

# Estrategia espacial de control ambiental para la vivienda en altura en la zona central de Chile

**Daniela Poblete**

Artículo producido a partir de tesis de magíster

Profesores guía: Philippe Blanc, Felipe Encinas

## CONSUMO ENERGÉTICO Y MERCADO INMOBILIARIO: DEFINICIÓN DE LA PROBLEMÁTICA DE INVESTIGACIÓN

Una de las problemáticas que actualmente están siendo tratadas por el sector público de nuestro país es la disminución del consumo energético de los distintos sectores, tanto en transporte, industria, residencial, comercial y público. La distribución del consumo energético por sector del país para el año 2014 nos señala que el 21% del consumo de energía anual corresponde al sector CPR (Comercial-Público-Residencial), cuyo 71% de consumo pertenece sólo al sector residencial, equivalente al 15% del consumo total de energía a nivel país. Esta cifra es muy alta considerando que el consumo energético de las categorías de industria y transporte son mayores, ya que Chile es un país exportador de materias primas (CNE, 2016; INE, 2014).

Desde el sector público se han impulsado e implementado una serie de medidas contenidas en el plan de Estrategia Nacional de Construcción Sustentable (MINVU, 2014) con metas para el año 2020, las cuales buscan, desde el punto de vista de la edificación, maximizar las estrategias pasivas para reducir la dependencia de sistemas mecánicos y el consumo energético que conlleva (reducción del 12% en el sector CPR), además de velar por ambientes interiores más confortables y por una construcción de bajo impacto ambiental (reducción del 20% en emisión de gases efecto invernadero) (MINVU, 2014). Por otra parte, desde el sector privado (inmobiliarias) se ha manifestado un creciente interés por incluir materiales o sistemas que sean energéticamente eficientes, los cuales se convierten en un atributo comercial y de valor agregado para el proyecto en oferta (atributos de eficiencia energética). En un análisis realizado en marzo del 2016 en la comuna de Providencia sobre la oferta inmobiliaria actual de departamentos, se reconocen los distintos atributos que se ofrecen y que le podrían otorgar la etiqueta de sustentable o energéticamente eficiente a un proyecto. Estos atributos son:

- Ventana doble vidriado hermético de baja emisividad
- Panel solar térmico / Fotovoltaico
- Iluminación LED eficiente
- Aparatos sanitarios eficientes
- Riego eficiente

Como resultado de este análisis, se concluye que sólo el 40% de las inmobiliarias ofrece alguno de estos atributos, mientras que el resto no los declara (Caamaño, J.; Delucchi, C.; Paz, M.; Poblete, D.; Suárez, N., 2016). Dentro de éstas, cabe mencionar a la Inmobiliaria Ralei, que declara la mayor cantidad de atributos sustentables: panel solar térmico, iluminación LED eficiente, aparatos sanitarios eficientes, punto verde de reciclado de basuras, ascensores con sistema de ahorro de energía y calefacción eléctrica con programación inteligente; también a la Inmobiliaria Fundamenta, que cuenta con proyectos llamados ECO en donde prima el uso de paneles solares térmicos y fotovoltaicos. Si bien se observa una incipiente preocupación por mejorar el comportamiento energético de las viviendas a través de la integración de atributos sustentables, esta aproximación generalmente se traduce en soluciones accesorias que se transforman en un atributo de valor comercial y de marketing para el edificio (FIG. 01) y no como una solución espacial y de diseño pasivo que genere un real impacto en temas de confort ambiental en viviendas.

Al comparar las planimetrías de un proyecto inmobiliario con atributos sustentables declarados (Parque Pucuro, inmobiliaria Ralei) con las de un proyecto inmobiliario sin atributos sustentables declarados (Román Díaz 1115, inmobiliaria Almazara Román Díaz Spa)<sup>1</sup>, se aprecia que en términos de distribución, orientación y organización, no existe una diferenciación en el diseño de los departamentos ubicados en diferentes orientaciones; que hay una gran cantidad de departamentos ubicados en orientaciones desfavorables; que todas sus fachadas presentan un alto porcentaje de acristalamiento (entre 50 y 80%); y finalmente, la presencia de potenciales espacios mediadores (terrazas y balcones) indebidamente acondicionados según su orientación, ya sea porque

Aviso publicitario completo:

Edificio Parque Pocuro / Presidencia  
Eficiencia y Estilo

2 - 3 DORMITORIOS  
3 Dorms. + Family Room  
Desde UF 4.990\*

Edificio Ralei  
Efficient

2015  
Certificado  
en IVA  
18

www.ralei.cl | 2 2663 9000

Detalles:

Edificio Parque Pocuro / Presidencia  
Eficiencia y Estilo

Edificio Ralei  
Efficient

2015  
Certificado  
en IVA  
18

FIG. 02

no posee protección solar en los departamentos oriente y poniente, o porque la sección de la terraza norte no tiene las dimensiones apropiadas para impedir el ingreso de los rayos solares en períodos calurosos (FIG. 02).

En base a esto, se concluye que la sustentabilidad en la arquitectura de la oferta actual inmobiliaria sólo se presenta como un atributo o un accesorio energéticamente eficiente y no como una condición/cualidad espacial en donde los espacios mediadores, en conjunto con estrategias de diseño pasivo y una protección solar adecuada de los vanos, se encargan de aminorar los riesgos de condiciones térmicas negativas en los interiores de la vivienda. Es decir, el concepto de sustentabilidad en el mundo inmobiliario se reduce sólo a temáticas de ahorro energético y a materiales/sistemas energéticamente eficientes, dejando aparte la arista del diseño pasivo, contextualizado y que se hace cargo del confort ambiental de las viviendas durante todas las estaciones del año.

Debido a lo anteriormente mencionado, surge uno de los grandes problemas térmicos y de confort de los proyectos inmobiliarios: el sobrecalentamiento. Este fenómeno, consistente en el aumento excesivo de las temperaturas de un recinto sobre un rango de confort establecido, se genera principalmente debido a la ausencia de estrategias que amortigüen o eviten este suceso en los períodos en donde las temperaturas exteriores aumentan. Ya en investigaciones anteriores se ha comprobado que cerca del 30% de las tipologías más recurrentes dentro de la oferta del mercado inmobiliario de Santiago no tienen un buen pronóstico con respecto a este fenómeno, ya que pasan entre 2000 y 3500 horas fuera del rango de confort en períodos de calor, lo que corresponde a más de la mitad de las horas pertenecientes al período primavera-verano, confirmando el alto riesgo de sobrecalentamiento presente en la

vivienda en altura en la zona central de Chile (Encinas, 2012).

Es así como esta tesis indaga sobre qué tipo de estrategias espaciales de control ambiental se pueden integrar a los espacios de una vivienda en altura de la zona central de Chile para otorgar un ambiente confortable al usuario en los distintos períodos del año; por otro lado, explora sobre materialidades y sistemas constructivos para estos espacios, procurando la utilización de materiales de baja huella de carbono, como la madera, y a la vez evitando el riesgo de sobrecalentamiento producido en las viviendas de un edificio construido en base a este material, considerando su condición general de baja inercia térmica.

