



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA  
FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO  
DOCTORADO EN ARQUITECTURA Y URBANISMO

*TESIS DOCTORAL*

**SUSTENTABILIDAD DE EDIFICIOS EN ALTURA EN CIUDADES-OASIS.  
CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS Y AMBIENTALES PARA EL CASO  
DE LA CIUDAD DE MENDOZA.**

ARQ. JULIETA BALTER

DIRECTOR: DRA. CAROLINA GANEM

CO-DIRECTOR: DR. CARLOS DISCOLI

## **Agradecimientos**

*A mis padres, por el amor y apoyo brindado, porque los adoro y me enorgullezco de ellos.*

*A mi Directora de tesis, Dra. Carolina Ganem y a mi Co-director de tesis, Dr. Carlos Discoli. A ambos, por el respaldo incondicional profesional y de enorme calidad humana.*

*A mi Co-directora de beca de Posgrado de CONICET, Arq. María Alicia Cantón, por ser un pilar fundamental en la base de esta formación.*

*Al Dr. Alfredo Esteves, por ser quien me trajo hasta aquí y por brindarme en todo momento su experiencia a nivel científico y afectivo.*

*A los integrantes del Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda. En especial a la Dra. María Victoria Mercado y el Dr. Gustavo Barea, por el apoyo desde lo académico y lo personal.*

*A mis compañeros de la sala de becarios 4 del CCT- Mendoza, con quienes transitamos caminos similares y a quienes agradezco tanto.*

*A mis amigas, amigos, hermanos de la vida. Gracias por estar y acompañarme siempre, cada uno desde su lugar.*

## RESUMEN

En la ciudad de Mendoza -clima árido, templado continental - el modelo urbano, concebido como ciudad-oasis, cuenta con una estructura en damero acompañado por una trama de árboles y un sistema de riego (acequias) que bordea el perímetro de las manzanas. Es así que la ciudad define desde el punto de vista ambiental dos estratos: por un lado la situación bajo la copa de los árboles, en la cual se produce un micro-clima que beneficia a las edificaciones de baja altura (3 – 4 niveles). Por otro lado, fuera del estrato acondicionado por la arboleda, las edificaciones están expuestas directamente al clima de la región.

Se entiende entonces que la respuesta arquitectónica no puede ser la misma bajo y sobre la copa de los árboles, debido a que los recursos naturales disponibles en cada estrato difieren entre sí. Se parte de la necesidad de atender a la diferenciación en altura que marca el contexto de Ciudad-oasis. De este modo surge el principal interrogante basado en la relevancia de un tratamiento específico de envolvente en relación a las condicionantes particulares que presenta su entorno mediato, en función de obtener resultados que tiendan a la habitabilidad y a un lenguaje arquitectónico homogéneo.

Se analizan las características del contexto ambiental y edilicio, profundizando en los aspectos legales (normativas de edificación) que han significado, junto a los avances tecnológicos, un límite en las alturas edilicias.

A partir de la identificación de envolventes representativas se seleccionan casos de estudio de unidades de vivienda bajo y sobre el estrato arbóreo. Se realizan auditorías termo-energéticas en edificios en altura de tecnología de envolvente másicas y livianas, complementadas con entrevistas de percepción subjetivas en relación al uso y ocupación de los espacios. Las mediciones se emplean para ajustar y validar modelos de simulación a los efectos de obtener instrumentos sistemáticos que permitan analizar distintas posibilidades teniendo en cuenta variables morfológicas y de materialidad. Las consideraciones de diseño edilicio logradas permiten disminuir en forma considerable los consumos energéticos actuales y los impactos ambientales. De esta manera se contribuye a mejorar la calidad de vida de los habitantes mediante la optimización de la relación entre el hombre, la arquitectura y su entorno.

Se pretende aportar conocimientos a nivel arquitectónico, reflejados en pautas de diseño morfológicas y de materialidad, para nuevas construcciones que contribuyan a un mayor grado de sustentabilidad de edificios en altura en ciudades de clima árido continental, con características de oasis.

## ÍNDICE

### Capítulo I

|                                                                                                          |          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| <b>I. PRESENTACIÓN DEL TEMA.....</b>                                                                     | <b>1</b> |
| I.1. Justificación del tema.....                                                                         | 2        |
| I.1.1. Crisis energética mundial, nacional y provincial .....                                            | 2        |
| I.1.2. Aproximaciones sobre el concepto de Arquitectura sustentable.....                                 | 4        |
| I.2. Introducción a la problemática planteada .....                                                      | 9        |
| I.2.1. Edificios en altura sustentables, un desafío actual .....                                         | 9        |
| I.2.2. La relación entre los edificios en altura y la ciudad .....                                       | 14       |
| I.2.2.1. El edificio en altura en ciudades en vías de desarrollo<br>¿la única alternativa posible? ..... | 16       |
| I.3. Acercamiento al contexto de análisis: Mendoza, “Ciudad-oasis” .....                                 | 18       |
| I.4. Hipótesis.....                                                                                      | 21       |
| I.5. Objetivos .....                                                                                     | 22       |
| I.5.1. Objetivos generales.....                                                                          | 22       |
| I.5.2. Objetivos particulares .....                                                                      | 22       |
| I.6. Planteo metodológico .....                                                                          | 23       |
| I.6.1. Criterios epistemológicos y metodológicos .....                                                   | 23       |
| I.6.2. Clasificación de las principales variables involucrados en la temática propuesta.....             | 24       |
| I.6.3. Estructura de la investigación .....                                                              | 26       |
| I.7. Referencias al Capítulo I.....                                                                      | 29       |

### Capítulo II

|                                                         |           |
|---------------------------------------------------------|-----------|
| <b>II. MENDOZA: CONTEXTO AMBIENTAL Y EDIFICIO .....</b> | <b>32</b> |
| II.1. Contexto geográfico .....                         | 33        |
| II.2. Contexto climático .....                          | 34        |
| II.3. Confort ambiental .....                           | 39        |
| II.3.1. Confort térmico en Mendoza.....                 | 45        |
| II.3.2. Confort adaptativo en Mendoza .....             | 46        |
| II.4. Contexto edilicio.....                            | 48        |

|                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| II.4.1. Inicios de la edificación en altura en la ciudad .....                         | 48 |
| II.4.2. La convivencia de los edificios en altura y la ciudad hacia el siglo XXI ..... | 51 |
| II.5. Reflexiones al capítulo II.....                                                  | 54 |
| II.6. Referencias al Capítulo II .....                                                 | 56 |

### *Capítulo III*

|                                                                                                              |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>III. CONTEXTO NORMATIVO EN RELACIÓN A LA EDIFICACIÓN EN ALTURA.....</b>                                   | <b>58</b> |
| III.1. Orígenes de las reglamentaciones edilicias en la ciudad de Mendoza .....                              | 59        |
| III.2. Morfología, materialidad y tendencias arquitectónicas según los<br>Códigos de Edificación .....       | 60        |
| III.2.1. Primer Reglamento Municipal de Construcciones (1902) .....                                          | 60        |
| III.2.1.1. Antecedentes .....                                                                                | 60        |
| III.2.1.2. Retiros y Alturas .....                                                                           | 61        |
| III.2.1.3. Arquitectura resultante: morfología, materialización<br>y tendencias arquitectónicas .....        | 62        |
| III.2.2. Reglamento General de Construcciones (1927) .....                                                   | 65        |
| III.2.2.1. Antecedentes .....                                                                                | 65        |
| III.2.2.2. Retiros y alturas.....                                                                            | 66        |
| III.2.2.3. Arquitectura resultante: morfología, materialización<br>y tendencias arquitectónicas .....        | 66        |
| III.2.3. Normas antisísmicas (1944) y Reglamentaciones referidas a la<br>morfología urbana (1948-1952) ..... | 68        |
| III.2.3.1. Antecedentes .....                                                                                | 68        |
| III.2.3.2. Retiros y Alturas .....                                                                           | 70        |
| III.2.3.3. Arquitectura resultante: morfología, materialización<br>y tendencias arquitectónicas .....        | 71        |
| III.2.4. Código de edificación (1970-2010) .....                                                             | 74        |
| III.2.4.1. Antecedentes .....                                                                                | 74        |
| III.2.4.2. Retiros y Alturas .....                                                                           | 76        |
| III.2.4.3. Arquitectura resultante: morfología, materialización<br>y tendencias arquitectónicas .....        | 80        |
| III.2.5. Actualización del Código: El Código de Edificación como<br>instrumento de Ordenamiento .....        | 83        |
| III.2.5.1. Antecedentes .....                                                                                | 83        |

|                                                                                                 |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| III.2.5.2. Retiros y alturas.....                                                               | 85 |
| III.2.5.3. Arquitectura resultante: morfología, tecnología<br>y tendencias arquitectónicas..... | 89 |
| III.3. Reflexiones del capítulo III .....                                                       | 91 |
| III.4. Referencias al capítulo III .....                                                        | 93 |

#### *Capítulo IV*

|                                                                                     |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>IV. DIAGNÓSTICO DE CASOS .....</b>                                               | <b>94</b> |
| IV.1. Clasificación y selección de las escalas de interacción .....                 | 95        |
| IV.1.1. Escala I: Entorno .....                                                     | 95        |
| IV.1.2. Escala II: Edificios en altura.....                                         | 97        |
| IV.1.2.1. Altura: Relación con la vegetación urbana .....                           | 97        |
| IV.1.2.2. Clasificación morfológica .....                                           | 98        |
| IV.1.2.3. Clasificación de materialidad de envolvente .....                         | 101       |
| IV.1.3. Escala III: Unidad de vivienda .....                                        | 104       |
| IV.1.3.1. Posición relativa de la unidad en el edificio.....                        | 104       |
| IV.1.3.2. Orientación .....                                                         | 105       |
| IV.2. Selección y presentación de los casos de estudio .....                        | 108       |
| IV.2.1. Edificio másico – M.....                                                    | 109       |
| IV.2.2. Edificio liviano – L.....                                                   | 112       |
| IV.2.3. Unidades de vivienda.....                                                   | 114       |
| IV.2.3.1. Análisis de masividad, morfología y posibilidades energéticas .....       | 116       |
| IV.3. Análisis termo-energético y valoración de uso.....                            | 120       |
| IV.3.1. Metodología.....                                                            | 120       |
| IV.3.2. Edificio de imagen másica.....                                              | 126       |
| IV.3.2.1. Vivienda Bajo la copa de los árboles_ MB .....                            | 127       |
| IV.3.2.1.1. Comportamiento térmico exterior e interior .....                        | 127       |
| IV.3.2.1.2. Auditorías energéticas .....                                            | 131       |
| IV.3.2.1.3. Valoración de uso, ocupación de los casos y percepción de confort ..... | 132       |
| IV.3.2.2. Vivienda Sobre la copa de los árboles_ MS .....                           | 133       |
| IV.3.2.2.1. Comportamiento térmico exterior e interior .....                        | 133       |
| IV.3.2.2.2. Auditorías energéticas .....                                            | 137       |
| IV.3.2.2.3. Valoración de uso, ocupación de los casos y percepción de confort ..... | 138       |

|                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| IV.3.3. Edificio de imagen liviana .....                                                            | 139 |
| IV.3.3.1. Vivienda Bajo la copa de los árboles_ LB .....                                            | 140 |
| IV.3.3.1.1. Comportamiento térmico exterior e interior .....                                        | 140 |
| IV.3.3.1.2. Auditorías energéticas .....                                                            | 144 |
| IV.3.3.1.3. Valoración de uso, ocupación de los casos y percepción de confort .....                 | 145 |
| IV.3.3.2. Vivienda Sobre la copa de los árboles_ LS .....                                           | 146 |
| IV.3.3.2.1. Comportamiento térmico exterior e interior .....                                        | 146 |
| IV.3.3.2.2. Auditorías energéticas .....                                                            | 150 |
| IV.3.3.2.2. Valoración de uso, ocupación de los casos y percepción de confort .....                 | 151 |
| IV.3.4. Diagnóstico comparativo de casos en estudio en relación<br>a la influencia del usuario..... | 152 |
| IV.3.4.1. Altura.....                                                                               | 152 |
| IV.3.4.2. Materialidad.....                                                                         | 154 |
| IV.4. Reflexiones del Capítulo IV .....                                                             | 158 |
| IV.5. Referencias al Capítulo IV .....                                                              | 160 |

## *Capítulo V*

|                                                                                  |            |
|----------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>V. EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE DISEÑO Y MATERIALIDAD.....</b>                  | <b>162</b> |
| V.1. Metodología.....                                                            | 164        |
| V.1.1. Software de Simulación termo-energética de validación en laboratorio..... | 167        |
| V.1.1. Ajuste de los modelos contemplando la incidencia del usuario.....         | 169        |
| V.2. Comparación de casos sin la incidencia del usuario .....                    | 173        |
| V.2.1. Orientación .....                                                         | 173        |
| V.2.2. Altura .....                                                              | 175        |
| V.2.3. Materialidad.....                                                         | 177        |
| V.3. Análisis y evaluación de propuestas .....                                   | 179        |
| V.3.1. Materialidad.....                                                         | 179        |
| V.3.1.1. Materialidad opaca .....                                                | 184        |
| V.3.1.2. Materiales transparentes o translúcidos .....                           | 186        |
| V.3.2. Comparación de viviendas existentes y mejoradas.....                      | 190        |
| V.3.2.1. Edificio másico .....                                                   | 190        |
| V.3.2.2. Edificio liviano .....                                                  | 193        |

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| V.4.1. Altura .....                          | 199 |
| V.4.2. Materialidad.....                     | 204 |
| V.4.3.Estrategias de control climático ..... | 206 |
| V.4.3.1. Elementos de control solar .....    | 207 |
| V.4.3.1.1. Edificios másicos .....           | 212 |
| V.4.3.1.2. Edificios livianos .....          | 213 |
| V.4.3.2.Ventilación natural.....             | 215 |
| V.4.3.2.1. Edificios másicos y livianos..... | 216 |
| V.4.3.3. Ganancia solar pasiva.....          | 218 |
| V.4.3.3.1. Edificio másico .....             | 219 |
| V.4. Reflexiones del Capítulo V .....        | 221 |
| V.5. Referencias al Capitulo V .....         | 225 |

## *Capítulo VI*

|                                                                        |            |
|------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>VI. CONCLUSIONES .....</b>                                          | <b>227</b> |
| VI.1. CONCLUSIONES .....                                               | 228        |
| VI.1.1. Morfología .....                                               | 229        |
| VI.1.2. Materialidad.....                                              | 231        |
| VI.1.3. Pautas para la construcción de nuevos edificios en altura..... | 234        |
| VI.2. PROSPECTIVA .....                                                | 238        |

## ANEXOS EN CD

|                                                                                                    |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>ANEXO 1</i> .....                                                                               | 239 |
| <b>A1. Mendoza como Ciudad-Oasis: antecedentes históricos de los factores que la conforman</b> .   | 240 |
| A1.1. La trama urbana y las acequias en la Ciudad .....                                            | 240 |
| A1.2. Los árboles en la Ciudad .....                                                               | 246 |
| A1.3. La arquitectura en la Ciudad .....                                                           | 250 |
| A1.3.1. De la época colonial hasta mediados del siglo XX .....                                     | 250 |
| A1.4. Referencias .....                                                                            | 255 |
| <br><i>ANEXO 2</i> .....                                                                           | 256 |
| <b>A2. Imágenes de los edificios en altura residenciales existentes en la Zona Central 2</b> ..... | 257 |
| A2.1. Tipología 1 _ Torre sin retiros .....                                                        | 257 |
| A2.2. Tipología 2 _ Torre retirada.....                                                            | 260 |
| A2.3. Tipología 3 _ Basamento y Torre.....                                                         | 262 |
| <br><i>ANEXO 3</i>                                                                                 |     |
| <b>A.3. Mediciones completas de los casos en estudio</b> ..... en <i>Excel</i> en CD               |     |
| <br><i>ANEXO 4</i> .....                                                                           | 265 |
| <b>A4. Guía modelo de entrevistas abiertas semi-estructuradas realizadas a los usuarios</b> .....  | 266 |
| A4.1. Habitabilidad y confort térmico en verano e invierno .....                                   | 266 |
| <br><i>ANEXO 5</i>                                                                                 |     |
| <b>A.5. Archivos climáticos</b> ..... en <i>Excel</i> en CD                                        |     |

|                                                                    |              |
|--------------------------------------------------------------------|--------------|
| <i>ANEXO 6</i> .....                                               | 268          |
| <b>A6. Modelos validados en Energy Plus</b> .....                  | 269          |
| A6.1. EDIFICIO MÁSSICO.....                                        | 269          |
| A6.2. EDIFICIO LIVIANO .....                                       | 270          |
| <br><i>ANEXO 7</i> .....                                           | <br>272      |
| <b>A7. Materialidad opaca en el edificio liviano</b> .....         | 273          |
| <br><i>ANEXO 8</i>                                                 |              |
| <b>A.8. Publicaciones relacionadas con la Tesis Doctoral</b> ..... | en PDF en CD |

## **I. PRESENTACIÓN DEL TEMA**

## I.1. JUSTIFICACIÓN DEL TEMA

### I.1.1. CRISIS ENERGÉTICA MUNDIAL, NACIONAL Y PROVINCIAL

Los desequilibrios en el ecosistema del planeta, incrementados a mediados del siglo XX, involucran actualmente a diferentes sectores preocupados por el medioambiente. Los problemas radican en el desabastecimiento de los recursos energéticos no renovables y en el alto riesgo de contaminación generado por la producción de esta energía.

