completamente aceptable
		45,0%	55,0%

Como percibe la intensidad del olor?

Sin olor	Olor débil	Moderado	Neutra	Olor fuerte	Muy fuerte	Olor abrumador
25,0%	10,0%	5,0%	60,0%			

3. ILUMINACION

Su casa es:

oscura	algo oscura	ni oscura ni clara	muy clara	demasiado luminosa
10,0%	25,0%	45,0%	20,0%	

A que hora prende y apaga las luces?

Mañana (apagar)	de 7 a 9	de 7 a 11	de 7 a 13	todo el día
Mañana (apagar)	80,0%			20,0%
Tarde (prender)	19 en adelante	20 en adelante	21 en adelante	
	94,7%	5,3%		

Anexo 7

Encuesta sobre la utilización de la herramienta

Encuesta sobre la utilización de herramientas en la etapa de concepción de un proyecto de vivienda

Marque sus respuestas en los recuadros con una X

Su edad está entre

menos 25	25-30	30-35	35-40	40-45	45-50	más 50
0%	8%	23%	0%	0%	54%	0%

Su trabajo se desarrolla en

Firma de arquitectos	15%
Firma propia	31%
Docente Universitario	38%
Firma de ingenieros	0%
Otro	15%

¿De qué tamaño es la firma donde trabaja?

1-3 empleados	15%
3 a 10 empleados	31%
10 a 20 empleados	0%
Más de 20 empleados	31%

4

¿Tiene experiencia en eficiencia energética o sistemas pasivos de refrigeración?

Si	23%
No	69%

5

¿Qué tipo de herramienta utiliza para la etapa inicial de un proyecto?

Papel y lápiz	54%
AutoCAD	23%
SketchUp	8%
Rhinoceros	8%
ArchiCAD	8%
Revit Architecture	0%
Otro	0%

6

¿Utiliza algún tipo de herramienta para la validación de sus diseños?

Si	8%
No	92%
Cuál	0%

7 Si utiliza alguna herramienta, ¿cómo aprendió a utilizarla?

Auto aprendizaje	15%
Capacitación	15%
No utilizo ninguna	46%

8 Califique el grado de complejidad de la herramienta que utiliza

Alto	15%
Medio	15%
Bajo	23%

9 ¿Hace diseño residencial actualmente?

Si	77%
No	15%

Evaluación de la aplicación en demostración

Califique de 1 a 7 las siguientes preguntas siendo 1 el más bajo y 7 el más alto.

10 Facilidad en el ingreso de datos en la aplicación

46%	15%		8%		15%	
1	2	3	4	5	6	7
Fácil						Difícil

Facilidad en la interpretación de datos de salida

15%	38%		8%	8%	8%	8%
1	2	3	4	5	6	7
Fácil						Difícil

Velocidad de respuesta

23%	15%	8%	31%	15%		
1	2	3	4	5	6	7
Lento						Veloz

Amigabilidad de la Interface

	8%	23%	15%	15%	23%	8%
1	2	3	4	5	6	7
Poca						Mucha

Potencial de la herramienta en el desempeño futuro de la vivienda

		23%	15%	23%	15%	23%
1	2	3	4	5	6	7
Poco						Mucho

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

15 Potencial en el aporte estético

23%	23%	15%	23%	15%		
1	2	3	4	5	6	7
Poco					Mucho	

Contribución con respecto al diseño conceptual de su proyecto

8%	31%	23%	15%	8%		15%
1	2	3	4	5	6	7
Poco					Mucho	

Cantidad de pasos (clics) durante la operación de la herramienta

31%	8%	23%	8%			8%
1	2	3	4	5	6	7
Pocos					Muchos	

Confianza de los datos arrojados

8%	15%	8%	8%	38%		23%
1	2	3	4	5	6	7
Poca					Mucha	

¿Le parecen apropiados los lineamientos implementados en la herramienta?

15%	8%	15%	15%	23%	8%	8%
1	2	3	4	5	6	7
Poco					Mucho	

¿Cuánto dinero invierte su empresa en la compra de software?

23%		23%	46%			
1	2	3	4	5	6	7
Poco					Mucho	

Marque sus respuesta en los recuadros con una X

21 ¿Usaría la herramienta?

Si	54%
No	46%

22 ¿Usaría herramientas de comprobación una vez utilizada la aplicación?

Si	77%
No	23%

DISEÑO GENERATIVO DE VANOS PARA EL CONFORT EN VIVIENDAS

¿Tendría confianza en software libre?	Si	85%
	No	

24 ¿Entiende que la aplicación no es una prescripción en el diseño, sino una sugerencia de relaciones geométricas?	Si	100%
	No	

25 ¿Siente que la aplicación afecta su creatividad?	Si	31%
	No	69%

26 ¿Cree que la herramienta sirve para todo tipo de arquitectos?	Si	38%
	No	62%
	Otro	

Preferencias acerca de la usabilidad

27 Prefiere manipular los parámetros de la aplicación Dibujar directamente sobre el papel Indiferente		23%
		69%
		8%

28 Prefiere como solución datos en 3D Prefiere como solución datos numéricos Indiferente		77%
		15%
		8%

29 Prefiere tener como resultado una alternativa de diseño Varias alternativas Indiferente		0%
		85%
		8%

30 Califique de 1 a 7 en general la aplicación

		15%	38%	38%		8%
1	2	3	4	5	6	7
Poco						Mucho

GRACIAS