En base al problema expuesto, se propone como hipótesis que al integrar espacios de control ambiental de la zona central de Chile en tipologías arquitectónicas de un edificio de viviendas, como el patio mediterráneo, se amortiguarán las distintas variaciones climáticas de Santiago, así como también se reducirá el riesgo de sobrecalentamiento de los departamentos en épocas calurosas. De esta manera, se otorgará el confort necesario en los distintos períodos del año para el usuario y su hogar. Así, los distintos objetivos de esta investigación apuntan a analizar y sintetizar los espacios de control ambiental de la zona central de Chile, integrarlos a un proyecto de vivienda en altura, desarrollar un sistema constructivo prefabricado en base a madera que sea capaz de amortiguar las variaciones climáticas, y por último, verificar, en base a modelos digitales, la disminución del riesgo de sobrecalentamiento.

Como metodología de investigación se propone, en primer lugar, estudiar las distintas estrategias de control ambiental de los diversos espacios de la arquitectura presentes en la zona central de Chile.

En segundo lugar, identificar y sintetizar las principales operaciones proyectuales recogidas en el punto anterior, aplicables a la edificación de vivienda en altura. A continuación, analizar y adaptar a la realidad nacional y a los requerimientos climáticos y espaciales de vivienda multifamiliar en altura un referente constructivo prefabricado compuesto de madera y hormigón. Y por último, ya definido el proyecto y su sistema constructivo, se procederá a estudiar mediante *software* en régimen dinámico (TAS) el comportamiento 'energético' de la vivienda, enfocado en el sobrecalentamiento. Se modelarán por tanto dos departamentos correspondientes a las orientaciones más propensas a este fenómeno (norte y poniente), a los cuales se realizarán iteraciones con distintas estrategias de amortiguación cuyos resultados se analizarán para verificar su efectividad bajo el período de enfriamiento (noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo) y en base a un rango de confort adaptativo.

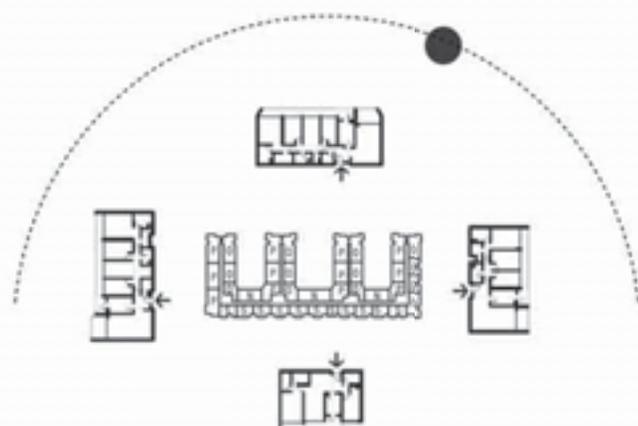
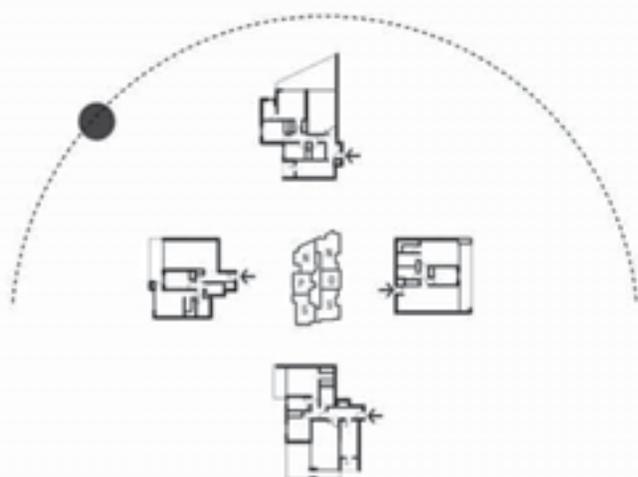
#### INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS DE CONTROL AMBIENTAL DE LA ARQUITECTURA EN LA ZONA CENTRAL DE CHILE: LA VIVIENDA PATIO EN ALTURA

La exploración de las distintas espacialidades de control ambiental presentes en la zona central de Chile nos devela una serie de estrategias relacionadas con los espacios intermedios, como el corredor-galería, el patio mediterráneo y el parrón, es decir, espacios habitables cuyas dimensiones y materiales los transforman en puentes arquitectónicos entre el interior de la vivienda y su exterior, y donde el clima exterior es modificado sin la intervención de sistemas mecánicos, procurando que el usuario experimente la dinámica del cambio (Hui y Jiang, 2014). Así, el espacio intermedio se genera como una respuesta arquitectónica a las condiciones específicas del clima de la locación y a los modos de vida de sus habitantes, cuyo principal

Esquema comparativo: Programa y distribución

Edificio Román Díaz (sin atributo sustentable declarado)

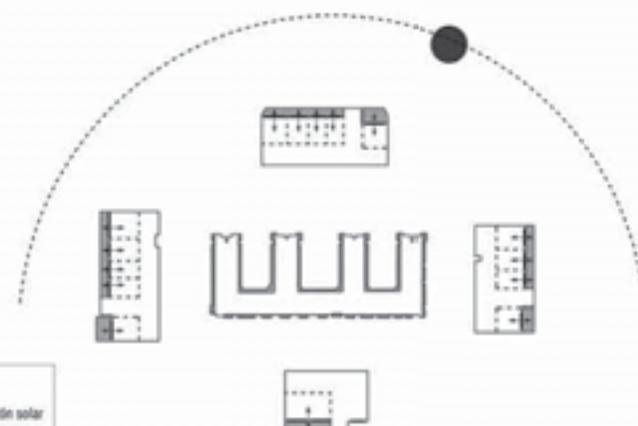
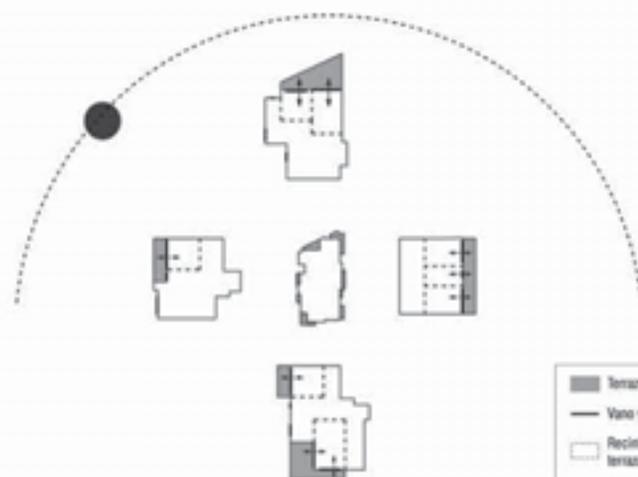
Edificio Parque Pocuro (atributo sustentable declarado)



Edificio Román Díaz 1115						
Orientación	m <sup>2</sup> útil	m <sup>2</sup> terraza	m <sup>2</sup> total	N° Dormitorios	N° Baños	UF/m <sup>2</sup>
Norte	85,4	17,9	103,3	3	2	86,0
Oriente	58,1	10,6	68,7	2	2	93,7
Poniente	64	8,3	72,3	2	2	88,8
Sur	78,4	19,7	98,1	2	2	90,1

Edificio Parque Pocuro						
Orientación	m <sup>2</sup> útil	m <sup>2</sup> terraza	m <sup>2</sup> total	N° Dormitorios	N° Baños	UF/m <sup>2</sup>
Norte	97,74	20,56	118,30	3	3	86,4
Oriente	80,38	16,22	96,6	3	2	93,3
Poniente	96,61	21,13	117,74	3	3	88,9
Sur	61	10,90	71,90	2	2	92,9

Esquema comparativo: % acristalamiento y % terraza / espacio interior



- Terraza / balcón
- Vano vidriado sin protección solar
- Recinto interior contiguo a terraza / balcón
- Indicador de relación directa entre terraza / balcón y recinto interior.