*“El origen del principal problema que tiene la Humanidad -su propia supervivencia- está en las modificaciones físicas, químicas y biológicas que el propio ser humano origina en su entorno natural. El causante más significativo de esas modificaciones es el sistema energético. Y dentro de él, las combustiones de sustancias con carbono en su composición, es decir, de carbón, petróleo y gas natural” (Ruiz Hernández, 2007).*

Para satisfacer las necesidades energéticas en las sociedades modernas se queman combustibles fósiles liberando cada año billones de toneladas de contaminantes a la atmósfera, particularmente CO<sub>2</sub>, siendo el sector edilicio uno de los mayores responsables de tales emisiones. Los edificios, devoradores de energía, con diseños que están fuera de un contexto sustentable del desarrollo, serían la causa de gran parte del deterioro ambiental (Filippín, 2005). Asimismo, el incremento de la demanda de energía hace que cada vez resulte más necesaria la implementación de medidas para disminuir los consumos energéticos y las emisiones de carbono, con el fin de atenuar el impacto ambiental.

A nivel país, la creciente demanda energética ha generado conflictos entre los diferentes sectores (por ejemplo, demandas entre los sectores residencial e industrial). Resultados de investigaciones realizadas por la Universidad Nacional de Cuyo (Barón, 2008), expresan que la energía utilizada por los edificios para construcción y operación resulta del 43,5% del total de la Argentina. Dicha situación llega a una situación crítica en las estaciones climáticas extremas. En 2010 las altas temperaturas de diciembre llevaron a marcar el mayor consumo de energía eléctrica de la historia del país, con una demanda del 12,2% por encima del nivel registrado en el mismo mes del año anterior. La demanda neta total del Mercado Eléctrico Mayorista (MEM) fue de 10.125,7GWh, mientras que en diciembre del 2009 había sido de 9.023,6GWh (Diario Uno, 2011).

Respecto al primer trimestre del año 2012 la demanda de energía cerró con una suba del consumo de energía del 6,3% respecto del mismo período de 2011, y en Mayo del 2014 el incremento fue del 1,7% en relación al año anterior (FUNDELEC, 2014).

A nivel provincial, el incremento anual del consumo de energía eléctrica en Mendoza fue del 4% en el 2014, y el sector residencial fue el que experimentó el mayor aumento respecto al resto de las categorías de usuarios, del orden del 0,8% (DEIE, 2009).

El avance progresivo y palmario del consumo para mantener situaciones de confort y su consecuente demanda energética, profundizan dicha crisis a nivel local. Tal situación deriva en el problema de la sustentabilidad energético-ambiental, tanto en el medio urbano como en el edilicio.

No obstante, en el ámbito de la arquitectura, se conocen ya una serie de tecnologías sustentables entre las cuales se pueden citar: mejoramiento del aislamiento térmico de la envolvente, estrategias pasivas de acondicionamiento ambiental para verano e invierno, uso de la vegetación como moderador térmico, iluminación natural, sistemas solares activos para calefacción y calentamiento de agua, sistemas eficientes de aprovechamiento de energía eléctrica para iluminación y artefactos, etc. Todas estas medidas pueden disminuir significativamente los requerimientos energéticos de cada uno de los edificios que se diseñan, de tal modo que los consumos que serán inevitables estén reducidos al mínimo. De este modo el impacto ambiental del edificio se reduce también a un mínimo.

En muy pocos casos dichas estrategias se incorporan desde el inicio del proyecto de un nuevo edificio o de una re-funcionalización. Por este motivo en el 2007 la Agencia Internacional de la Energía (IEA) reforzó la necesidad de integrar el concepto de sustentabilidad en el hábitat a partir de la recomendación que hizo a los líderes del G8 de adoptar una serie de medidas en relación con: (1) los códigos edilicios para edificios nuevos, (2) los edificios energéticamente eficientes y (3) los edificios existentes (Ellis, 2008). Tres aspectos que se abordan en la presente propuesta de investigación.

Las normativas técnicas de acondicionamiento térmico, tanto a nivel nacional como internacional, se encuentran en permanente proceso de ajuste adecuándose a los avances en el conocimiento en relación a diferentes aspectos: el confort humano, los principios físicos de intercambio de calor

y humedad, las nuevas técnicas constructivas, materiales, y la concientización de los usuarios sobre la necesidad de reducir sustancialmente los consumos energéticos en la edificación sin detrimento de la calidad ambiental de los espacios interiores.

Ejemplo a citar en Argentina es el de la ley de la Provincia de Buenos Aires, que empieza a exigir el cumplimiento de la norma IRAM en todos los emprendimientos edilicios, con el objetivo de establecer las condiciones de acondicionamiento térmico exigibles en la construcción de los edificios, para contribuir a una mejor calidad de vida de la población y a la disminución del impacto ambiental a través del uso racional de la energía (Ley 1359, 2003).

Por otro lado, a partir del Decreto 140/2007 se declara de interés y prioridad nacional el uso racional y eficiente de la energía, teniendo en cuenta que, en su mayoría, la misma proviene de recursos naturales no renovables.

Sin embargo, si no se toman medidas que incentiven el ahorro energético y el aprovechamiento de las energías renovables, es posible que los consumos para climatización continúen incrementándose debido a la baja en los precios de los equipos de acondicionamiento mecánico y a los costos todavía accesibles de la energía (en Mendoza alrededor de USD 0,05 por kWh).

### **I.1.2. APROXIMACIONES SOBRE EL CONCEPTO DE ARQUITECTURA SUSTENTABLE**

En este marco en el que la crisis energética comienza a tomar importantes dimensiones, nace la idea de sustentabilidad -o sostenibilidad<sup>1</sup>-, inicialmente asociada a temas netamente ecológicos, e incorporando luego la dimensión ambiental, la cual incluye criterios económicos, sociales y culturales.

En el ámbito de la arquitectura, la sustentabilidad ha sido un tema ampliamente estudiado en los últimos años. Resulta importante enunciar a qué nos referimos en cuanto a este concepto.

---

<sup>1</sup>El término sostenible comienza a ser utilizado en la década del 70 luego de la Conferencia de Cooyoc sobre Medio Ambiente y Desarrollo (México, 1974) y toma fuerza al editarse el Informe “Nuestro Futuro Común”, redactado por la Comisión Mundial sobre Medio Ambiente (CMMAD, 1987). Posteriormente, ha sido utilizado por autores latinoamericanos adaptándolo a su lengua con el término sustentable.

Sintéticamente puede entenderse como el conjunto de soluciones a nivel de proyecto capaz de crear un nivel de habitabilidad necesario en un edificio determinado y en un lugar definido con un mínimo de equipamiento, minimizando así la utilización de energías no renovables. También se refiere a edificios, que desde su construcción hasta su uso permanente en el tiempo, se desarrollen en armonía con el contexto y los recursos naturales, generando el menor impacto ambiental y el menor gasto energético posible, es decir que resulte eficiente en este aspecto.

De igual forma, el adjetivo “medioambiental” resulta adecuado para definir a la arquitectura sustentable, dado que esta debe incorporar en el proyecto arquitectónico una correcta gestión de recursos, es decir, cuando puede considerarse una arquitectura eficiente en toda la amplitud posible del término y cierre todos y cada uno de los ciclos materiales implicados en su construcción, uso y posterior destrucción.

Asimismo, los edificios deben ser diseñados de modo que sean capaces, mediante sus características morfológicas, dimensionales y termo-físicas de mantener en su interior la condiciones de confort a pesar de las circunstancias medioambientales exteriores, situación que varían según el lugar geográfico, y según la estacionalidad, es decir la época del año y el tiempo. Para esto resulta necesario tener un conocimiento preciso de las características climáticas del sitio, tales como temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, heliofanía, amplitud térmica, velocidad del viento; así como sus incidencias en la habitabilidad interior.

En relación a esto, la habitabilidad en arquitectura es lo que asegura las condiciones mínimas de salud y confort dentro de un edificio. *“No existe una razón más profunda, una definición más esencial de la arquitectura que la habitabilidad. Es (como la racionalidad que distingue al hombre dentro del reino animal), lo que determina a la arquitectura y lo que la distingue de todas las otras bellas artes en el mundo de la cultura”* (López de Asiain, 2010).

En el sector académico, el estudio de los recursos que se pueden utilizar desde el diseño para lograr una arquitectura ambientalmente consiente se incrementan a partir de la crisis energética mundial de los 70. Esta promueve el avance de estudios sobre arquitectura solar. Autores como Olgyay, Givoni, Balcomb, Hoffman, Mazria, Szkolay, publican escritos de la relación entre el diseño arquitectónico, el confort humano y las condiciones climáticas del lugar. Luego, llegando la década del 80 se comienza a hablar de arquitectura bioclimática y arquitectura ambiental.

Sin embargo, todos estos conceptos de arquitectura bioclimática, ambiental o sustentable, desarrollados e investigados profundamente en los últimos treinta años, lejos de ser conceptos teóricos surgían antiguamente del sentido común y se han llevado a cabo a lo largo de la historia de la arquitectura. Remontándonos a varios siglos antes de Cristo, el desarrollo de la construcción se ha basado en la utilización de los materiales que se encuentran disponibles en el entorno, así como también ha existido la preocupación por lograr cierto grado de confort y habitabilidad en las edificaciones.

Se encuentran ejemplos de esto en la arquitectura vernácula, en la cual se utilizan recursos de la naturaleza para la supervivencia, logrando condiciones de habitabilidad. A través de los siglos, en la arquitectura vernácula, la piel del edificio ha sido optimizada en relación con regiones y climas específicos (Coch Roura, 1998). El nivel de temperatura y la disponibilidad de radiación solar fueron imprescindibles para determinar la morfología arquitectónica de las formas edilicias tradicionales.

Por ejemplo, al sur de Italia, región mediterránea con características climáticas áridas – temperaturas extremas y niveles pluviométricos bajos- existen dos obras de arquitectura espontánea de inspiración bioclimática (*Figura 1.1*): el “Dammuso” en la isla de Pantellería y el “Trullo” en Apulia, consiguen la necesidad de acondicionamiento en verano exclusivamente a través de la función termorreguladora de los gruesos muros (Gallo, 1998).



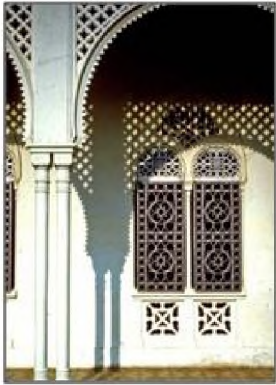
*Figura 1.1.* Imágenes de arquitectura vernácula al sur de Italia

Asimismo, ya en el siglo XIII, Vitruvio (1486) se adelantaba. En su obra “Los diez Libros de Arquitectura”, plantea que los edificios estarán dispuestos adecuadamente si se han tenido en cuenta las orientaciones e inclinaciones del sol en el lugar donde se desea construir. Agrega que

*“los edificios no pueden ser contruidos de la misma manera en Egipto que en España, ni en el Reino del Pont y en Roma”.*

Por otro lado, el nivel de temperatura y la disponibilidad de radiación solar han sido imprescindibles para determinar la morfología arquitectónica de las formas edilicias tradicionales. Es posible distinguir entre arquitectura adaptada para zonas con bajo recurso solar, caracterizada por aventanamientos altos para maximizar la penetración de energía en el edificio; y la arquitectura que responde a una alta radiación incidente que trata de evitar el ingreso de energía a través de ventanas pequeñas y protecciones solares adecuadas, como es el caso de los climas áridos (Bahaj et al, 2008).

En la *Figura 1.2* se presenta una comparación de la resolución tradicional y moderna de ventanas para dos tipos de clima.

| ARQ.         | ZONAS DE ALTO RECURSO SOLAR                                                                                                                     | ZONAS CON BAJO RECURSO SOLAR                                                                                                                             |
|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| T RADICIONAL |  <p>Ventanas protegidas por celosías y galerías</p>           |  <p>Ventanas sin protecciones a la radiación</p>                      |
| MODERNA      |  <p>Ventanas pequeñas con protecciones solares adecuadas</p> |  <p>Aventanamientos altos para maximizar la energía del edificio</p> |

*Figura 1.2. Arquitecturas adaptadas a la temperatura y a la radiación solar disponible a partir de la arquitectura moderna*

Durante el movimiento moderno, arquitectos destacados como Le Corbusier, Walter Gropius, Frank Lloyd Wright, Alvar Aalto y Louis Kahn, entre otros, incorporan en sus trabajos análisis referidos al aprovechamiento solar. En gran parte de sus obras está continuamente presente una atención particular a las soluciones arquitectónicas que aseguren el confort de aquellos que habitarán los espacios.

Le Corbusier, en su proyecto “Chandigar” ubicado en una zona tropical de la India, encuentra los medios para conseguir las mejores condiciones de confort posibles respecto al clima del entorno. De acuerdo con el arquitecto, el confort es el frío, las corrientes de aire, la sombra. Por ello, el sol sólo debe penetrar en horas favorables y en las estaciones adecuadas. Los elementos del problema están dictados inexorablemente por el sol, y por las condiciones que varían de un mes a otro, ya que la temperatura, la humedad y la aridez son todos elementos contradictorios. *“Una pared de cristal, que es muy agradable en París durante diez meses al año, se convierte aquí en enemigo durante las olas de calor”* (Le Corbusier, 1964).

A nivel nacional, ya en la década del '40 en Argentina arquitectos como W. Acosta, E. De Lorenzi, J. Servetti Reeves, J. Borgato y E. Tedesky realizaron importantes aportes en la producción del hábitat sustentable. Contemporáneamente aparecen también manuales sobre la relación entre el clima y la arquitectura. En la década posterior, F. Beretervide, E. Sacriste, A. Williams y E. Tedeschi producen obras o proyectos notables que pueden inscribirse en una orientación “proto-bioclimática”.

Lo cierto es que el concepto de arquitectura sustentable incluye una serie compleja de pensamientos, y esto ha llevado a diversos autores a profundizar en el estudio entre la arquitectura y el clima.

*“Hablar de sustentabilidad en arquitectura implica hablar de forma y materia, de relación entre arte y ciencia, entre poética y construcción, teniendo en cuenta la naturaleza y los procesos que desarrolla”* (Bosch Reig, 2006).

Asimismo, el proceso del diseño de un proyecto arquitectónico se entiende como un sistema organizado con un desarrollo no lineal: las variantes que intervienen en su logro se encuentran vinculadas a una simultaneidad y sincronización de sucesos. La complejidad del sistema, dado por un ir y venir de diversas posturas, opiniones, intereses, decisiones y hasta acciones de poder, definen al proceso en forma de espiral, y dificultan el control en su totalidad.

Sin embargo, la utilización del término sustentable cae muchas veces sólo en un proceso semántico. Algunas obras incorporan términos como “ecológicos” o “reciclables” respondiendo solamente a una calificación que parte de una situación de marketing, sin presentar características sostenibles ni bases de conocimiento sólidas.

Por tal razón es necesario que los aportes que se realizan desde el ámbito científico y académico se transfieran a arquitectos, constructores y usuarios de manera responsable y consiente, teniendo siempre en cuenta la realidad y posibilidades que el contexto ofrece, a fines de mejorar la calidad de habitabilidad edilicia y urbana.

Llegado el final del siglo XX aumentaron notablemente los estudios al respecto. Actualmente se habla de que ya no es razonable la práctica de una arquitectura que niegue su entorno más próximo y que no considere el respeto por el medio ambiente.

**La sustentabilidad en la arquitectura ya no es un requisito a cumplir, sino que implica una circunstancia en la cual se integran todos los criterios que se refieren al logro de una arquitectura adecuada.**

## **I.2. INTRODUCCIÓN A LA PROBLEMÁTICA PLANTEADA**

### **I.2.1. EDIFICIOS EN ALTURA SUSTENTABLES, UN DESAFÍO ACTUAL**

La función principal de un edificio es la de proveer un refugio seguro de las inclemencias del clima, independientemente de la región climática en la que esté ubicado. El clima cambia en el interior y en el exterior de los edificios y estos cambios, deseados a veces, molestos otras, exigen de la arquitectura la posibilidad de regulación, de adaptación a las distintas condiciones exteriores (Serra Florensa, 1999). Al respecto, la envolvente -que actúa como el principal moderador energético- es un componente clave para asegurar las condiciones de confort interior.

Sin embargo, la mayoría de las veces, los edificios que se construyen en la actualidad no contemplan el entorno en el que van a ser construidos. Se encuentran arquitecturas similares en climas y geografías muy diversas. Esta situación es característica de los edificios en altura. Es sorprendente que haya, aparentemente, una “única forma edilicia en altura” que repite en distintos lugares y climas una solución unívoca (*Figura I.3*).



*Figura I.3.* Edificios en altura con resoluciones similares de envolvente, en su mayoría transparente en Barcelona, Nueva York, Mendoza y Kuala Lumpur

Esta circunstancia se explica a partir de dos situaciones: por un lado, con la posibilidad creciente desde el siglo XIX de controlar el ambiente interior con la ayuda de la tecnología artificial, la arquitectura orienta su rol principalmente a la imagen, empobreciéndose en sus otras características relacionadas con el logro de confort interior a través del diseño. Esta tendencia se manifiesta en la actualidad en la debilitación de la envolvente tendiente a una simplificación, hasta la mínima expresión y esto, a la vez, conduce a la mayor complejidad de los mecanismos artificiales de control ambiental. Vivimos en un momento en el que la mecanización de nuestro entorno es aceptada como natural (Ganem, 2006).

Y, por el otro lado, debido a que la tipología de edificio en altura se origina en la Escuela de Chicago y continúa su evolución durante el Movimiento Moderno, cuyas búsquedas atendían a encontrar respuestas únicas y válidas para todos los casos.

La inconsistencia de una morfología universal de los edificios en altura se evidencia cuando se analiza el uso de, por ejemplo, la tecnología denominada “*curtain wall*” o muro cortina. Dicha tecnología fue originariamente planteada para un clima frío y húmedo localizado en una latitud elevada correspondiente a la ciudad de Nueva York (40° 41’ LN) y hoy es replicada en forma constante alrededor del mundo desde Kuala Lumpur, Indonesia (clima cálido y húmedo, 3° 08’ LN) hasta Mendoza, Argentina (clima templado y árido, 32° 40’ LS).

Algunos de estos edificios justifican su imagen transparente con el propósito de lograr un alto rendimiento energético mediante la adopción de estrategias y la utilización de métodos en el diseño de edificios inteligentes. A nivel internacional, estudios de construcciones mencionadas como una nueva generación de edificios en altura sustentables, que desafían las prácticas convencionales estructurales y marcan tendencia en materialidad y sistemas inteligentes,

consideran aspectos como la conservación de agua, reducción de residuos y del reciclado de materiales durante la construcción y demolición (Ali et al., 2008). Sin embargo, en ningún momento del análisis se menciona la condición climática del lugar en el que los edificios se emplazan (Londres, Nueva York, Kuala Lumpur), siendo esta característica fundamental para el estudio de los criterios y medidas aplicadas.

Es evidente que para hacer frente a las necesidades de confort en el caso de edificios construidos con tecnologías y recursos no adecuados al clima, es necesario el uso de grandes cantidades de energía auxiliar para acondicionar en forma artificial, y muchas veces casi permanente, el interior de los edificios. Para conseguir tal confort, la sociedad contemporánea necesita un alto consumo energético, por lo tanto el desafío es buscar el desarrollo sustentable manteniendo el nivel de actividad, de transformación y de progreso, pero ajustando las necesidades a los recursos existentes y evitando el derroche energético (Olgyay, 1998).

Por otro lado, el avance y profundización en el estudio de construcciones que tiendan a una armonía con el contexto y generen el menor gasto energético posible, ha derivado en el análisis de temáticas a tener en cuenta en la arquitectura sustentable, tales como la relación entre la arquitectura y la vegetación; y en torno a la materialidad edilicia, la inercia térmica como moderador térmico. Ambos temas se desarrollan sintéticamente a continuación.

- *Relación entre arquitectura y vegetación*

El desafío actual del hábitat sustentable que busca la eficiencia energética edilicia, ha derivado en estudios y proyectos en relación a la unión de arquitectura y vegetación, difundida en una tendencia arquitectónica “verde” o “ecológica”.

A nivel internacional, se encuentran edificaciones en altura que logran esta fusión mediante el uso de fachadas verdes (Nº1 en *Figura 1.4*) que reducen la cantidad de CO2 emitido a la atmósfera y además aíslan y protegen a las construcciones de la radiación.

En Latinoamérica un antecedente es el edificio denominado “Consorcio Nacional de Seguros - Vida” en la ciudad de Santiago de Chile (Nº 2 en *Figura 1.4*), obra del Arq. Enrique Browne. En el mismo se resuelve la dicotomía climática a través de la prolongación vertical de los beneficios micro-climáticos aportados por la vegetación mediante una doble fachada: una interior vidriada de baja emisividad y otra exterior con vegetación. Esta fachada verde reduce la llegada de radiación solar global a la envolvente y prolonga los efectos del microclima bajo la arboleda urbana a toda la altura del edificio.

Por otro lado, existen innovadores proyectos que incorporan el verde de una manera integral con la intención de crear un modelo de densificación vertical de la naturaleza dentro de la ciudad (Figura 1.5).

Sin embargo, el riesgo de estos proyectos radica en que formen parte de una tendencia que responda a una situación meramente de imagen, promovida por un interés comercial, y no a un estudio previo a cerca de los beneficios en el comportamiento interior de los espacios habitables.

Para que esta unión de forma, materialidad y naturaleza resulte adecuada en términos de sustentabilidad, es necesario un estudio profundo de las características ambientales y de flora regionales. La aplicación de esta estrategia debe estar acompañada de un estudio exhaustivo del tipo de vegetación pertinente y de sus posibilidades de mantenimiento durante las distintas necesidades ambientales a lo largo del año.



Figura 1.4. Fachadas verdes en edificios en altura



Figura 1.5. Proyectos residenciales que incorporan vegetación en espacios exteriores en altura (Milán, Italia y Cuajimalpa México)

- *Materialidad edilicia: la inercia térmica como moderador térmico*

Otro aspecto importante en el diseño de un edificio energéticamente eficiente, consiste en controlar las características termo-físicas de la envolvente, como la transmitancia y la inercia térmica.

*“Actualmente la inercia térmica resulta uno de los parámetros más importantes para mejorar el confort interior de los edificios, y para reducir las demandas energéticas de calentamiento y enfriamiento”.* (Balaras, 1996)

Durante muchos años el estudio de las mejoras del comportamiento térmico de la envolvente edilicia ha estado relacionado a mantener los niveles de transmitancia de elementos opacos y transparentes lo más bajo posible. En muchos países desarrollados -e incluso en Argentina con las Normas IRAM-, existen normativas relacionadas al ahorro energético- edilicio que regulan máximos y mínimos de valores de coeficientes de transmitancia en relación a las condiciones climáticas del entorno.

En regiones de climas áridos y templados resultan adecuadas las construcciones con materiales másicos con propiedades de inercia térmica debido a su comportamiento como reguladores térmicos. Sin embargo, estos aspectos deben tener en cuenta los recursos pasivos de la arquitectura bioclimática. El buen uso de la masa térmica está asociado al uso de la energía solar pasiva (Balcomb, 1982).

Distintos estudios reportan diferentes estimaciones en relación a la influencia de las propiedades térmicas de las paredes de los edificios mediante la comparación de diferentes sistemas de construcción (Gregory et al, 2008); y al potencial de energía conservada asociado al uso de una adecuada inercia en los materiales, las cuales van de rangos muy bajos hasta más de un 80%.

Asimismo, otros estudios sobre el tema comparan el comportamiento de paredes con el mismo valor de transmitancia, evaluando la influencia de diferentes espesores y la posición de materiales aislantes (Kossecja y Kosny, 2002; Bojic y Loveday, 1997).

En relación a construcciones en altura en climas tropicales Bojic et al. (2001, 2002, 2005) evalúa el efecto de la inercia térmica en la envolvente de rascacielos pertenecientes a las viviendas públicas típicas en Hong Kong construidas con hormigón. A partir de simulaciones se obtienen reducciones energéticas del 38% mediante la incorporación de inercia (aislación de polietileno de 5 cm). Sin embargo, dependiendo de la orientación y la ubicación de la aislación en los muros puede darse el

caso que como consecuencia se aumente la demanda energética en un 7%, por lo que se sugiere realizar un balance económico de los costos en la aplicación de inercia y los ahorros energéticos generados.

Sin embargo, durante los últimos años el concepto se ha desarrollado, resultando imposible diseñar un edificio energéticamente eficiente usando sólo un valor de transmitancia estipulado, o disminuyendo la transferencia de calor de paredes externas, techo y ventanas, o incrementando el espesor de aislaciones.

Según estudios realizados por Aste et al. (2009) la eficiencia del uso de inercia térmica resulta a partir de dos parámetros: la transmitancia y la admitancia térmica. La influencia de la inercia térmica en las demandas de climatización puede resultar insignificante o relevante, dependiendo de los parámetros operacionales y de diseño elegidos. El rol de la misma resulta importante cuando se acopla con otras medidas de ahorro energético y con uso eficiente y racional del edificio.

### **1.2.2. LA RELACIÓN ENTRE LOS EDIFICIOS EN ALTURA Y LA CIUDAD**

El aumento de densidad en las ciudades de las últimas décadas ha colaborado al incremento del valor del suelo, circunstancia que ha promovido el crecimiento y proliferación en las inversiones para edificios en altura. Sin embargo, muchas veces las presiones por parte del mercado inmobiliario ponen en riesgo el control de la densidad edilicia mediante el cumplimiento de las normativas y códigos de edificación existentes.

El debate en torno a la construcción de edificios en altura en las ciudades es extenso: existen posturas opuestas sustentadas por argumentos sólidos a veces -no tanto otras- por parte de arquitectos, urbanistas, el sector inmobiliario y otros especialistas en la temática. Actualmente, existe una tendencia urbana generalizada en la cual se acepta la construcción de edificios en altura, y aún más: la imagen de los mismos en muchas ciudades comenzó a simbolizar poder y desarrollo.

Según Yeang (1999) la construcción en altura mediante un diseño ambientalmente consiente, es prácticamente la única alternativa posible en términos de sustentabilidad, a partir de la concentración de la construcción y de la utilización de edificios de pequeña huella que reduzcan al máximo el uso del suelo disponible.

*“Las posibilidades de conseguir un programa global para un futuro sostenible, se decidirá, probablemente en las ciudades. Si las previsiones de campo-ciudad resultan correctas el tipo de edificio clave podría muy bien ser el edificio urbano de alta densidad. La evidente consecuencia de semejante comprensión de personas en espacios pequeños es construir hacia arriba, para acomodar a la oleada de habitantes urbanos. (...) independientemente de si estamos a favor o en contra del rascacielos” (Yeang, 1999).*

Según el autor el rascacielos es probablemente el tipo de edificio más difundido de todas las grandes ciudades actuales, y por esta razón el proyecto debe ser ecológico. Plantea que el edificio está ahí para permanecer. No va a desaparecer a menos que se produzcan cambios radicales en las presentes prácticas empresariales (por ejemplo, en el uso extensivo de sistemas de telecomunicación digital), o en el transporte urbano, o que se inviertan las actuales tendencias migratorias del campo a la ciudad.

*“Los rascacielos continuarán construyéndose, por lo menos los próximos 25 años (...) habrá que llegar a algún tipo de acuerdo a cerca de su forma edificada, porque es evidente que va a seguir existiendo” (Yeang, 1999).*

Otras posturas de autores europeos avalan la construcción en altura y el denominado “verticalismo”, basándose en la necesidad de satisfacer los requerimientos posmodernos y globales.

*“En la actualidad el verticalismo - la concepción del espacio y de la ciudad contemporánea en términos verticales-, aún no ha hecho más que empezar. Estamos asistiendo a un apasionante proceso de transformación. Hemos comenzado a pensar la ciudad desde posiciones que sustituyen eficazmente la bidimensionalidad del urbanismo por un nuevo verticalismo. (...) Árboles y rascacielos se alimentan mutuamente, haciendo de su amalgama uno de los verdaderos leitmotivs de la arquitectura contemporánea. Pensar en construcciones verticales es necesariamente pensar en nuevas modalidades de lo público que den satisfacción a las nuevas demandas surgidas de los cambios sociales, culturales y demográficos potenciados por las metrópolis globales” (Ábalos, 2009).*

No obstante, el contexto de países desarrollados y en vías de desarrollo resulta muy diferente, por lo que deberíamos remitirnos a contextos específicos para determinar tendencias.

### I.2.2.1. EL EDIFICIO EN ALTURA EN CIUDADES EN VÍAS DE DESARROLLO ¿LA ÚNICA ALTERNATIVA POSIBLE?

Las estimaciones de cifras de población urbana muestran que las ciudades del mundo se están densificando. Se estima que para el año 2050 la población urbana mundial experimentará un crecimiento del 75% desde el 2012. Sin embargo, las predicciones dicen que el crecimiento futuro de la población urbana del mundo se concentrará en Asia y África, mientras que en Latinoamérica se mantendrá (Naciones Unidas, 2008).

En muchas ciudades de América Latina se carece de planificaciones que contemplen el contexto físico y social, por lo que muchas veces se observan edificios en altura dispuestos aleatoriamente en centros urbanos. Los edificios de gran escala en altura han interrumpido el tejido urbano consolidado, generando impactos físicos, sociales y económicos. Esta situación se agrava en ciudades bajas.

Es por esto que resulta necesario preguntarse si el grado de densidad en las ciudades es suficiente para determinar como consecuencia evidente la necesidad de construcción de edificios en altura, es decir, si el edificio en altura en ciudades en vías de desarrollo es la única alternativa posible.

El desarrollo urbanístico en América en el siglo XX y XXI, fue un proceso acelerado que superó las potencialidades de planificación. Las ciudades han ido creciendo a expensas de la presión de la realidad y los únicos que han planificado ajustadamente sus acciones han sido los especuladores del terreno urbano. Respecto a la imagen de la ciudad, el paisaje urbano entregado al mercado de libre juego de la oferta y la demanda ha demostrado su imposibilidad de obtener otra respuesta que no sea el caos morfológico y el anonimato masificante (Gutiérrez, 1983).

Juan Pérgolis (1998) habla de la relación entre la morfología urbana y las tipologías arquitectónicas, dada a través de tres modelos urbanísticos: la ciudad continua, caracterizada por el uso del espacio público como secuencia articulada de calles y plazas; la ciudad discontinua, basada en la división ciudad-campo, centro-periferia; y la ciudad fragmentada.

Esta última, dada como una tendencia de estructura urbana en las ciudades de Latinoamérica, genera un nuevo lenguaje espacial coherente con los cambios en el modo de vida y en las tipologías arquitectónicas. En la ciudad fragmentada importa el acontecimiento más que el escenario en el que se produce. Se pierde la relación entre morfología urbana y tipología arquitectónica, ya que los nuevos fragmentos –barrios cerrados, centros comerciales, complejos residenciales en altura- son intervenciones tanto urbanas como arquitectónicas. Los interiores

recurren a imágenes de la calle, por lo que el contenido cultural, basado en el simulacro escenográfico de la ciudad tradicional, resulta anacrónico. Una ciudad aséptica, ideal, ficticia, lograda por las formas y no por contenidos.

Es así que muchas de las nuevas construcciones en los centros urbanos, con una imagen imponente y moderna, son seleccionadas por los habitantes por su capacidad simbolizante, es decir por una imagen que refiere a otra y que suscita en la memoria de una determinada experiencia.

*“La ciudad que está desapareciendo reaparece simulada en los interiores, y el urbanismo y la arquitectura se fusionan para que el primero viva en la segunda, parece ser la curiosa paradoja de esta ciudad de fines de siglo XX” (Pérgolis 1998).*

En tal contexto, es necesario evaluar a nivel país, el impacto y las consecuencias que produce el incremento de edificios en altura de perímetro libre. Estos, basados en modelos de Estados Unidos y el norte de Europa, producen variadas modificaciones en los micro-clima urbanos, directamente derivados de la morfología edilicia, en relación con la densidad y forma de la masa edificada, afectando la escala de la ciudad y los sectores micro-urbanos. Algunas de las implicancias tienen que ver con la disminución de la radiación en las superficies expuestas de las construcciones bajas, con el posible cambio de las condiciones de espacios verdes y abiertos por causa de las sombras arrojadas, y con la modificación de los túneles de viento. Asimismo, aumenta la demanda de energía generando un mayor impacto ambiental y se reducen las condiciones de confort térmico en áreas urbanas, eventos que terminan potenciando el ciclo de demanda y consumo energético en las ciudades (De Schiller, 2000).