	% Acristalamiento*			
	Norte	Oriente	Poniente	Sur
Román Díaz 1115	47%	76%	65%	49%
Parque Pocuro	77%	72%	77%	70%

\*Considerando sólo las superficies de muro expuestas al exterior.

	% Terraza/balcón y espacio interior contiguo			
	Norte	Oriente	Poniente	Sur
Román Díaz 1115				
Parque Pocuro				

Terraza / Balcón  
 Recinto interior contiguo a terraza / balcón  
 Recintos interiores no vinculados a la terraza.

FIG. 02

objetivo es adaptarse al contexto y lograr un control climático de éste, filtrando aquellas condiciones exteriores rigurosas. Estos espacios pueden ser lugares donde el ser humano reflexiona, se encuentra y se conecta con el paisaje, es decir, espacios que tienen el potencial de ser un lugar de estancia y existencial, en el sentido de que es ahí donde el ser humano puede establecer un vínculo con el exterior según sus anhelos y necesidades, sintiéndose libre y seguro como en un espacio interior, pero conectado a lo natural y no controlado (Kapstein, 1988).

Así, en el proyecto final se utilizará como principal estrategia de control ambiental y de organización espacial la integración del patio de clima mediterráneo, tanto en el edificio como en el departamento, entendiendo a este espacio como un vacío controlado e íntimo en donde el hombre se siente protegido, pero a la vez partícipe del paso de los días, de las estaciones del año, del sol, el calor, la lluvia, el viento, etc. (Blaser, 1997). Es decir, es un espacio que vincula al ser humano con el exterior y lo expone sutilmente al cielo y a su clima, de tal

manera que logra establecer un diálogo entre tres factores: arquitectura, vida y lugar.

Como estrategia proyectual a escala de la vivienda se propone integrar un patio de doble altura al centro de los departamentos dúplex, procurando que todos los recintos de la vivienda se orienten hacia él para que el departamento – en su totalidad – funcione como un sistema climático holístico, proporcionando mejor iluminación y ventilación natural. Por otro lado, debido al crecimiento vertical de las viviendas, la apertura del patio se orientará hacia el frente y no hacia arriba, como se proyecta tradicionalmente, lo que trae como consecuencia que el patio se vea influenciado exclusivamente por las condiciones de asoleamiento y ventilación de la orientación de su apertura. A escala de edificio, se decide utilizar el patio como un vacío central del volumen total y, a la vez, liberar la fachada sur del primer nivel para que ingresen los vientos del suroeste. El objetivo específico es que los vientos y las brisas originados en los períodos de calor disminuyan su temperatura al entrar en contacto

con la vegetación, la sombra y la humedad del patio central del edificio, para que ingresen a las viviendas y otorguen sensación de frescor a los usuarios. Asimismo, con este vacío central se logra que todos los departamentos tengan al menos dos fachadas expuestas al exterior (dos orientaciones), lo que facilita la ventilación cruzada y mejora la iluminación natural de éstos (FIGS. 03, 04).

#### **SISTEMA CONSTRUCTIVO PREFABRICADO EN MADERA PARA LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS DE LA ZONA CENTRAL DE CHILE**

Para un buen funcionamiento del espacio de control ambiental y de la vivienda, se hace necesaria la inclusión de un sistema constructivo que, en primer lugar, responda de buena manera al contexto climático, especialmente para evitar el sobrecalentamiento en períodos de calor; y, finalmente, que sea de rápida ejecución en obra y que tenga materiales de baja huella de carbono. Bajo estos preceptos, se opta por un sistema constructivo prefabricado cuyo material principal sea la madera,

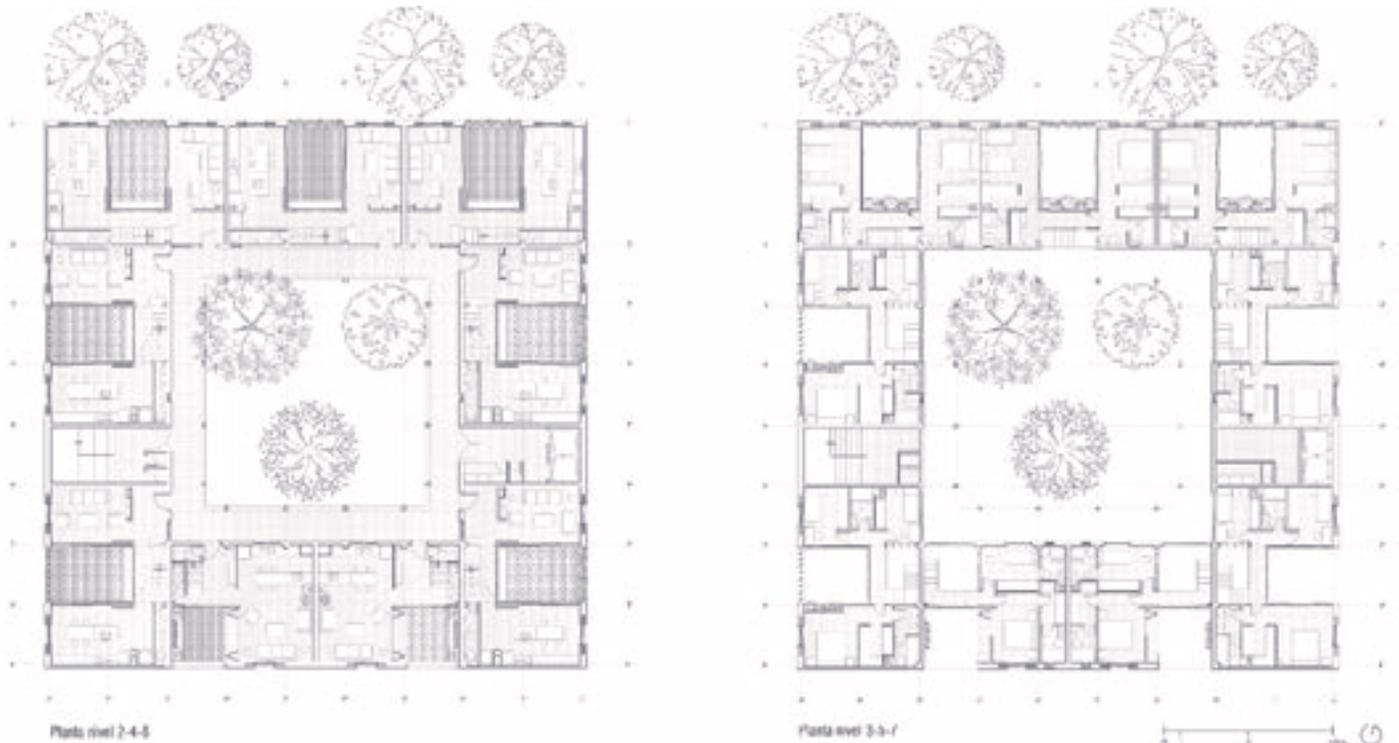


FIG. 03



FIG. 04

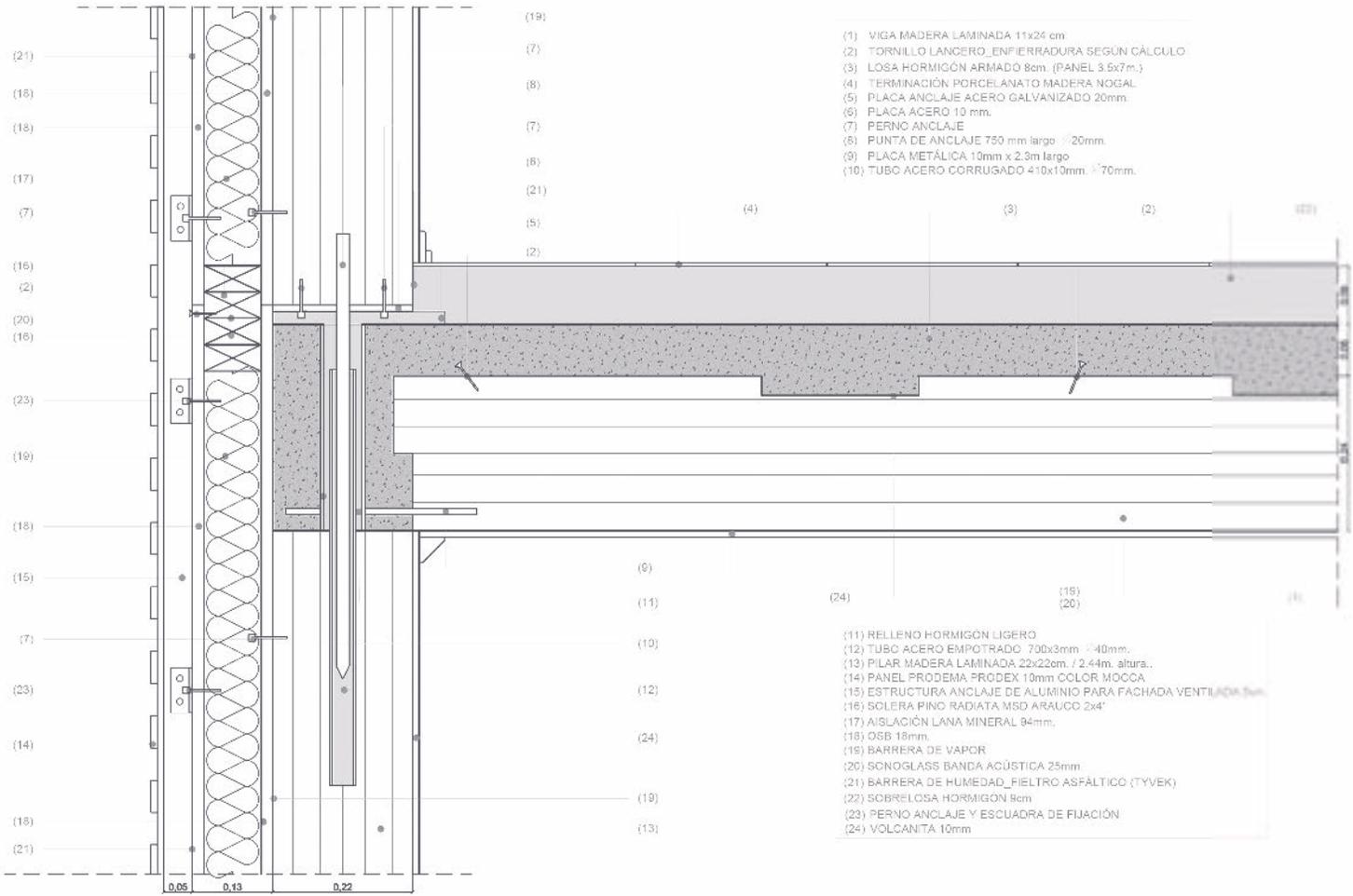


FIG. 05

debido a que es un material muy liviano, flexible y fácil de modular, además de ser un material de baja huella de carbono y de gran accesibilidad y producción en Chile.

Sin embargo, es sabido que las estructuras de madera, a pesar de sus grandes ventajas constructivas y de impacto ambiental, suelen comportarse de manera desfavorable en climas como el de la zona central de Chile, ya que la madera es un material que no amortigua las oscilaciones térmicas del clima y es propensa a generar sobrecalentamiento en los espacios interiores debido a la ausencia de inercia térmica que absorba el calor del ambiente. En base a esto, se vuelve necesaria la integración de materiales con inercia térmica en la estructura de madera para compensar aquellas falencias mencionadas, procurando que esta masa térmica no se comporte como una carga para la estructura de madera, sino que trabaje en conjunto con ella.

Por las razones ya mencionadas, se estudia como referente constructivo el proyecto LCT One del arquitecto Hermann Kaufmann (2009, Austria), con la finalidad de adaptarlo a los requerimientos térmicos y espaciales de la vivienda en altura de la zona central de Chile. Este sistema constructivo es producto de un proyecto de investigación que integra al mundo académico con el rubro de la construcción en madera, el cual tiene como objetivo principal diseñar un sistema constructivo prefabricado en madera y hormigón que resuelva los problemas de resistencia de fuego. Como resultado

de esto, se diseña un sistema constructivo pilar-viga con paneles prefabricados tanto para muros perimetrales como losas, donde estas últimas utilizan la madera y el hormigón a modo de losa colaborante, lo que permite que cada piso del edificio quede separado por un estrato de espesor acotado y no combustible (Müller, s.f.) (FIG. 05).

#### ANÁLISIS DE DESEMPEÑO ENERGÉTICO DEL ESPACIO DE CONTROL AMBIENTAL

##### DEFINICIÓN DE PARÁMETROS DEL MODELO ENERGÉTICO

Una vez definida la forma y dimensiones del espacio de control ambiental de los departamentos, además del sistema constructivo y los materiales que lo componen, se procede a evaluar el fenómeno de sobrecalentamiento presente en ellos mediante *software* en régimen dinámico (TAS) donde se modelarán dos tipologías ubicadas a la altura media del edificio de 7 niveles (dúplex nivel 4 y 5) y cuyas orientaciones son más propensas a este fenómeno: tipología norte y tipología poniente, evaluándolas durante el período de enfriamiento (noviembre, diciembre, enero, febrero y marzo). Como todas las viviendas del proyecto son dúplex, en donde lo público se ubica en el primer nivel (living, comedor-cocina) y lo privado en el segundo nivel (habitaciones), se decide analizar el comportamiento térmico de una zona por nivel para obtener resultados más representativos y de fácil lectura al momento de comparar; éstas zonas son: el living y el dormitorio principal.

Los parámetros que definen los elementos constructivos y las condiciones internas de las zonas a analizar se rigen según la normativa europea EN-15251 (AENOR, 2016) y el “Estudio sobre rangos de confort térmico y riesgo de sobrecalentamiento” (Bustamante, 2015). Cabe señalar que los modelos de las tipologías ubicadas a la altura media del edificio consideran algunos de sus muros, cielo y suelo como elementos adiabáticos.

##### CONDICIONES INTERNAS:

- Infiltraciones: 0.5 ach.
- Ventilación: 1 ach.
- Ventilación Nocturna: 6 ach. (de 10 PM a 6 AM).

ganancias internas: definidas según recinto y tipología.

##### ELEMENTOS CONSTRUCTIVOS

(valor U [W/m<sup>2</sup>°C]):

- Muro Exterior: panel liviano madera con aislante (0.33 [W/m<sup>2</sup>°C]).
- Ventana: doble vidrio hermético (2.9 [W/m<sup>2</sup>°C]).
- Entrepiso: vigas madera y losa hormigón (0.34 [W/m<sup>2</sup>°C]).