Estudios y relevamientos realizados en la ciudad de Buenos Aires indican que la experiencia de edificación en altura de perímetro libre presenta una serie de aspectos negativos de esta modificación de la trama (Leveratto, 1995; de Schiller, 2000).

Por otro lado, y en contraposición con este tipo de construcciones, la compacidad de las ciudades también implica situaciones de riesgo de habitabilidad urbana y edilicia: a medida que aumenta la densidad en las ciudades, los edificios son físicamente más compactos y tanto por sus propias características formales como por las interrelaciones entre edificaciones, se reducen las posibilidades de acceder a la energía renovable disponible. Demasiada proximidad física, entorpece la penetración de la luz diurna en los edificios y limita el acceso a la energía solar.

Sin embargo, no se puede negar una situación evidente, en la cual el crecimiento de densidad aumenta en relación a las necesidades de hábitat, y los edificios en altura aportan una solución concreta a esta problemática. Una situación ideal está vinculada a una planificación de densificación urbana que no repita modelos externos, que contemple el incremento de densidad según necesidades locales, teniendo en cuenta el aumento en sus interacciones y oportunidades sustentables, con el objetivo de lograr un sistema complejo y rico en soluciones adaptativas que interactúen y convivan entre sí.

A raíz de esta situación generalizada, se plantea el análisis de las edificaciones en altura, de modo de estudiar características energéticas y de habitabilidad directamente relacionadas a la sustentabilidad edilicia y al entorno en el cual se insertan. Las posibilidades de integración morfológica y ambiental de los edificios en altura en los distintos sistemas urbanos deberían estar condicionadas, entre otros aspectos, por las características climáticas del lugar.

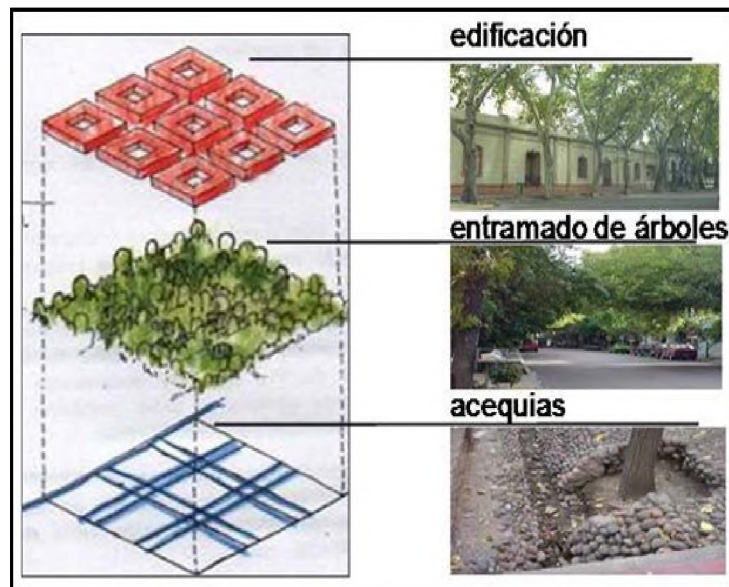
Con el fin de acercarse al contexto de análisis, la temática abordada se orienta hacia la definición de las condiciones ambientales del campo de aplicación: la ciudad de Mendoza, ciudad-oasis.

### **I.3. ACERCAMIENTO AL CONTEXTO DE ANÁLISIS: MENDOZA, “CIUDAD-OASIS”**

El área metropolitana de Mendoza, Argentina, presenta un clima templado continental árido con considerables diferenciaciones en las temperaturas estacionarias. En verano las temperaturas máximas absolutas se encuentran en 37,40°C, y las máximas y mínimas medias son de 30,10°C y 18,40°C respectivamente. En invierno las mínimas absolutas son de -5,70°C, y las máximas y mínimas medias de 14,70°C y 3,40°C. La radiación solar es típica de zonas semidesérticas, en la ciudad se registra un valor anual de 18.4 MJ/m<sup>2</sup>.día. La rigurosidad climática se acentúa debido al escaso porcentaje de humedad relativa anual (54,70%). Asimismo las precipitaciones no superan los 218mm anuales; y los vientos son suaves, con velocidades máximas en invierno de brisas que provienen del Sur, de 8 km/h; y en verano del Sur-Oeste, de 15 km/h.

La ciudad de Mendoza cuenta con una situación diferencial, dada por los beneficios ambientales que provoca la forestación en un contexto climático árido. Si bien la ciudad se emplaza en una zona originalmente semi-desértica, la estructura urbana cuenta con la coordinación de diferentes factores que hacen que se conciba como una **Ciudad-Oasis**.

Esta Ciudad-Oasis se caracteriza por la coordinación de distintos factores: la estructura urbana en damero (es decir, una trama ortogonal de manzanas), la edificación, la forestación (trama de árboles que acompaña el trazado urbano) y un eficaz sistema de riego. Dicha red verde se sustenta en un sistema de riego (acequias) que bordea el perímetro de las manzanas. Estos factores resultan en un estrato acondicionado o sector de la atmósfera beneficiado ambientalmente por los efectos de la arboleda y el agua. Es así que este modelo de ciudad ha atenuado la condicionante climática árida propia de la región. En la *Figura 1.6* se presenta un esquema de esta situación.



*Figura 1.6.* Superposición de las tres estructuras del sistema de Ciudad-Oasis

Algunos de los principios de la Ciudad-Oasis que se verían amenazados si no se produce una adecuada integración con la edificación en altura son (Bórmida, 1984):

- El *estrato acondicionado*, que es el sector de atmósfera beneficiado ambientalmente por efectos de la arboleda y el agua, podría desperdiciarse si la ciudad no se desarrolla dentro de él, al no beneficiarse con sus cualidades ambientales.
- La *trama*, que es la estructura material del estrato puede verse interrumpida con la desproporción en altura de los edificios.
- La *relación armónica* entre árbol, vereda y edificio se da entre la altura de fachada, distancia de la vereda y altura completa del árbol. Si la altura de las

edificaciones se coordina correctamente con la de la forestación se pueden producir dos situaciones deseables: efecto parasol o sombrilla.

- La *articulación equilibrada* entre los volúmenes arquitectónicos con los espacios abiertos forestados proveen verde en la edificación de la trama y evitan que el interior de manzana se transforme en una masa de recalentamiento que debilite las condiciones ambientales del oasis.
- El principio de *introversión* que rige en la distribución volumétrica espacial en las manzanas del damero y hace que cada edificio se articule con un espacio abierto propio, generando múltiples beneficios; no se cumpliría con la inserción de edificios en altura. Estos se comportan como núcleos que tienen un vacío alrededor, generando tensiones y distancias, y desperdiciando las posibilidades de espacios abiertos.

A partir de los principios analizados, se advierte que el modelo de ciudad, define desde el punto de vista ambiental dos estratos: por un lado la situación bajo la copa de los árboles, en la cual se produce un micro-clima que beneficia a las edificaciones de baja altura (3 – 4 niveles).

*“La condición bajo la copa de los árboles es fresca durante el día en verano ya que la radiación incidente es moderada e incluso puede ser bloqueada, dependiendo de la densidad del follaje”* (Cantón et al., 2003).

Durante la noche en invierno las ramificaciones de los árboles protegen a las construcciones del frío. Es así que este modelo de ciudad ha atenuado la condicionante climática árida propia de la región.

Asimismo, a la hora de diseñar deben tenerse en cuenta ciertos aspectos que pueden limitar los beneficios que proporciona dicha vegetación. Durante la noche en verano la forestación impide la visión del cielo y por lo tanto reduce las posibilidades de enfriamiento por radiación (Correa et al., 2007). El enfriamiento convectivo mediante brisas nocturnas puede verse limitado por la densidad del follaje. En invierno, si bien la vegetación es del tipo caduco, no se dispone de un acceso pleno al sol debido a la sombra arrojada por las ramas.

Por el contrario la circunstancia generada fuera del estrato acondicionado resulta muy diferente. Las edificaciones que superan dicho estrato están expuestas directamente al clima de la región: la condición sobre la copa de los árboles conlleva a un acceso pleno a la radiación tanto en invierno (energía incidente deseada) como en verano (energía incidente no deseada) y una exposición al intercambio convectivo y radiativo de energías en ambas estaciones.

Las razones expuestas indican que para una zona climática como la de Mendoza, la respuesta arquitectónica no puede ser la misma bajo y sobre la copa de los árboles, debido a que los recursos naturales disponibles en cada estrato difieren entre sí. Es necesario pensar en soluciones de fachada que respondan tanto a la orientación como a las condicionantes particulares que presenta su entorno mediato: en el caso de la parte inferior o basamento del edificio, protegida por la vegetación; se deberá resolver la envolvente en relación con la moderación micro-climática exterior que ésta proporciona. Y, en la parte superior o torre, se deberá responder a las exigencias de gran amplitud térmica y alta radiación características del clima desértico propio de la región. Es decir, los edificios que superan el estrato forestal debieran atender en sus envolventes la situación expuesta distinta a los que permanecen bajo la arboleda.

#### I.4. HIIPÓTESIS

A partir de la delimitación de los edificios en altura como el universo de análisis y del contexto urbano y ambiental expuesto se proponen las hipótesis de la tesis:

- A- La sustentabilidad de los edificios en altura en la ciudad de Mendoza está condicionada a la respuesta de la materialidad de la envolvente -pudiendo ser ésta predominantemente másica o liviana- así como a las formas de gestión en el uso de las viviendas por parte de los habitantes.
- B- En el contexto de “Ciudad-oasis” se debe atender a la condición diferente de los estratos urbanos -con y sin arbolado- rasgo dominante de su estructura. De este modo resulta relevante un tratamiento específico de envolvente en relación a tal diferenciación en altura, en función de obtener resultados que tiendan a la habitabilidad y a un lenguaje edilicio equilibrado.

## **I.5. OBJETIVOS**

Se presentan los objetivos de la investigación en términos generales y particulares.

### **I.5.1. OBJETIVOS GENERALES**

1. Fomentar una mejora en la calidad de la relación entre el hombre, la arquitectura y su entorno mediante la disminución de los impactos ambientales en los espacios habitables.
2. Aportar conocimientos teóricos que contribuyan a la sustentabilidad de edificios en altura en “ciudades-oasis”.

### **I.5.2. OBJETIVOS PARTICULARES**

1. Identificar y evaluar características arquitectónicas de las principales tipologías de edificios en altura en la ciudad de Mendoza.
2. Analizar la evolución de los códigos de edificación en la ciudad de Mendoza y su influencia en la morfología de los edificios en altura correspondientes a cada período de vigencia.
3. Diagnosticar el comportamiento ambiental y energético de tipologías edilicias representativas de la ciudad de Mendoza en relación a las características de sus envolventes y a las diferencias dadas por los estratos urbanos.
4. Explorar nuevas formas y elaborar pautas de diseño arquitectónico ambiental para nuevos proyectos y para edificios existentes en “ciudades-oasis”.
5. Valorar las soluciones obtenidas a los efectos de aportar información relevante a futuras certificaciones edilicias.
6. Proponer lineamientos generales arquitectónicos factibles de ser transferidos a los distintos actores de la sociedad involucrados en la producción del hábitat.
7. Proponer pautas en términos de diseño y materialidad posibles de transferir, y que aporten en la toma de decisiones a los efectos de establecer lineamientos que contribuyan a las nuevas políticas.

## I.6. PLANTEO METODOLÓGICO

### I.6.1. CRITERIOS EPISTEMOLÓGICOS Y METODOLÓGICOS

La presente tesis se plantea desde una mirada en la cual la arquitectura no es tal sin el lugar que la concibe, y debe crearse ligada íntimamente a su entorno. Resulta necesario un diseño dado por una estrecha vinculación con el contexto cultural y natural que la rodea. El trabajo abordará los conceptos y criterios que enmarcan globalmente el planteamiento de la tesis, circunscripto dentro de la arquitectura sustentable.

Se plantean entonces los criterios epistemológicos en los que se encuadrará el trabajo, junto a las estrategias metodológicas propuestas.

La interdisciplinariedad de la temática descrita deriva en un abordaje plural metodológico, tendiendo hacia la concepción crítica de la epistemología, en la cual la ciencia es una producción cultural, que depende del contexto histórico y social en el que se produce. Desde esta perspectiva, existe una mayor preocupación por la recuperación del contexto del descubrimiento, así como un interés en la transformación de la realidad, que siendo deseable, sea viable para construir un mundo mejor para todos. Según Gabriele (2010) se trata de ampliar el campo de la metodología de la investigación permitiendo articular condiciones subjetivas con condiciones objetivas de la existencia humana, involucradas en el proceso del conocimiento. El problema radica en cómo captar a esta realidad en transformación, impulsada por factores estructurales y a la vez subjetivos, tanto en cuanto a acción como en cuanto a subjetividad.

Es por esto que se propone una metodología flexible, que incluya abordajes teóricos e instrumentales, además de incluir en su estructura estrategias complementarias y convergentes de análisis que tiendan a dar respuestas a fines comunes (Discoli, et al., 2013); pretendiendo entender e interpretar lo que nos rodea, así como dar soluciones a nuestras demandas presentes en el marco y limitaciones de nuestro contexto socio-cultural, tecnológico y de desarrollo.

Dentro de los saberes académicos resulta complejo encasillar a la arquitectura en un solo lugar. Esta deviene de muchas otras ciencias y puede entenderse como un volumen polifacético, en el cual es posible profundizar en cada cara: las que contienen a las ciencias humanas, a las artes y a

las ciencias fácticas y formales. Por esto se precisa una mirada global, en donde no se excluyan las posibles influencias de cada saber.

Sin embargo, no se trata de abogar por un eclecticismo variopinto sin orden ni destino. Esther Díaz (2007) habla de los riesgos de hacer investigación disciplinar, cerrada en sí misma, ya que muchas veces toca su propio techo o achica peligrosamente sus fronteras por negarse a la apertura indagatoria. Esta visión resulta pertinente en la arquitectura.

La autora plantea objetivos para lograr una investigación interdisciplinar e interactuante, lo cual incluye:

- articular diferentes perspectivas de la realidad reflejadas o estudiadas, buscando puntos de confluencia;
- procurar aportes que amplíen alianzas tradicionales estimulando intercambios entre disciplinas consideradas lejanas, como las ciencias jurídicas y el arte, o la termodinámica y la sociología, entre otras;
- producir síntesis en las que se articulen de manera fértil los distintos aportes, analizando y respetando semejanzas y diferencias.

### **I.6.2. CLASIFICACIÓN DE LAS PRINCIPALES VARIABLES INVOLUCRADOS EN LA TEMÁTICA PROPUESTA**

En concordancia con la pluralidad metodológica planteada, se considera al universo de análisis como un miembro, es decir, como un todo que tiene partes y éstas se vinculan entre sí. La temática es abordada teniendo en cuenta un tratamiento en cascadas en donde las estructuras de información Unidad de análisis- Variable- Valor, cambian sus roles en función de la escala de análisis (Samaja, 1993).

En la *Figura 1.7* se presenta el esquema en cascadas en función de las tres escalas de abordaje: entorno, edificios en altura y unidades de vivienda. Esta lógica de abordaje ha sido planteada en diferentes estudios metodológicos, referidos a la gestión urbana (Cantón, 2005), al diagnóstico energético-ambiental en aglomeraciones intermedias (Discoli, 2009), y al análisis de calidad de

vida en el sistema urbano (Discoli et al, 2013). Todas ellas han sido aplicadas en distintas escalas espaciales, abarcando niveles regionales, urbanos, sectoriales, locales y puntuales.

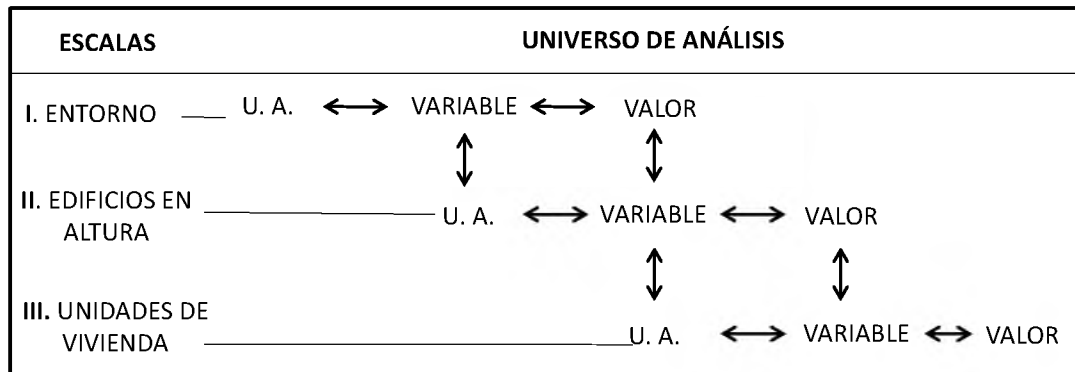


Figura I.7. Esquema en cascada de Samaja (1993)

Para poder describir de manera científica una realidad previamente dada en nuestro mundo de vida, debemos operar sobre esa plenitud: explicar de qué modo la fragmentamos y la enunciamos, moldeándola con nuestras categorías lingüísticas. El acto de describirla “científicamente” es un acto de *redescripción*, y por lo mismo es ya una forma de modificar nuestro conocimiento previo (Samaja, 1993).