Las iteraciones (estrategias para evitar el sobrecalentamiento) serán determinadas según las siguientes variables: orientación (norte y poniente), % de acristalamiento de los muros que miran al patio (60% y 35%), ventilación nocturna (con o sin) y protección

solar del patio (con y sin). Lo anterior da un total de 16 iteraciones, las cuales serán comparadas y analizadas entre sí y según el límite superior de confort adaptativo definido según Bustamante, 2015.

El rango de confort adaptativo, según la normativa europea EN-15251 (AENOR, 2016), son valores variables de temperatura máxima y mínima, determinados según la temperatura exterior de los días anteriores y que pueden aplicarse a un recinto de uso residencial debido al grado de operabilidad que éste presenta. Es decir, a diferencia de un rango de temperatura fijo que suele usarse por ejemplo, en edificios de oficina, el rango de confort adaptativo cambia según las condiciones exteriores y considera al usuario como una variable que puede interferir en su propia sensación de confort, es decir, que puede abrir o cerrar ventanas, abrigarse o desabrigarse, etc.

A continuación, se mostrarán, compararán y analizarán los resultados obtenidos de las distintas iteraciones, considerando las temperaturas alcanzadas en los recintos y la cantidad de horas de sobrecalentamiento (horas con temperaturas sobre el límite superior de confort adaptativo).

**ITERACIONES Y HORAS DE SOBRECALENTAMIENTO**

En los gráficos de la figura 06 se puede apreciar la cantidad de horas de sobrecalentamiento en el living y el dormitorio generadas debido a la ausencia o presencia de las estrategias nombradas anteriormente.

Considerando que la cantidad de horas total del período de calor para este análisis (de noviembre a marzo) son 3.624 horas, la mayoría de las estrategias no supera el 50% de horas de sobrecalentamiento para ese período (línea punteada roja); sin embargo, se puede observar, para ambas orientaciones, que cuando no existe ventilación nocturna ni protección solar las horas de sobrecalentamiento suelen aumentar considerablemente, llegando a un máximo de 1.500 horas de sobrecalentamiento en el living de la tipología norte, lo cual equivale a más de 60 días completos con temperaturas interiores sobre el rango de confort adaptativo. Pero, cuando se implementan ambas estrategias, las horas de sobrecalentamiento disminuyen notablemente para ambas zonas, llegando a un máximo de 234 horas de sobrecalentamiento en el dormitorio de la tipología norte – lo cual equivale a casi 10 días completos de

sobrecalentamiento. Es decir, aplicando estas dos estrategias se logra disminuir a una sexta parte las horas sobre el rango de confort.

En los gráficos también se puede observar que al utilizar protección solar en el patio, las horas de sobrecalentamiento en el living disminuyen mucho más que las horas de sobrecalentamiento en dormitorio, lo cual da pie para constatar que la sombra de la protección solar influye más en el confort de las zonas del primer nivel que en el segundo nivel, efecto que se acentúa mucho más en la tipología poniente.

Para analizar de mejor manera la influencia de cada variable en los resultados de las iteraciones, se realizan gráficos burbujas (FIG. 07) que muestran el promedio de las horas de sobrecalentamiento entre el living y el dormitorio (en el eje y) y su desviación estándar (tamaño de la burbuja). La desviación estándar permite apreciar cuando una estrategia afecta más a una zona que a otra, lo cual no se puede apreciar en el promedio; es decir, cuando la burbuja es de mayor tamaño es porque la diferencia de horas de sobrecalentamiento entre el living y el dormitorio es muy grande, lo cual se traduce en que una de esas zonas está mucho más afectada por el sobrecalentamiento que la otra. Esto permite

	ORIGINAL : LCT One		ADAPTACIÓN	
	Material	Dimensiones	Material	Dimensiones
Panel losa mérida	Viga madera laminada	28 x 24 cm	Viga madera laminada	22 x 24 cm
	Hormigón	8 cm; área 2,7 x 8,1 m	Hormigón	17 cm; área 3,5 x 7 m
Panel muro	Pilar madera laminada	24 x 24 cm	Pilar madera laminada	22 x 22 cm
	OSB	18 mm	OSB x 2	18 mm
	Yeso cartón	15 mm	Yeso cartón	10 mm
	Lana mineral	16 cm	Lana mineral	94 mm
	Solera / Pie derecho (madera lam.)	6 x 16 cm	Solera / Pie derecho (pino radiata)	2 x 4"
	Fibrocemento alta densidad	18 mm	-	-

TABLA 01

				Horas sobrecalentamiento		
				Living	Dormitorio	
TIPOLOGÍA NORTE	60% Acrist.	Vent. Noct.	Protección Solar	146	229	IT. 1
			Sin Protección Solar	754	585	IT. 2
		Sin Vent. Noct.	Protección Solar	500	711	IT. 3
			Sin Protección Solar	1464	1208	IT. 4
	35% Acrist.	Vent. Noct.	Protección Solar	133	234	IT. 5
			Sin Protección Solar	614	469	IT. 6
		Sin Vent. Noct.	Protección Solar	602	812	IT. 7
			Sin Protección Solar	1531	1206	IT. 8
TIPOLOGÍA PONIENTE	55% Acrist.	Vent. Noct.	Protección Solar	97	101	IT. 9
			Sin Protección Solar	712	284	IT. 10
		Sin Vent. Noct.	Protección Solar	352	369	IT. 11
			Sin Protección Solar	1331	818	IT. 12
	35% Acrist.	Vent. Noct.	Protección Solar	80	87	IT. 13
			Sin Protección Solar	487	192	IT. 14
		Sin Vent. Noct.	Protección Solar	446	422	IT. 15
			Sin Protección Solar	1284	762	IT. 16
Superficies muros que dan al patio			Protección solar del patio	Total de horas periodo de calor: 3624 hrs. (nov., dic., ener, febrero y marzo)		

TABLA 02

tener una lectura mucho más completa al momento de elegir las estrategias más convenientes para la vivienda en su totalidad. Al observar ambos gráficos, se advierte que, independiente del porcentaje de acristalamiento que posea el patio, las horas de sobrecalentamiento disminuirán 6 veces si es que se utiliza protección solar y ventilación nocturna. Esto se aplica para ambas tipologías, lo cual ya fue observado en el gráfico anterior.

Lo interesante surge al cuestionarse cuál de esas dos estrategias es más efectiva (ventilación nocturna o protección solar) y suponer un caso hipotético en el que solamente tenga la posibilidad de incluir una de ellas. Analizando el gráfico burbuja de la tipología poniente, se denota claramente la ventaja de la protección solar por sobre la ventilación nocturna, ya que al observar el tamaño de las burbujas señaladas con la línea punteada negra, se aprecia que la protección solar otorga mayor confort a ambos niveles de la vivienda (por tener una burbuja más pequeña), a diferencia de la ventilación nocturna donde la

burbuja es de mayor tamaño, lo que indica que uno de esos niveles se sobrecalienta más que el promedio indicado. Por otra parte, en la tipología norte las burbujas (indicadas con línea punteada) son mucho más uniformes, pero existe una leve diferencia en el tamaño de la burbuja a favor de la ventilación nocturna, aunque el promedio de las horas de sobrecalentamiento es menor cuando se utiliza protección solar, lo que lleva a concluir que ambas estrategias son similares en su efectividad y que la elección de una o de otra dependerá de otras variables.