A partir de este planteo se definen las principales variables involucradas en el trabajo:

En primer lugar, en función de tener en cuenta la condición diferente de los estratos urbanos (con y sin arbolado) la variable principal y eje del trabajo es la **altura**, mediante la cual se diferencian las unidades de vivienda que se encuentran bajo y sobre la arboleda urbana.

Luego, las variables a analizar son: la **morfología** edilicia, la **materialidad** de envolvente y la **orientación**.

El esquema se muestra en la *Figura I.8*.

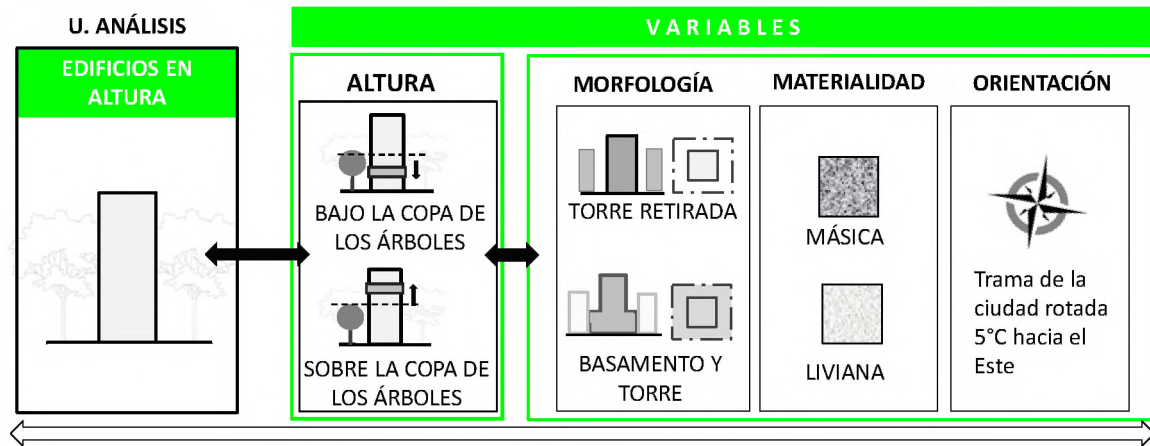


Figura 1.8. Principales variables involucradas en la temática propuesta

### I.6.3. ESTRUCTURA DE LA INVESTIGACIÓN

El estudio está dividido en seis capítulos:

El **Capítulo I: “Presentación del tema”**, al que pertenece el presente apartado, consiste en la introducción y presentación de la temática. Se plantea el estado del arte y a partir del acercamiento al contexto de análisis derivan las hipótesis y los objetivos del trabajo.

En el **Capítulo II: “Mendoza: Contexto ambiental y edilicio”**, se aborda el entorno (*Escala I* en el esquema de casadas). Se presenta el contexto de análisis o campo de aplicación a partir de la situación climática y ambiental de la ciudad de Mendoza, analizando el confort térmico y adaptativo en la Ciudad-oasis. Se identifica el contexto edilicio referido a la edificación en altura en la ciudad desde sus inicios hasta la actualidad.

El **Capítulo III: “Contexto normativo en relación a la edificación en altura”** continúa con el contexto de análisis, a partir del estudio de la situación normativa edilicia. En este caso el estudio se desarrolla en torno a la influencia de los códigos de edificación en la morfología y materialidad de los edificios en altura en la ciudad de Mendoza. El estudio se basa en la observación fotográfica e in situ y en el análisis de los antecedentes bibliográficos dados en los Códigos de edificación existentes a partir del siglo XX.

En el **Capítulo IV: “Diagnóstico de casos”**, se seleccionan los casos de estudio, para lo cual se abordan las tres escalas de interacción: entorno, edificio en altura, y unidad de vivienda. Se clasifican las variables a tener en cuenta para la selección de los casos. En relación a la edificación

(*Escala II*) las variables son: la altura (en relación a la arboleda urbana), la morfología y la materialidad. En relación a las unidades de vivienda (*Escala III*) las variables son la orientación y la altura (en relación a la ubicación de las viviendas respecto al edificio). Se analizan las auditorías realizadas en los casos de estudio construidos: análisis cuantitativo de la situación térmica y energética y estudio cualitativo del uso y ocupación de los espacios. Esto deriva en un diagnóstico comparativo teniendo en cuenta la incidencia del usuario.

El **Capítulo V: “Evaluación y propuestas de diseño y materialidad”** tiene como objetivo mejorar los casos analizados y a partir de eso evaluar soluciones específicas para nuevos edificios en altura. A tal fin, se ajustan mediante programas de simulación las mediciones realizadas en los casos en estudio, y se analizan las diferenciaciones en altura y materialidad, aislando la incidencia del usuario. La metodología del capítulo explica los criterios mediante los cuales los casos diagnosticados en el *Capítulo IV* van a constituirse como base para las propuestas de soluciones específicas para nuevos edificios. La evaluación de las propuestas surge a partir de la simulación de variantes materiales para determinar casos óptimos mejorados. Luego se aplican las propuestas en los casos nuevos, comparando por nivel (altura) y por materialidad. A partir de esto y de la identificación de alternativas de estrategias de control climático se analizan sistemas de protección solar compatibles con la expresión de cada tipología, estrategias de refrescamiento pasivo y de ganancia solar directa. Se busca obtener propuestas a nivel de diseño morfológico y de materialidad, que sean sistemáticas, repetibles y universales.

Por último, en el **Capítulo VI: “Conclusiones”** se presentan las conclusiones del estudio que resumen los resultados generales y particulares en el avance del conocimiento y las posibilidades de contribución de pautas para mejorar la habitabilidad edilicia en altura, así como disminuir los consumos energéticos actuales y los impactos ambientales.

Se presenta en la *Figura I.9* el esquema de la síntesis del trabajo propuesto.

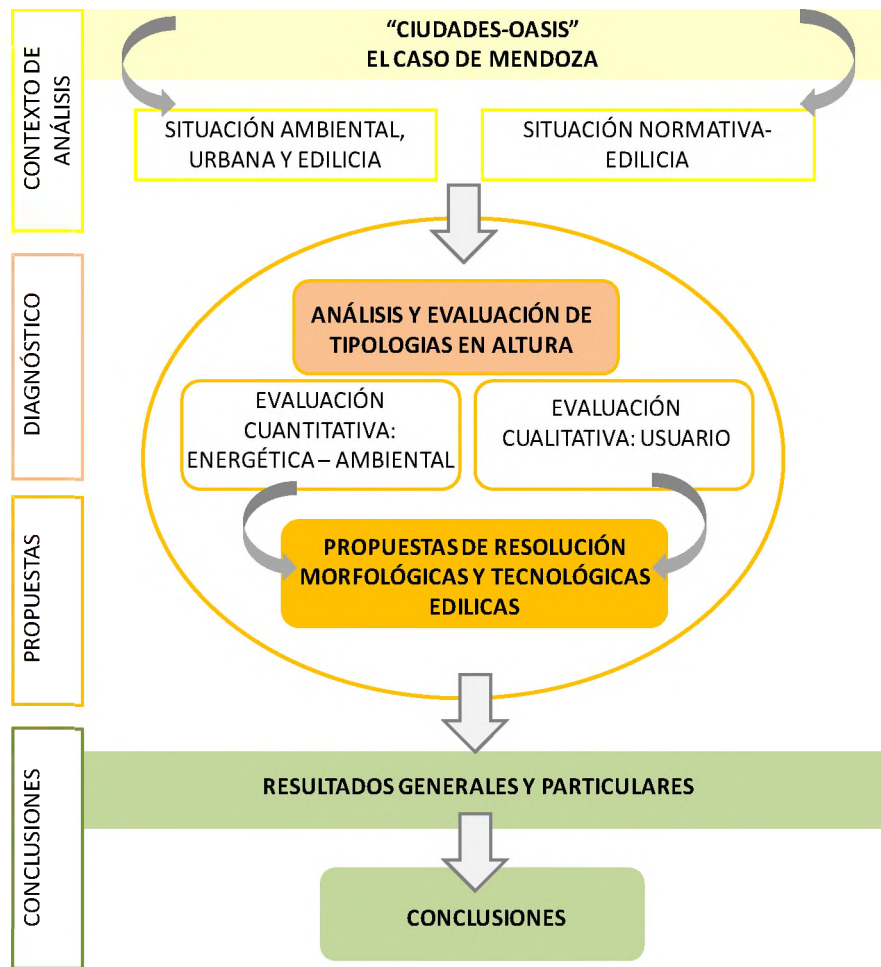


Figura 1.9. Esquema síntesis del trabajo propuesto

## I.7. REFERENCIAS AL CAPÍTULO I

- ASTE, N., ANGELOTTI, A., y BUZZETTI, M. (2009). The influence of external walls thermal inertia on the energy performance of well insulated buildings. *Energy and Buildings* 41, 1181-1187.
- BALARAS, C.A. (1996). The role of thermal mass on the cooling load of buildings. An overview of computational method. *Energy and Buildings* 24, 1-10.
- BALCOMB, J.D., BAREY D., MCFARLAND R., PERRY J., WRAY W., NOLL S. (1982). *Passive Solar Design Handbook.s.l.:* United States Department of Energy, 1982.Vols. I, II y III.
- BARÓN, J., BRAGONI, D., CORTELLEZZI, M., KOLEDA, A. (2004). Situación Energética Local, UN Cuyo. Mendoza.
- BOJIC, M., y LOVEDAY, D.L. (1997).The influence on building thermal behavior of the insulation/masonry distribution in a three-layered construction. *Energy and Buildings* 26, 153-157.
- BOJIC, M., YIC, F., SAT, P. (2001). Influence of thermal insulation position in building envelope on the space cooling of high rise residential buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings* 33, 569-581.
- BOJIC, M., YIC, F., WAN, K., BURNETT, J. (2002). Influence of envelope and partition characteristics on the space cooling of high-rise residential buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings* 37, 347-355.
- BOJIC, M., y YIC, F. (2005). Cooling energy evaluation for high-rise residential buildings in Hong Kong. *Energy and Buildings* 37, 345-351.
- CANTÓN, A. et al. (2003). Assesssing the solar resource in forested urban environments. *Architectural Science Review* 24.
- CANTÓN, V., MOLINA, B. (2005). Cotejo conceptual de la Alta Simplicidad con la Metodología de indicadores territoriales de Sustentabilidad y Gestión Ambiental Institucional de Uruguay.En R. Martínez Guarino (Ed.). *Gestión del territorio y desarrollo Urbano, "Alta Simplicidad"*(Cap. 5. 105-109). Montevideo: Universidad de la República, Uruguay.
- COCH ROURA, H. (1998). Bioclimatism in vernacular architecture. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2(1/2) 67-87.
- DE SCHILLER, S. (2000). Sustainable cities: contribution of urban morphology. *Proceedings of PLEA-2000, Passive&Low*.353-358.
- DIARIO UNO (2011). *Con el calor aumenta el consumo de energía*. Recuperado de: <http://www.diariouno.com.ar/edimpresa/2011/01/14/nota263022.html>. 2011.

- DÍAZ, E. (2007). *Entre la tecnociencia y el deseo. La construcción de una epistemología ampliada*. Buenos Aires: Ed. Biblos.
- DISCOLI, C., SAN JUAN, G., MARTINI, I., BARBERO, D., DICROCCE, L., FERREYRO, C., VIEGAS, G., ESPARZA, J. (2013). *Calidad de vida en el Sistema Urbano*. La Plata, Argentina: Ed. Universitaria de La Plata.
- ELLIS, M. (2008). Meeting energy efficient goals: Enhancing compliance, monitoring and evaluation. International Energy Agency. Paris.
- FILIPPÍN, C. (2005). *Uso eficiente de la energía en edificios*. Amerindia. La Pampa.
- FUNDELEC (2012). *Fundación para el desarrollo eléctrico*. Recuperado de: [www.findelec.org.ar/](http://www.findelec.org.ar/)
- GABRIELE, A. (2010). *Reflexiones en torno de una epistemología y metodología del descubrimiento. La inferencia analógica*. IFAA.FF y L.UNCuyo. Mendoza.
- GALLO C., SALA M., SAYIGH A.M.M. (1998). *Architecture, Comfort and Energy*. Amsterdam: Elsevier.
- GANEM, C. (2006). *Rehabilitación ambiental de la envolvente de viviendas. El caso de Mendoza*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. España.
- GURIERREZ, R., (1983). *Arquitectura y Urbanismo en Iberoamérica*. Editorial Cátedra, Buenos Aires.
- GREGORY, K., MOGHTEAREDI, B., SUGO, H., PAGE, A. (2008) Effect of thermal mass on the thermal performance of various Australian residential constructions systems. *Energy and Buildings* 40, 459–465.
- KOSSECJA, E., y KOSNY, J. (2002). Influence of insulation configuration on heating and cooling loads in a continuously used. *Energy and Buildings* 34, 321-331.
- LE CORBUSIER (1964). *Oeuvre complète. Vol. 2*. Ed. d'Architecture, Zurich.
- LEY 13059 (2003). Senado y Cámara de Diputados de la Provincia de Buenos Aires, Cuidad de La Plata
- LEVERATTO, M. J. (1995). El impacto de edificios en torre de gran altura y confort en espacios urbanos. *Anais III Encontro Nacional y i Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construido*, ANTAC, Porto Alegre, 1995.
- LIERNUR, J. F., ALIATA, F. (2004). Voz. Asoleamiento. In: *Diccionario de arquitectura en la Argentina*. Buenos Aires: Clarín, 2004b. V. a-b, Bs. As, p.84-86.

- LÓPEZ DE ASIAIN, J., (2010).La habitabilidad de la arquitectura. El caso de la vivienda. *Dearq 06*. ISSN 2011-3188. Bogotá. pp. 100-107.
- MOLINA Y VEDIA J., SAN JUAN G., (2008).Sustentabilidad ambiental. Conceptualización. Ficha teórica N°1. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de La Plata.
- OKE, T.R., (2004). *Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites*. Iom Report, Td In Press, World Meteorological Organization, Geneva.
- OLGYAY, V. (1998). *Arquitectura y Clima. Manual de diseño bioclimático para arquitectos y urbanistas*. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- PÉRGOLIS, J.C. (1998).Lenguaje urbano y lenguaje arquitectónico en las ciudades latinoamericanas. *Revista Área 6*. Universidad de Buenos Aires.
- SAMAJA, J. (1993).*Epistemología y Metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- VITRUVIO, M. (1486).*Los diez Libros de Arquitectura*. Ed. Breogan S. (1999)

## **II. MENDOZA: CONTEXTO AMBIENTAL Y EDILICIO**

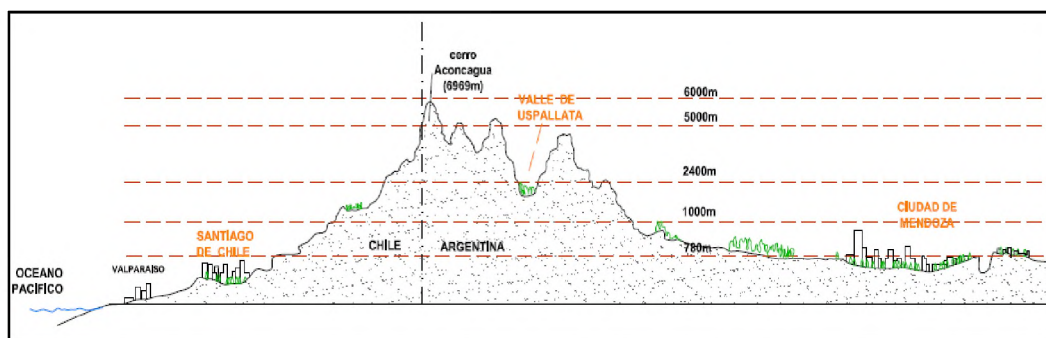
## II.1. CONTEXTO GEOGRÁFICO

La provincia de Mendoza, Argentina, se encuentra localizada en el centro oeste del país y es parte de lo que se denomina la Región de Cuyo. Limita al Este con la provincia de San Luis, al Norte con San Juan, al Oeste posee límites con Chile y hacia el Sur con La Pampa y Neuquén.