**ITERACIONES Y PEAKS DE TEMPERATURAS**

A continuación, se estudiarán las temperaturas alcanzadas en la vivienda durante una semana de enero para mostrar la diferencia entre una tipología que utiliza las estrategias ya mencionadas (ventilación nocturna, protección solar y menos % de acristalamiento) y otra que no las utiliza. El objetivo es comparar de manera gráfica y más detallada el comportamiento térmico de los recintos, manifes-

tando de manera más concreta las temperaturas generadas (máximas y mínimas) y los efectos amortiguadores de ciertos materiales constructivos.

En la figura 08 se pueden apreciar los gráficos de temperaturas para ambas tipologías, comparando la iteración con menor cantidad de horas de sobrecalentamiento con la que obtuvo más horas. Al contrastar los gráficos de las tipologías, la iteración 5 y 13 (35% acristalamiento / ventilación nocturna / protección solar) con la iteración 4 y 12 (60% acristalamiento / sin ventilación nocturna / sin protección solar), se aprecia como los distintos valores de temperatura interior (living y dormitorio) se trasladan del rango de 18-28°C al rango de 23-33°C, es decir, la temperatura máxima y mínima tienden a subir aproximadamente 5°C cuando el porcentaje de acristalamiento aumenta y hay ausencia de protección solar y ventilación nocturna.

A pesar de que las temperaturas de ambas tipologías se mueven en un rango similar, existe

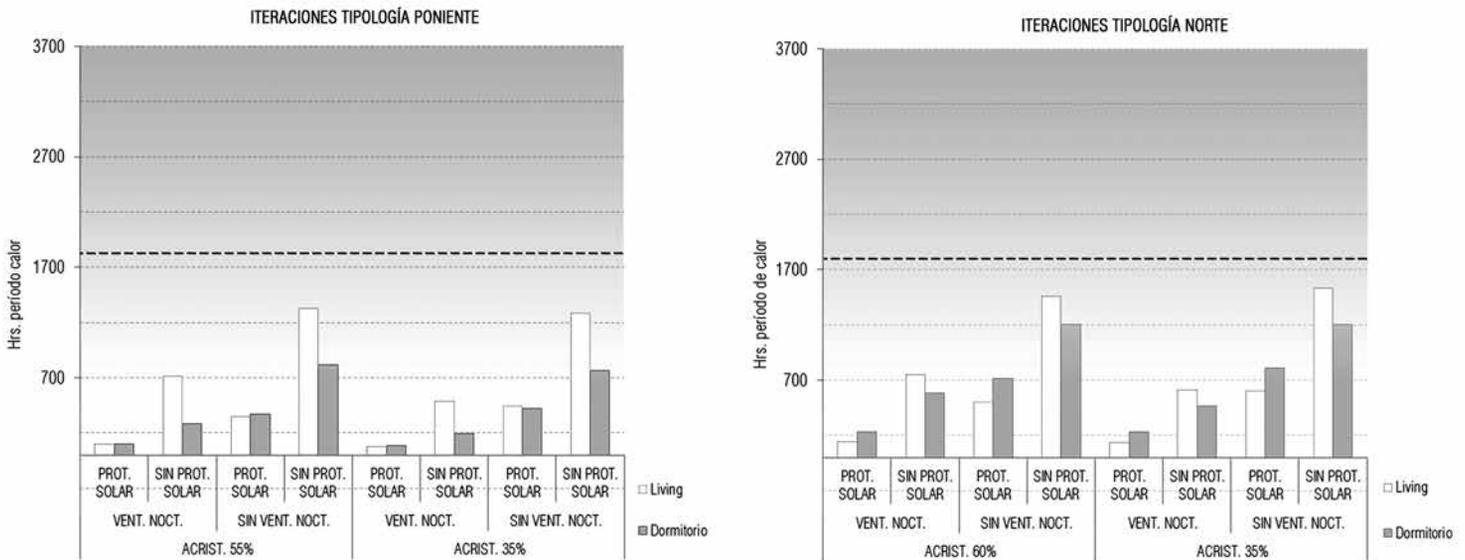


FIG. 06

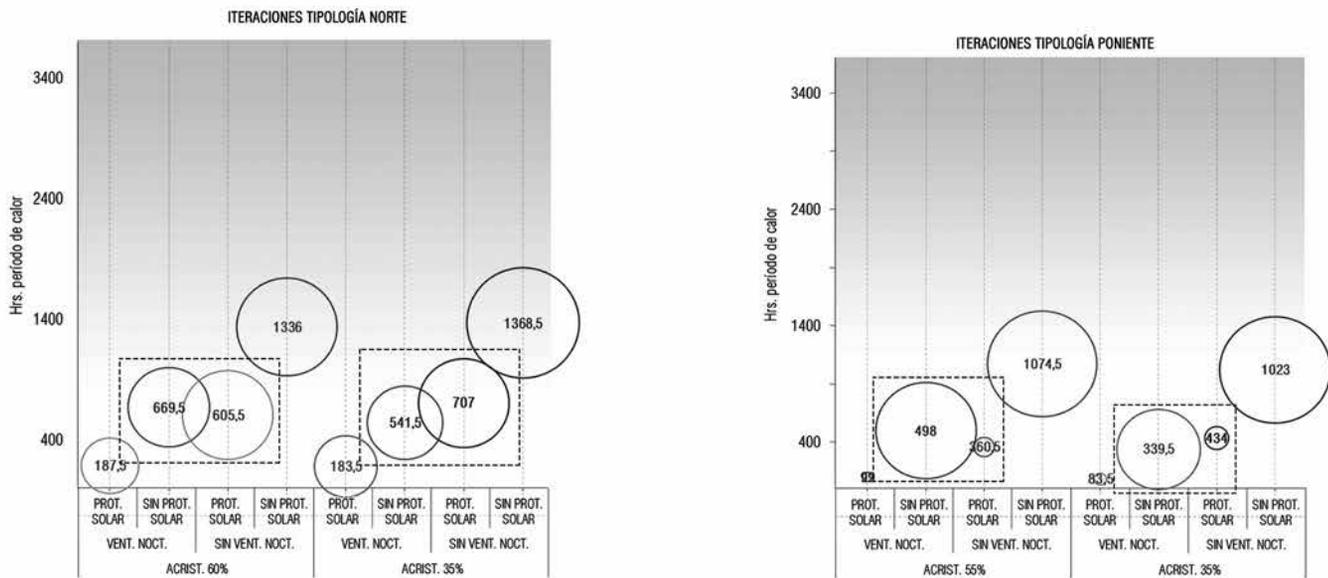


FIG. 07

una leve diferencia entre la cantidad de horas en que éstas se mueven sobre el límite superior de confort ya que la tipología poniente presenta menos horas de sobrecalentamiento que la tipología norte, lo cual se debe principalmente a que esta tipología recibe más asoleamiento durante el día.

Por otra parte, en los gráficos se manifiesta el efecto amortiguador de la masa térmica presente en las losas mixtas (madera y hormigón). En aquellas iteraciones donde hay menos sobrecalentamiento (IT. 5 e IT. 13), la masa térmica junto con la ventilación nocturna logran atenuar y desplazar los peaks de temperaturas hasta en 5°C (de 33°C a 28°C en IT. 5 e IT. 13), debido a que la masa se enfría durante la noche y puede absorber más calor durante el día (ver flechas descendentes en los gráficos). En las iteraciones con más sobrecalentamiento (IT. 4 e IT. 12), como no existe ventilación nocturna, la masa térmica nunca libera el calor acumulado y lo va incrementando al pasar los días, lo que disminuye el efecto de la inercia

térmica y provoca que en ciertas ocasiones las temperaturas interiores durante el día superen a las temperaturas exteriores (ver flechas ascendentes).

Finalmente, para concluir esta parte, cabe señalar que el solo hecho de integrar un vacío (patio) a una vivienda en altura, las condiciones de ventilación, iluminación y, en consecuencia, la sensación de confort, mejoran con respecto a un departamento tradicional. Esto no es posible comprobarlo cabalmente con un análisis energitérmico porque existen variables que no se pueden traducir a valores numéricos que se ingresan a una base de datos, tales como el grado de operabilidad de la vivienda y la libertad del usuario para modificar las espacialidades de ésta. Es decir, se deduce que la principal ventaja de introducir un espacio intermedio (patio doble altura) a un departamento pasa por la vinculación generada entre este espacio y el recinto interior, amortiguando las condiciones climáticas exteriores y permitiendo que el usuario aumente sus alternativas para operar su vivienda (abrir o cerrar ventanas, exteriorizar o

interiorizar actividades) en función de las condiciones climáticas y su sensación de confort.

El patio en sí es un espacio arquitectónico complejo conformado principalmente por un vacío y por una serie de elementos que lo potencian como un espacio de control ambiental: la inercia térmica, elementos de control solar y la vegetación. Sin embargo, al emplazarlo en una vivienda en altura y al cambiar su apertura tradicional hacia el cielo por una frontal, inciden otros factores que tienen que ver directamente con su orientación: % de acristalamiento y la presencia de una protección solar diferenciada. Todos estos factores, la mayoría de ellos ingresados como variables en el modelo energitérmico, permiten concluir, principalmente, que a la hora de proyectar e integrar un patio a una vivienda en altura es necesario, para lograr el confort y evitar el sobrecalentamiento, diseñar elementos de control solar apropiados para cada orientación y considerar la ventilación natural de los espacios interiores no sólo durante el día de los períodos de

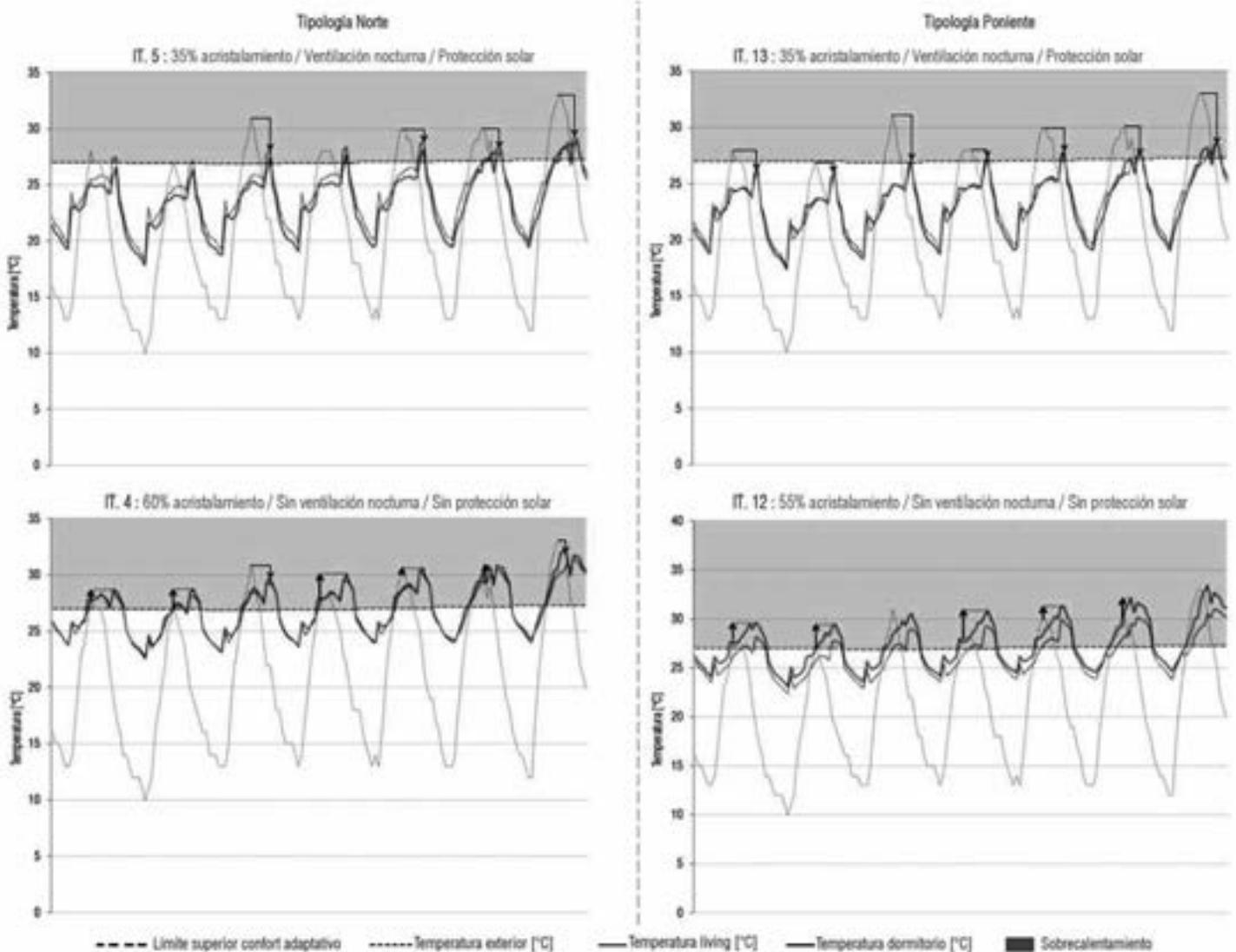


FIG. 08



FIG. 09

calor, sino que también durante sus noches para disminuir la temperatura de los elementos constructivos de inercia térmica que absorben calor durante el día. Con esto se logra, según los resultados obtenidos de los análisis energéticos, disminuir las temperaturas máximas interiores hasta en 5°C y disminuir a una sexta parte las horas de sobrecalentamiento, aumentando así las horas de confort en la vivienda durante el año.

### CONCLUSIONES

Aquellos proyectos inmobiliarios que se declaran como sustentables y que se publicitan como tal, atribuyen esa cualidad exclusivamente a la integración de atributos de eficiencia energética (sistemas activos energéticamente eficientes y materiales de mayor estándar), utilizándolos principalmente como elementos de marketing y no como una solución sistémica a aquellos temas relacionados con el confort en el ambiente de una vivienda en altura, sobre todo al momento de evitar el sobrecalentamiento (FIG. 09). Ante este escenario, se podría deducir que el concepto de sustentabilidad en el mundo inmobiliario sólo se vincula con temas de ahorro de energía y de dinero para el potencial cliente, dejando en un plano aparte el diseño pasivo, contextualizado y que se hace cargo del confort ambiental de las viviendas durante todas las estaciones del año.

En el análisis comparativo entre un proyecto inmobiliario declarado como sustentable y otro que no se declara como tal, se concluye que por parte del mundo inmobiliario no existe la intención de desarrollar una propuesta espacial que otorgue

cualidades sustentables concretas al proyecto, respondiendo al contexto climático. Sumado a esto, del análisis comparativo se extraen y analizan una serie de factores que inciden el comportamiento térmico de una vivienda, como el porcentaje de acristalamiento diferenciado, protección solar apropiada y la presencia de espacios mediadores debidamente acondicionados; es decir, dimensiones, elementos y espacios determinados por aquello que hasta el momento no ha considerado la oferta inmobiliaria: la orientación.