Está ubicada a  $32^{\circ} 40'$  Latitud Sur,  $68^{\circ} 51'$  Longitud Oeste y 827 metros sobre el nivel del mar, en el piedemonte de la Cordillera de Los Andes. En la *Figura II.1* se observa su ubicación y la *Figura II.2* indica la localización de la ciudad en el perfil cordillerano.



*Figura II.1.* Ubicación geográfica de la Provincia de Mendoza



*Figura II.2.* Perfil cordillerano y localización de la Ciudad de Mendoza

Mendoza se encuentra situada en una zona de alto potencial sísmico. El parámetro de intensidad utilizado, que es la medida de la fuerza del movimiento del terreno, es la denominada Escala Modificada de Mercali (MM). Esta escala, ordenada de menor a mayor grado de destructibilidad, va desde I (sólo detectable por instrumentos muy sensibles como los sismógrafos) hasta XII

(catástrofe, destrucción total). *“El Gran Mendoza ha experimentado intensidades sísmicas iguales o superiores a VI M.M. por lo menos 11 veces en los últimos 200 años”* (Mitchell, 2004).

Su área metropolitana, conocida como Gran Mendoza, se extiende 16.692 km<sup>2</sup>. La capital administrativa es la ciudad de Mendoza y ocupa el cuarto (4°) lugar en los principales centros urbanos argentinos.

En cuanto a la población, según el último censo realizado, en el 2010 por el INDEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos) la ciudad de Mendoza cuenta con 114.822 habitantes, que unidos a los de su Área Metropolitana (el Gran Mendoza), se elevan a 913.205 habitantes lo que la convierte en la cuarta mayor aglomeración del país.

## II.2. CONTEXTO CLIMÁTICO

Mendoza se emplaza en una zona semi-desértica y árida, la ciudad se encuentra en la zona bio-ambiental IVa (Norma IRAM 11603) que corresponde según la Norma a un clima templado frío continental. La condición climática se caracteriza por contar con importantes cambios a lo largo del año: inviernos fríos, veranos con altas temperaturas, y estaciones intermedias en las que pueden darse periodos cortos de temperaturas extremas. Es decir que cuenta con gran amplitud térmica anual y diaria.

Tal escenario indica un mayor desafío desde el punto de vista del diseño (Serra R., 1999) y el requerimiento de una arquitectura más compleja, que sea capaz de cumplir con las expectativas de habitabilidad en cada circunstancia climática.

El Área Metropolitana de Mendoza cuenta con temperaturas absolutas que varían entre -5,70 °C en invierno y 39 °C en verano, con variaciones diarias de aproximadamente 10 a 20 °C. Respecto a las temperaturas medias anuales la máxima media anual es de 22,60 °C; la temperatura media anual es de 15,90 °C; y la mínima media anual se encuentra en los 11 °C. En la *Figura II.3* se observan las temperaturas de aire mensuales: Máxima Absoluta (TMAA), Máxima Media (TMAM), Media (TM), Mínima Media (TMIM) y Mínima Absoluta (TMIA).

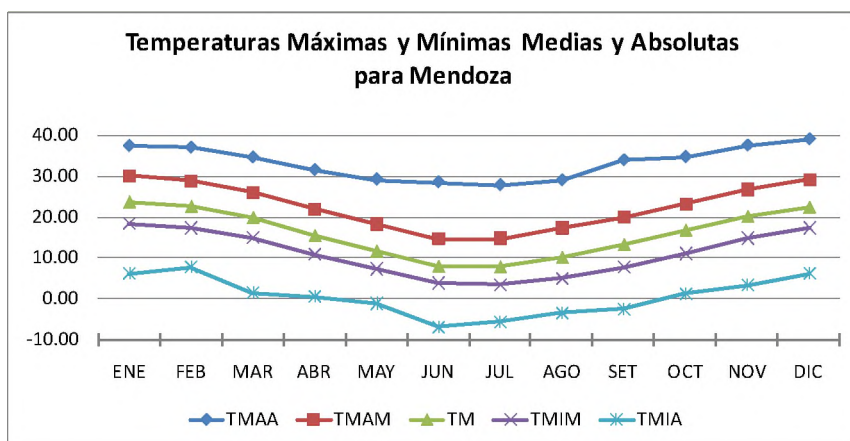


Figura II.3. Temperaturas del aire promedios mensuales para la ciudad de Mendoza (Servicio Meteorológico Nacional)

Respecto a la radiación solar, la ciudad presenta un elevado índice al año y gran cantidad de días claros, permitiendo el calentamiento solar durante el día y el enfriamiento por radiación de onda larga durante la noche. En la ciudad sólo el 14% de los días presentan el cielo cubierto. En el resto de los días, en mayor o menor medida, el uso de sistemas de aprovechamiento de la radiación solar es factible en invierno, así como son necesarios en verano, los sistemas de protección a la radiación.

La radiación global sobre superficie horizontal promedio anual es de  $18.08 \text{ MJ/m}^2\cdot\text{día}$ . Se observan en el gráfico siguiente las variaciones entre las distintas épocas del año, resultando el promedio en junio (invierno en el Hemisferio Sur)  $9.10 \text{ MJ/m}^2$  y de  $25.70 \text{ MJ/m}^2$  en enero (verano). En la Figura II.4 se observan los promedios de radiación de todos los meses del año.

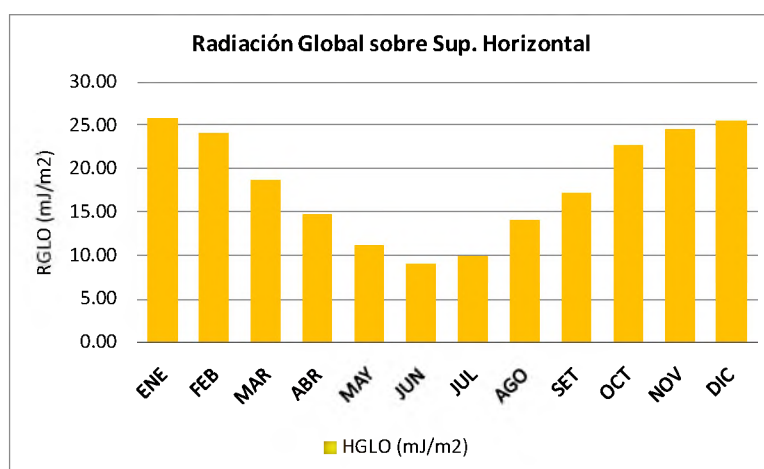


Figura II.4. Promedio de la Radiación Global sobre superficie horizontal en Mendoza

En la carta solar de Mendoza (Figura II.5) se puede ver, respecto a la altitud solar en el caso de la estación estival, que el sol se encuentra en una posición casi perpendicular a la tierra en el mediodía solar. En consecuencia, las superficies horizontales (techos) son las que reciben mayor energía solar durante el día. En el mes de diciembre (verano) a las 12 horas solar, la altitud del sol es de 82°. Y en el mes de junio (invierno) la altitud solar es de 32°. (Ver Figura II.6)

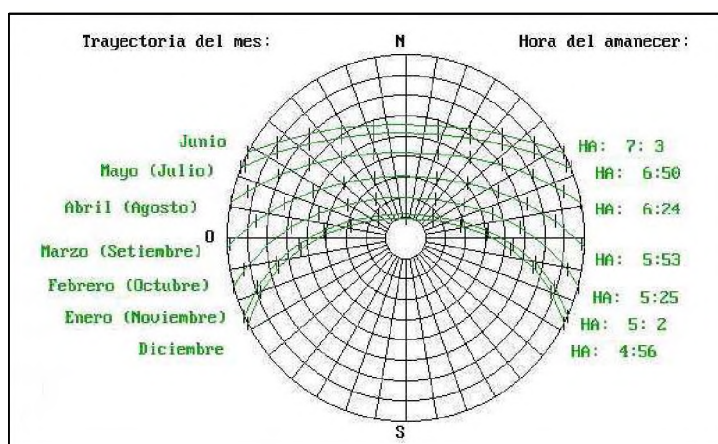


Figura II.5. Carta Solar para Mendoza

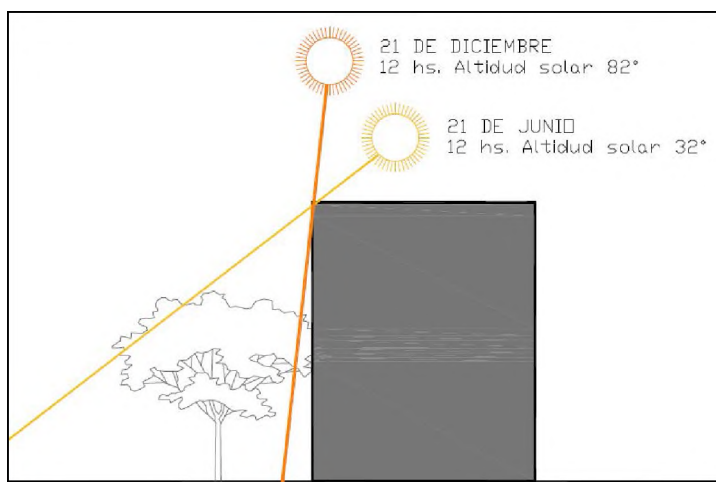


Figura II.6. Altitud solar para invierno y verano

Se presenta a continuación la distribución de la radiación solar recibida en un día de verano en las distintas superficies verticales: Norte, Este/Oeste y Sur y en la superficie horizontal. Se puede observar que la superficie horizontal recibe 25.7 MJ/m<sup>2</sup> por día, equivalente al 44% del total de radiación incidente. Mientras que los paramentos verticales reciben cantidades casi equivalentes en el orden de los 10 MJ/m<sup>2</sup> en promedio (Ver Figura II.7).

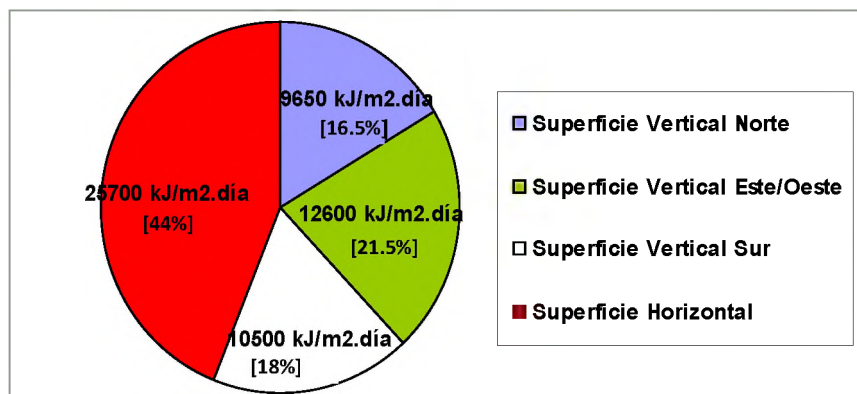


Figura II.7. Radiación incidente diaria en verano (diciembre) para las distintas superficies verticales y para la superficie horizontal

En el caso de la estación invernal las superficies verticales orientadas hacia el Ecuador (Norte) son las que reciben mayor cantidad de energía solar durante el día (52%).

Respecto a la distribución de la radiación solar recibida en un día de invierno en las distintas orientaciones de superficies verticales, se puede observar que la superficie vertical Norte recibe  $15.9 \text{ MJ/m}^2$  por día, y la superficie horizontal  $9.1 \text{ MJ/m}^2$  por día siendo estas las superficies que reciben la mayor cantidad de radiación incidente diaria (Ver Figura II.8).

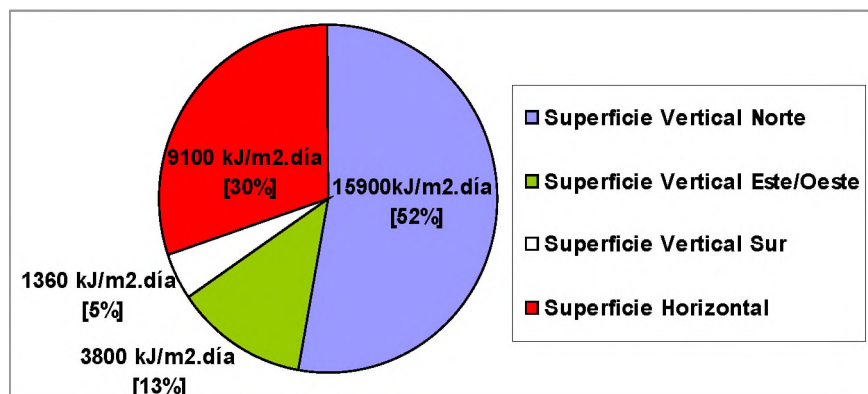


Figura II.8. Radiación incidente diaria en invierno (junio) para las distintas superficies verticales y para la superficie horizontal.

La baja humedad relativa es un dato que demuestra la aridez de la región. El promedio anual de esta es del 54,70%; siendo en el mes de setiembre la más baja con un 46,70% y en el mes de junio la más alta con un 64%. La condición semi-desértica de Mendoza se refleja también en las escasas lluvias con las que la ciudad cuenta al año. El promedio anual no superan los 218mm, siendo los meses de verano los que mayores índices presentan (35mm en enero) y los meses de estación invernal los de menores precipitaciones (5mm en el mes de julio) (Ver Figura II.9).

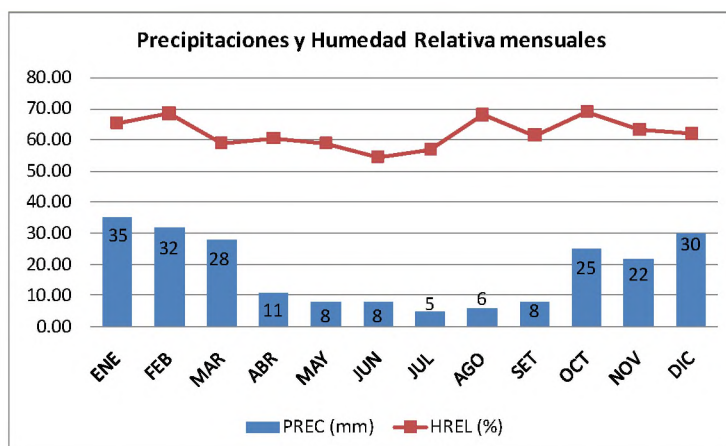


Figura II.9. Precipitaciones y Humedad Relativa mensual en Mendoza ciudad

Respecto a los vientos, Mendoza es una ciudad que se identifica por movimientos de aires suaves y esporádicos; con excepción de un viento característico de la zona: el viento “Zonda”, dado principalmente en la época de otoño e invierno (entre los meses de mayo y agosto), proviene de la Cordillera de Los Andes y se caracteriza por ser un viento caliente y seco que sopla a sotavento de la misma.

Al margen de esta característica puntual, los vientos predominantes en la ciudad en cuanto a su mayor frecuencia en la estación invernal provienen del Sur. La velocidad en esta época del año es muy pareja hacia todas las orientaciones, con un promedio de 8km/h. Estos valores no resultan demasiados significativos, por lo que no se requiere de grandes protecciones. Respecto a los meses de verano, los vientos que predominan provienen de Sur-Este; y las velocidades de los mismos presentan valores más elevados en las orientaciones Sur y Sur-Oeste, siendo estas de 11 y 15km/h respectivamente. Estos datos generan la oportunidad de aprovechamiento de brisas frescas para la época de mayores temperaturas. En la *Tabla II.1* y en la *Figura II.10* se indican estos datos.

| VIENTO PREDOMINANTE |            |           |            |           |
|---------------------|------------|-----------|------------|-----------|
|                     | Enero      |           | Julio      |           |
|                     | Frecuencia | Velocidad | Frecuencia | Velocidad |
| N                   | 26         | 9         | 42         | 8         |
| NE                  | 105        | 8         | 70         | 8         |
| E                   | 195        | 8         | 118        | 7         |
| SE                  | 164        | 9         | 82         | 7         |
| S                   | 175        | 11        | 166        | 8         |
| SO                  | 26         | 15        | 65         | 7         |
| O                   | 6          | 8         | 109        | 5         |
| NO                  | 4          | 6         | 39         | 7         |
| Calmas              | 299        |           | 307        |           |

Tabla II.1. Vientos predominantes para los meses de Enero y Julio (Servicio Meteorológico Nacional)

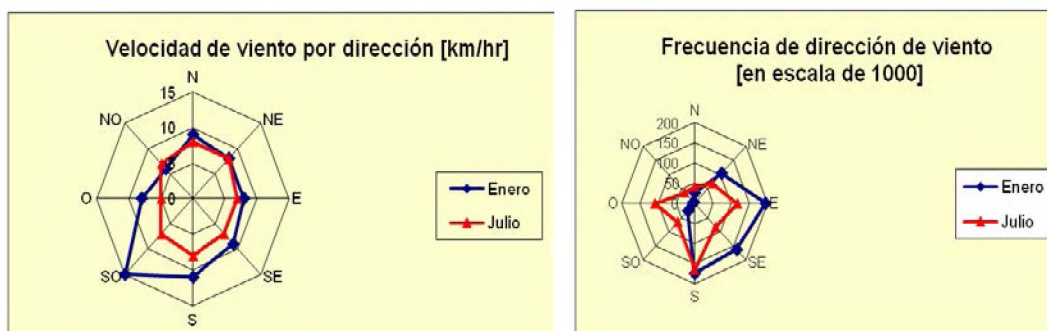


Figura II.10. Vientos predominantes según velocidad y frecuencia (Servicio Meteorológico Nacional)

### II.3. CONFORT AMBIENTAL

El término *comfort* se refiere a las condiciones térmicas óptimas en las que el ocupante no siente ninguna necesidad de cambios hacia condiciones más cálidas o más frías, logrando una sensación térmica agradable dada por el equilibrio en los intercambios calóricos del cuerpo con el ambiente circundante.

A diferencia del confort térmico referido al estado neutral de la percepción del medioambiente, el confort lumínico tiene más en común con el confort acústico en que los dos están relacionados a recibir mensajes. Existe la necesidad de interpretar un mensaje acústico o visual y esto lleva a la preocupación por la mejora de la recepción a través de la reducción de las interferencias de transmisión. Además a través de ambos sistemas, auditivo y visual, se percibe solo una parte de todo el espectro de frecuencia emitida por una fuente y se tiene una sensibilidad que depende también de las diferentes longitudes de onda (Ganem, 2002).

Al considerar el confort climático, Serra y Coch (1995) distinguen dos aspectos que se encuentran relacionados. El primero es la calidad del aire interior, parámetro de confort que depende de las renovaciones del aire del local y para ello se debe tener en cuenta que no siempre la calidad del aire exterior es la óptima. El segundo campo, es el del confort térmico. Owen (1999) lo define como la sensación de bienestar respecto a la temperatura. Depende del alcance de un balance entre el calor producido por el cuerpo y la pérdida del mismo.

Las condiciones atmosféricas determinan muchas veces el estímulo, ya sea positivo o negativo, para desarrollar una actividad específica.

*"Tanto la fuerza física del hombre como su actividad mental se desarrollan mejor si las condiciones climáticas del entorno oscilan dentro de una gama determinada (...) El hombre, que posee un*

*complejo sistema de procesos perceptivos, se esfuerza por llegar al punto en el que adaptarse a su entorno le requiera solamente un mínimo de energía” (Olgyay, 1963).*

No existe un criterio único para la evaluación del confort. Las teorías contemporáneas del confort térmico presentan dos modelos: el estático o cuantitativo y el adaptativo o cualitativo, con diferentes enfoques y metodologías.

Las personas, de acuerdo con la situación ambiental en la que se han desarrollado y se han adaptado, siempre dependiendo de la localización geográfica en la que se encuentren, requieren de condiciones térmicas diferentes. No requerirá de las mismas condiciones una persona que vive en Alaska por ejemplo, a las de una que se halla en algún país de Centroamérica. Es decir, la aclimatación del hombre afecta la zona de confort.

El concepto de aclimatación hace referencia a los factores de confort del usuario. *“Aunque existen tantas percepciones como usuarios, generalmente particularidades de la cultura y del clima de la región afectan las expectativas de confort y por lo tanto sus estándares. Las personas ponen en marcha mecanismos de adaptación y adquieren más tolerancia hacia los aspectos más estresantes que presenta el clima de la región” (Ganem, 2006).*

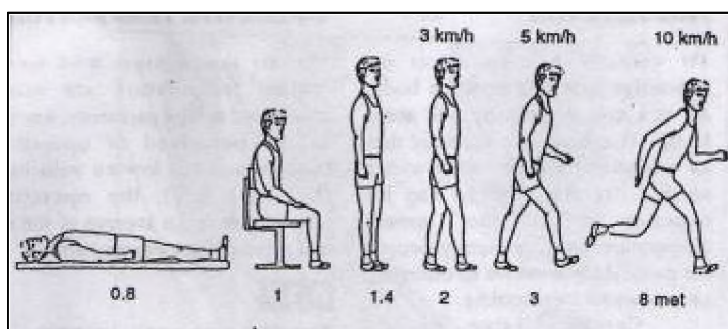
Al pasar tiempo, la temperatura que las personas encuentran confortable se aproxima a la temperatura media que hayan experimentado. Esto implica que las condiciones que los ocupantes encuentran confortables están influenciadas por su experiencia térmica y que se pueden adaptar a un amplio margen de condiciones (Nicol y Roaf, 2005).

A continuación se estudian los aspectos que intervienen en el logro del confort climático y se analizan como la incidencia del clima en Mendoza puede afectar la obtención de los mismos.

Dos tipos de factores influyen en la obtención del confort. Por un lado los parámetros ambientales: temperatura del aire, radiación, humedad relativa y velocidad del aire. Y, por otro lado, los factores relacionados al individuo: condiciones biológicas-fisiológicas, sociológicas y psicológicas.

Respecto a los factores que están relacionados al hombre intervienen dos variables: la actividad y la vestimenta, dependiendo también de otros factores subjetivos o individuales: la edad, el sexo, el peso y talla en cuanto a la relación superficie-volumen, la temperatura y emitancia de la piel, el estado psicológico y de salud y el tiempo de aclimatación.

- Actividad: el metabolismo del hombre funciona mediante la relación entre la cantidad de energía producida por unidad de tiempo y la alimentación adquirida. Por lo tanto está siempre influenciado por el nivel de actividad que se realice. La unidad de medida por la cual se expresa es el *met*, lo que equivale a vatios por el área del cuerpo humano expresado en metros cuadrados (área de un adulto:  $1,8\text{m}^2$ ). Un *met*, cuando el metabolismo de una persona se encuentra quieto, equivale a  $58\text{W}/\text{m}^2$  (Goulding, et al. 1994). En la *Figura II.11* se observa la situación metabólica de las personas en diferentes actividades según los valores en *met*.



*Figura II.11. Situación metabólica en distintas actividades*

En el caso de Mendoza, se observa, que si bien es una ciudad en vías de desarrollo que cuenta con un significativo aumento en los últimos años de medios de transporte, es por otro lado, una ciudad muy caminada por sus habitantes. Las personas que trabajan en el radio céntrico de la ciudad se desplazan generalmente a pie durante las horas del día. Esta actividad se encuentra en el rango de los 2 a los 3,8 *met*, dependiendo del ritmo al que se vaya. Mientras que una persona que se traslada mayormente en auto se encuentra en un nivel de actividad de 1 a 3,2 *met*.

- Vestimenta: las prendas de vestir proveen al hombre de una aislación térmica contra el medio ambiente (Goulding, et al. 1994). La escala para medir este efecto térmico de la ropa en el cuerpo humano se expresa en *clo*. La unidad equivale aproximadamente a  $0,155\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$  cuando la vestimenta es completa. En la *Figura II.12* se observa la aislación térmica según la vestimenta de las personas según los valores en *clo*.

*“Un clo equivale al aislamiento que proporciona la ropa normal de un hombre manteniendo el confort a una temperatura exterior de  $21,1^\circ\text{C}$  sin movimiento de aire, con una humedad relativa menor del 50%, y sin demasiada actividad física” (Olgyay, 1976).*

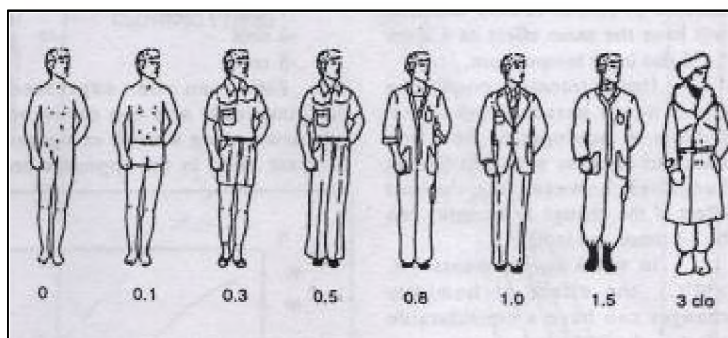


Figura II.12. Aislación térmica de los diferentes conjuntos de vestimenta. (Goulding et al. 1994)

Respecto a esto los habitantes de Mendoza, al contar con grandes cambios en las condiciones climáticas de las distintas estaciones, acostumbran a modificar su vestimenta según la época del año. De este modo, en primavera, el conjunto de ropa frecuentemente usado equivale a unos 0,5 *clo*, mientras que en verano es habitual vestir shorts y remera, lo que equivaldría a 0,3 *clo*. Cuando las temperaturas descienden el cambio en la vestimenta de las personas es notorio: el uso de medias gruesas, sweaters, tapados y camperas elevan el promedio de *clo* utilizados a un rango de 1 a 1,5. Asimismo, los habitantes de la ciudad no esperan la misma temperatura interior en los espacios que habitan durante todo el año. En invierno la vestimenta de abrigo se incrementa respecto a la de verano en las diferentes situaciones.

A partir de los factores relacionados al individuo y de los parámetros ambientales distintos autores han elaborado diferentes valoraciones del confort. A continuación se presentan las gráficas propuestas por Olgyay y Givoni.

- *Gráfica bioclimática de Victor Olgyay*

Estudia el medio ambiente exterior a través de un diagrama teniendo en cuenta dos parámetros: la temperatura del aire y la humedad relativa en el eje de abscisas y ordenadas, y como parámetros de corrección la radiación solar y los movimientos de aire. Define entonces una zona de confort deseable en verano que está comprendida entre los 21°C y los 28°C, cuando la humedad relativa está entre el 30% y el 65%. Este rango se amplía para regiones con alta o baja humedad, llegando a un 18% con las temperaturas anteriormente mencionadas. Asimismo la humedad relativa puede ser de hasta el 77% siempre que la temperatura descienda y se encuentre en un rango de 18 y 23°C. En invierno la zona de confort llega a los 18,5°C con los mismos porcentajes de humedad relativa. Al mismo tiempo la gráfica muestra la relación de los

elementos climáticos entre sí (vientos y radiación) y las necesidades climáticas de las áreas que se encuentran fuera de la zona de confort mediante el uso de los parámetros correctivos (Figura II.13).

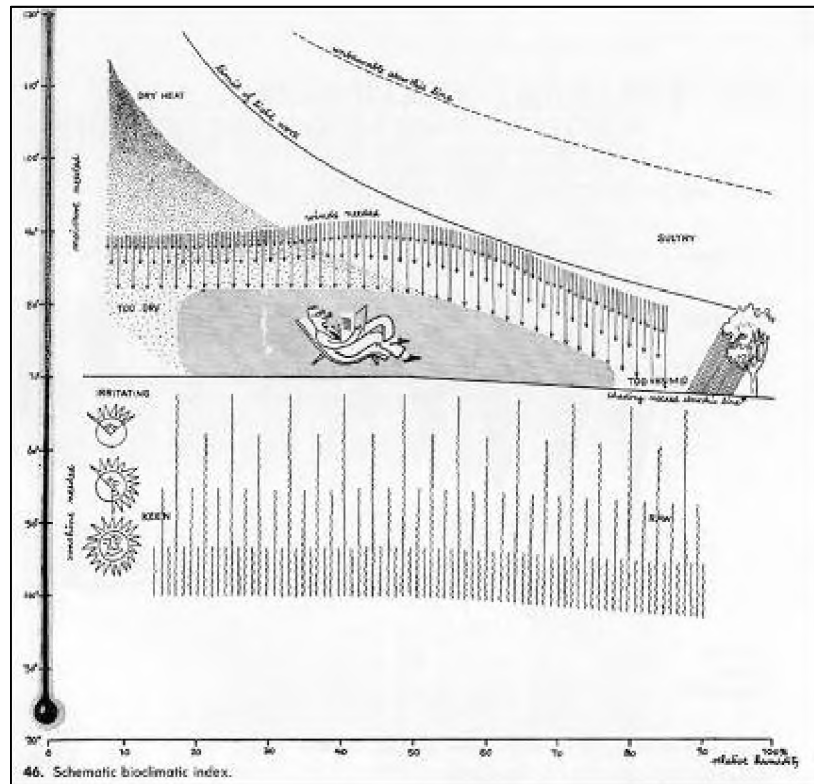


Figura II.13. Gráfico esquemático de la zona de confort de Olgyay (Olgyay, 1963)

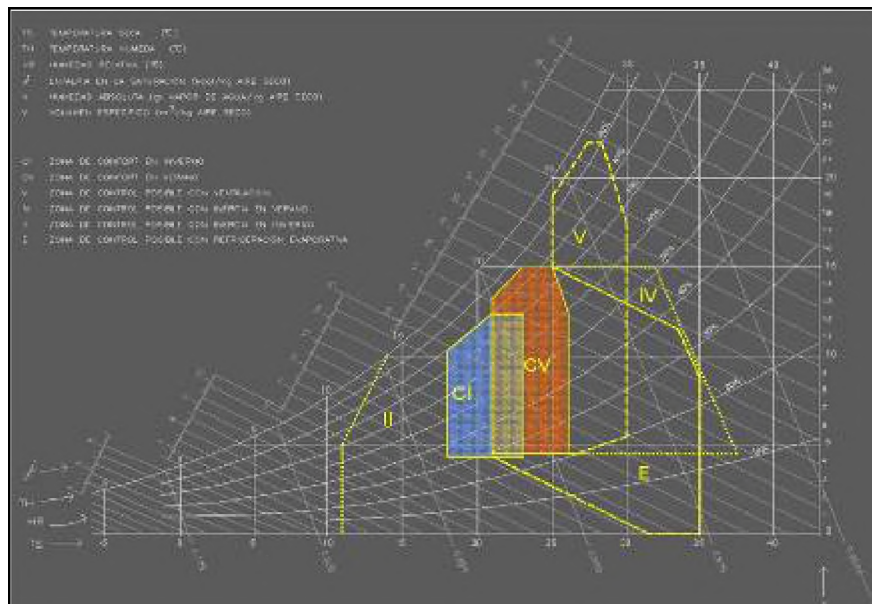
#### · Ábaco de Baruch Givoni

Mollier fue el primero en utilizar como coordenadas la entalpía y el contenido de humedad. ASHRAE desarrolló sus diagramas sobre la base de Mollier. El *Handbook ASHRAE of Fundamentals* (1988) define a la carta psicrométrica como una representación gráfica de las propiedades termodinámicas del aire húmedo. Se trata de una herramienta gráfica en la que puede ser localizada cualquier condición del aire atmosférico en que normalmente puede encontrarse el hombre. Esto quiere decir que cada punto de esta carta estará definido por un valor de la temperatura de bulbo seco del aire (BS), por un valor de bulbo húmedo (BH) y por lo tanto, de la relación de ambas lecturas por un valor de humedad relativa (HR). La temperatura del punto de rocío es la temperatura a la cual el aire con una determinada humedad, se satura y comienza a condensar el exceso de agua contenido en él. En la carta psicrométrica se localizan las

características climáticas de un lugar a partir de la representación de las temperaturas absolutas y medias mensuales y sus respectivos porcentajes de humedad.

A partir de la carta psicrométrica Givoni (1988) realiza un diagrama bioclimático, en considera zonas fuera de la de confort y donde es posible aplicar sistemas de corrección para lograr el confort deseado mediante el uso arquitectónico de estrategias bioclimáticas. Estas correcciones se podrían lograr mediante calentamiento pasivo, ventilación, inercia térmica con y sin ventilación y refrigeración evaporativa.