En la segunda parte de la investigación se hace referencia a los espacios propios de la arquitectura de climas mediterráneos, los cuales a través de sus dimensiones, materialidades, orientación y elementos que la conforman, logran amortiguar o evitar ciertas condiciones ambientales desfavorables para vivienda. De esta manera, se propone integrar estos espacios de control ambiental a la vivienda en altura de la zona central de Chile para otorgar un ambiente más confortable durante el año y evitar el sobrecalentamiento en períodos de calor.

En términos proyectuales, la principal estrategia espacial de control ambiental utilizada para vivienda en altura es el patio mediterráneo, integrado tanto en el edificio como en cada departamento, lo que permite que mejore la operabilidad, iluminación y ventilación natural de las viviendas. Además, el proyecto en sí se propone como una serie de espacialidades de control ambiental que permiten una transición entre el exterior y el interior, en donde el usuario va experimentando cambios paulatinos del clima, logrando una sensación de confort y adaptabilidad espontánea ante su entorno.

Los espacios de control ambiental, en especial el patio mediterráneo, no sólo tienen la capacidad de controlar las condiciones adversas del clima exterior, sino que también contienen al usuario y sus actividades, convirtiéndose así en un lugar que se presta tanto para la contemplación y la reflexión, como para el esparcimiento, la celebración y el juego. Es decir, si bien el proyecto integra las estrategias espaciales de control ambiental de la zona central por un tema de control climático, también busca rescatar las actividades y la vida generada en torno a ellos – lo cual se perdió de cierto modo cuando la vivienda comenzó a crecer de manera vertical.

En términos de confort ambiental, la investigación aborda el tema de la integración del hormigón a un sistema constructivo en madera como una estrategia para compensar la falta de inercia térmica de este material, lo cual ayuda a amortiguar las oscilaciones térmicas propias de los climas mediterráneos. Además, según los resultados obtenidos de las iteraciones realizadas en el modelo energético, es necesaria la ventilación nocturna para que el efecto amortiguador de la masa térmica actúe de mejor manera, disminuyendo las temperaturas máximas de un interior hasta en 5°C en días de altas temperaturas.

Sumado a lo anterior, se concluye que, si bien un espacio de control ambiental sirve para mejorar el asoleamiento, la ventilación natural y la sensación de confort del usuario, se hace necesario incorporar estrategias como ventilación nocturna y protección solar para incrementar los efectos beneficiosos de este espacio en los meses de calor. De esta manera, se logra disminuir a una sexta parte la cantidad de

horas de sobrecalentamiento del departamento en comparación con una vivienda que no posee estas estrategias, pasando de 1.500 horas de sobrecalentamiento a sólo 234, equivalente a pasar de 60 días a 10 días de sobrecalentamiento durante el período de calor.

Como reflexión final, se hace pertinente abordar el contexto en donde se emplaza el proyecto, no desde el punto de vista climático, sino normativo. Si bien los espacios de control ambiental son una estrategia efectiva para otorgar un ambiente confortable durante el año, ésta no sería posible de aplicar a un proyecto de vivienda en altura si la normativa del lugar no otorgara la posibilidad de construir un volumen con una serie de vacíos. Es decir, la normativa de la comuna de Providencia – donde se emplaza el proyecto – posee zonas de baja constructibilidad/densidad y de altura medianamente alta, lo que facilita llevar a cabo estas estrategias proyectuales de la mano de los intereses del mercado inmobiliario. Sin embargo, es indudable que aplicar este tipo de estrategias espaciales en lugares donde la normativa incentiva una construcción muy densa se vuelve una tarea muy compleja. Por eso, no sólo es importante el conocimiento de las estrategias espaciales de control ambiental y de diseño pasivo por parte de las personas que diseñen, sino que también se vuelve crucial indagar en esta problemática con medidas y propuestas que puedan traducirse en normas que complementen la ordenanza de construcción e incentiven al sector inmobiliario a reducir la alta densidad constructiva en pos de liberar espacios para el mejoramiento del ambiente o a integrar sistemas activos que efectivamente reduzcan el consumo energético del edificio, a cambio de beneficios en otros requerimientos normativos u otras facilidades reglamentarias.

## NOTAS

**1** Ambos proyectos son comparables debido a que tienen un público objetivo común y rangos de precio UF/m<sup>2</sup> similares.

**2** Medida de dispersión usada en estadística que indica cuánto tienden a alejarse los valores concretos del promedio en una distribución de datos. Se calcula como la raíz cuadrada de la varianza.

## REFERENCIAS

AENOR. "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 [EN-15251]". Último acceso: agosto de 2016. <http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0041732#.Wvk1RX8h2po>

BLASER, Werner. *Patios: 5000 años de evolución desde la antigüedad hasta nuestros días*. Barcelona, Gustavo Gili, 1997.

BUSTAMANTE, Waldo. "Estudio sobre rangos de confort térmico y riesgo de sobrecalentamiento en el contexto de la aplicación de nuevos estándares de desempeño térmico en viviendas". Santiago, MINVU, 2015.

CAAMAÑO, J.; DELUCCHI, C.; PAZ, M.; POBLETE, D.; SUÁREZ, N. "Análisis oferta inmobiliaria Providencia de marzo 2016". Presentación Magíster, Pontificia Universidad Católica de Chile, 2016.

CNE. Anuario estadístico de energía 2005-2015. Santiago: CNE, 2016.

ENCINAS, Felipe. "Probabilistic Analysis of Passive Cooling Strategies and Occupant Behaviour for improving the summer comfort conditions in apartments of the Santiago real estate market". Tesis Doctorado, Université Catholique de Louvain, 2012.

HUI, Sam, y Jie JIANG. "Assessment of thermal comfort in transitional spaces". En *Proceedings of the Joint Symposium 2014: Change in Building Services for Future*. Hong Kong: University of Hong Kong, 2014.

INE. Edificación, informe anual 2014. Santiago, INE, 2015.

KAPSTEIN, Glenda. *Espacios intermedios*. Santiago, Ediciones ARQ, 1990.

MINVU. "Estrategia nacional de construcción sustentable". Santiago: MINVU, 2014.

MÜLLER, Norman. "Tectónica-online". Último acceso: abril de 2016. <http://www.tectonica-online.com/proyectos/edificio-oficinas-dornbirn-austria-hermann-kaufmann-zt/41t70/>

#### IMÁGENES

**FIG. 01** Publicidad de atributos sustentables. Aviso Inmobiliaria Ralei.

Fuente: Suplemento "Vivienda y Decoración", *El Mercurio* (2015): 75

**FIG. 02** Esquemas comparativos de proyectos inmobiliarios.

Fuente: Elaboración propia

**FIG. 03** Plantas.

Fuente: Elaboración propia

**FIG. 04** Corte.

Fuente: Elaboración propia

**FIG. 05** Detalle constructivo unión de paneles.

Fuente: Elaboración propia

**FIG. 06** Gráfico de horas sobre el rango de confort (sobrecalentamiento).

Fuente: Elaboración propia

**FIG. 07** Gráfico promedio horas de sobrecalentamiento.

Fuente: Elaboración propia

**FIG. 08** Gráfico de temperaturas semana de enero.

Fuente: Elaboración propia

**FIG. 09** Fotomontaje patio central edificio.

Fuente: Elaboración propia

#### Tabla 1

Análisis de desempeño energéticamente del espacio de control ambiental.

Fuente: Elaboración propia

#### Tabla 2

Análisis de sobrecalentamiento y demandas de calefacción

Fuente: Elaboración propia