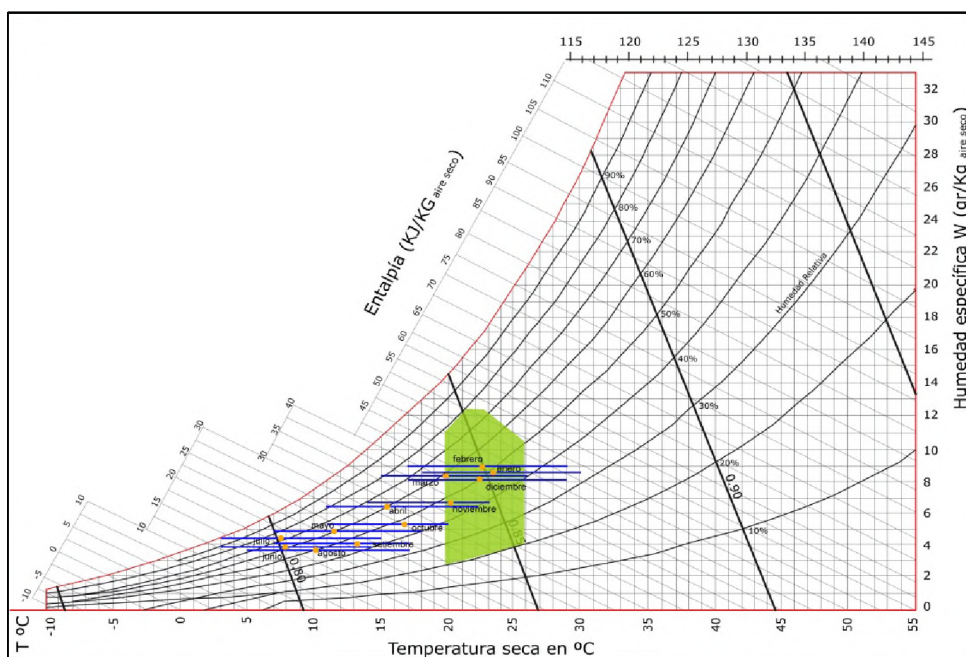
La *Figura II.14* muestra que la zona de confort de verano se encuentra entre los 21 y 26°C con una humedad relativa entre el 22% y el 85%. La zona de confort para invierno se considera a temperaturas más bajas, entre los 18 y 23°C debido a los factores relacionados al individuo. Las zonas de control con ventilación se encuentran hasta los 30°C con una humedad relativa de casi 95%. En verano puede lograrse confort, aplicando correcciones con inercia térmica para temperaturas de hasta 37°C siempre que la humedad no supere el 12%. Por último, la zona de confort aplicando recursos de refrigeración evaporativa se encuentra entre los 22°C y los 35°C con humedades relativas del 0% al 75%.



*Figura II.14.* Zonas de confort y corrección sobre el ábaco psicrométrico según Givoni

### II.3.1. CONFORT TÉRMICO EN MENDOZA

Se aplican las temperaturas de Mendoza al ábaco psicrométrico en la *Figura II.15* que incluye las zonas definidas por Givoni. De acuerdo a esto los rangos de confort en Mendoza, se definen entre los 20 y 28°C con un 20% a 80% de humedad relativa. Las temperaturas medias de los meses de verano (diciembre, enero y febrero) se encuentran dentro de la zona de confort, así como las medias de épocas estivales como noviembre y marzo. Luego las temperaturas máximas medias de los meses de abril, setiembre, octubre y noviembre, también se encuentran dentro de dicha zona.



*Figura II.15.* Diagrama psicrométrico para Mendoza

Según las estrategias que recomienda Givoni, en Mendoza, fuera de la zona de confort, es posible aplicar los siguientes sistemas de control pasivos para las distintas temperaturas (ver *Figura II.16*):

- Control posible con ventilación: para temperaturas de 26°C a 29,20°C, lo cual corresponde a las máximas medias de verano (meses de diciembre y febrero), con una humedad relativa entre el 24 y el 96%. Respecto al potencial nocturno si se considera la entalpía del aire 6°C y un límite superior de confort de 28°C, y 50% de HR, (delta de entalpía de refrescamiento 11 Kcal. Kg de aire); aprovechando la masa térmica se mantendría durante el día mayor nivel de frío.

- Aplicación de inercia: se incluyen las mismas temperaturas que con sistemas de ventilación, más la temperatura máxima media de enero ( $30,10^{\circ}\text{C}$ ), con humedades relativas entre el 15% y el 68%.
- La zona de control posible con inercia en invierno incluye para Mendoza un mayor rango de temperaturas, encontrándose aquí las mínimas medias de febrero, marzo, noviembre y diciembre. Las medias de abril, mayo y octubre. Y las máximas medias de los meses de invierno: junio, julio agosto y las de setiembre.
- Por último las temperaturas que se encuentran dentro de la zona de control posible con refrigeración evaporativa coinciden con las de inercia en verano, más las que corresponden a las máximas absolutas de junio, julio, agosto y setiembre.

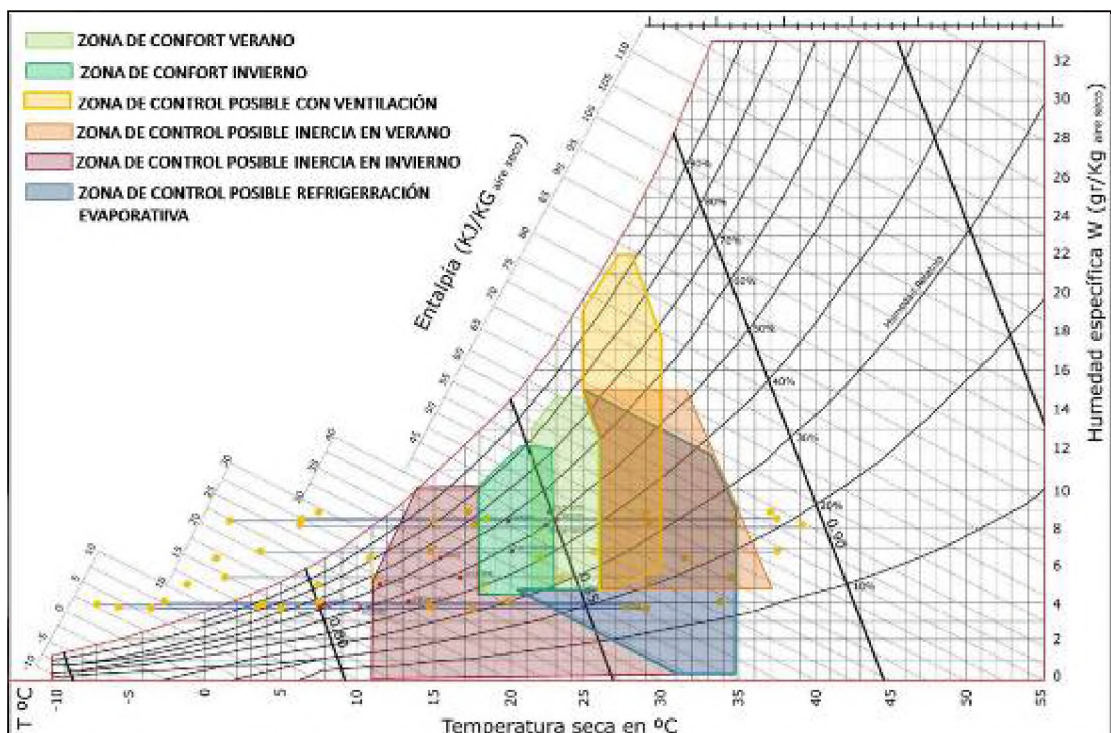


Figura II. 16. Zonas de control para Mendoza

### II.3.2. CONFORT ADAPTATIVO EN MENDOZA

*“Los rangos de temperatura sugeridos en condiciones aceptables de aire calmo, para personas que habitan países desarrollados, son  $20^{\circ}\text{C}$ - $27^{\circ}\text{C}$  para el 80% de personas en confort”. (Givoni, 1991)*

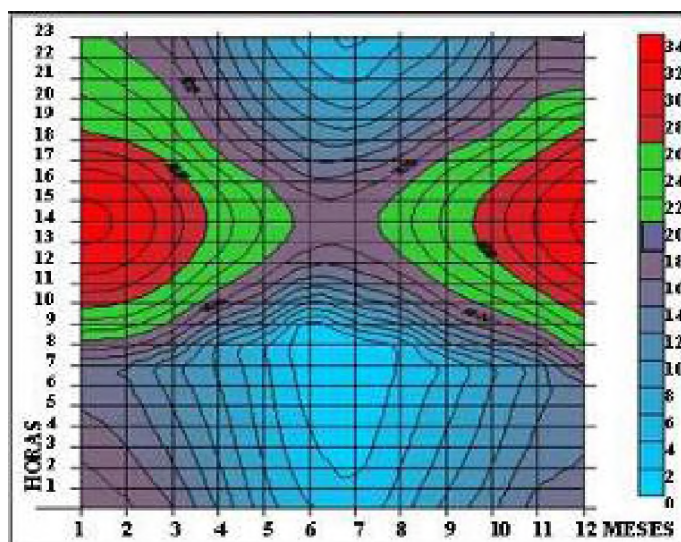
Para países en vías de desarrollo, el autor sugiere la flexibilización de  $2^{\circ}\text{C}$  de las temperaturas límite, es decir  $18^{\circ}\text{C}$ - $25^{\circ}\text{C}$  en invierno y  $22^{\circ}\text{C}$ - $29^{\circ}\text{C}$  en verano. El autor se refiere como “desarrollados” a los ámbitos con acondicionamiento mecánico central. Los habitantes

de espacios sin este tipo de acondicionamiento térmico toleran mayores diferencias térmicas (Ganem, et al, 2002).

Bajo condiciones de aire calmo (habitaciones con ventanas cerradas), para personas aclimatadas a climas cálidos y secos, la temperatura interior se debe mantener inferior a 27°C – 28°C. Este límite de confort que parece alto, pero es posible debido a la baja humedad. El límite superior de la zona de confort puede ser extendido incrementando la velocidad de aire interior con la ayuda de ventiladores de techo y de pared.

*“Con una velocidad de aire interior de aproximadamente 1.5 m/s el límite superior será de 29°C – 30°C. En invierno el objetivo será mantener la temperatura interior diurna superior a los 20°C, mientras que de noche las temperaturas interiores pueden llegar a 18°C” (Givoni, 1988).*

Estos datos posibilitan un criterio adecuado para poder ponderar la situación de confort en la ciudad de Mendoza. Se observa en la *Figura II.17* el calendario de temperaturas promedio para cada mes y hora del año para Mendoza. En el mismo se encuentra delimitada en verde la zona de confort. Los colores rojos representan temperaturas superiores, y los azules temperaturas inferiores a dicha zona.



*Figura II.17. Temperaturas promedio de la ciudad de Mendoza y su zona de confort*

## II.4. CONTEXTO EDIFICIO

### II.4.1. INICIOS DE LA EDIFICACIÓN EN ALTURA EN LA CIUDAD

En el *Anexo 1* se presentan los antecedentes históricos de los factores que conforman a la Ciudad-Oasis: trama urbana, acequias, árboles y arquitectura.

La edificación en altura en la ciudad de Mendoza, considerando como tal a las construcciones que superan los tres o cuatro niveles de altura (12 metros aproximados), se desarrolla a partir de dos hechos fundamentales: por un lado, la sanción nacional de la ley de propiedad horizontal de 1948 (ley 13.512 - sanción 30/09/1948) propicia un marco legal para el desarrollo de la tipología en altura. Y por otro lado, el fuerte crecimiento urbano de la década del '50 y '60 del Gran Mendoza (departamentos de Capital, Godoy Cruz, Guaymallén y Las Heras) como respuesta al crecimiento demográfico. Según los censos realizados la población del Área Metropolitana de Mendoza comenzando los años '40 era de 200.000 habitantes, mientras que hacia fines de los '60 ascendía a casi 600.000 (Ponte, 1987).

Hasta la década del '50, debido a las condiciones exigidas por la normativa de construcción vigente en este momento para Mendoza, *“la ciudad logra alcanzar un alto grado de homogeneidad edilicia, dada por una altura uniforme en los edificios, ya sea en el centro comercial como en la periferia”* (Ponte, 1987). Esta homogeneidad está dada por una altura que no supera en general los 12 metros de altura. Hasta ese momento, los edificios en altura no irrumpen de manera masiva impactando en el perfil de la ciudad.

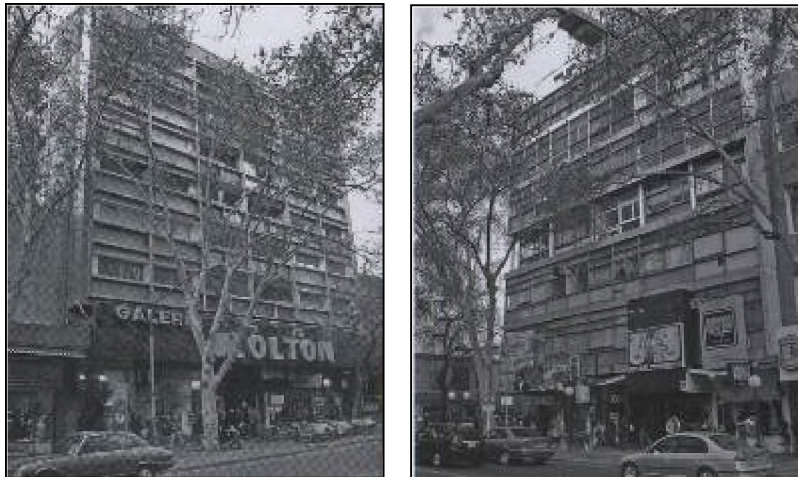
Sin embargo, a partir de esta década aparecen las primeras edificaciones compactas de entre cinco y seis pisos, adosados a las líneas divisorias de edificación, con características morfológicas similares. En la *Figura II.18* se puede observar un ejemplo de dicha tipología.

Por lo general las construcciones en este período presentan una envolvente en donde la relación de los elementos transparentes y los opacos está equilibrada y se adecúa a las características del microclima de “ciudad-oasis” en los que la radiación incidente llega matizada por el efecto de la arboleda urbana.



*Figura II.18.* Imagen actual de un edificio de la década del '50

Asimismo, diferentes empresas se dedican a la construcción de viviendas y oficinas de propiedad horizontal en el centro de la ciudad. Un ejemplo es la Constructora Kolton, que no sólo realiza edificios de departamentos para los estratos medios, sino que también continúa con el modelo de galerías comerciales en el interior de los edificios. Se observan en la *Figura II.19* dichas edificaciones, las cuales se transforman en obras características de la ciudad de Mendoza.



*Figura II.19.* Galería Kolton en la Av. San Martín entre Necochea y Las Heras y el "El Palacio de Cristal" en San Martín y General Paz

A partir del año 1972, se observa un punto de inflexión en la historia de la arquitectura mendocina. Esto es debido a la aprobación y puesta en vigencia del actual Código de Edificación de la Ciudad de Mendoza (desarrollado en el *Capítulo III*). La principal modificación en este, respecto del anterior, que impacta sobre la construcción en altura es la regulación de las mismas mediante un sistema de ángulos dentro de los cuales debe inscribirse el edificio. La morfología resultante consta de dos tipologías: una de *Basamento y torre* y otra de *Torre retirada* de las líneas divisorias. Ambas liberan espacio para el correcto desarrollo de la arboleda urbana y posibilitan un mejor acceso al recurso solar y brisas de los canales viales.

A partir de este código la configuración en la ciudad comienza un proceso de cambio. El desarrollo urbano crece con una morfología edilicia que presenta una tendencia uniforme y compacta, no superando en lo general (salvo contadas excepciones) los seis niveles de altura. Una cita del diario Los Andes (1982, en Ponte, 1987) hace referencia a esto:

*“La escasez de terrenos para viviendas y el lento reemplazo de las edificaciones antiguas, determina un desborde poblacional a los Departamentos. La valorización que se produce en los terrenos céntricos, hace que la edificación en torre se incremente sensiblemente, adquiriendo como medida óptima, la rentabilidad económica a edificios de 6 pisos”.*

La siguiente imagen (*Figura II.20*) muestra la tipología de edificación en altura que surge a partir de lo normado por el código.



*Figura II.20.* Edificios en altura con basamento y torre en la Av. Godoy Cruz

Las construcciones, en el caso de la tipología de Basamento y torre, mantienen la homogeneidad del perfil edilicio en el basamento y luego, la torre se retira de los límites municipales, sin sobrepasar el nivel del estrato acondicionado. Se observa en la arquitectura una preocupación por los aspectos climáticos ya que la mayoría de los casos presentan protecciones solares o balcones que hacen las veces de alero a los pisos inferiores.

#### II.4.2. LA CONVIVENCIA DE LOS EDIFICIOS EN ALTURA Y LA CIUDAD HACIA EL SIGLO XXI

El siglo XXI comenzó con un crítico panorama político y económico a nivel nacional y por ende provincial. El sector de la construcción ha presentado importantes altibajos, mostrando “(...) *ciclos heterogéneos del PGB (Producto Geográfico Bruto) durante la década analizada. Experimenta una importante depresión entre los años 1999-2002 con significativas caídas en su Valor Agregado Bruto (VAB). A partir del año 2003 el sector presenta un gran dinamismo, mostrando elevadas tasas de crecimiento.*” (DEIE, 2007). En la Figura II.21 se puede observar un gráfico que indica éstas variaciones económicas en el período de 2001 al 2010.

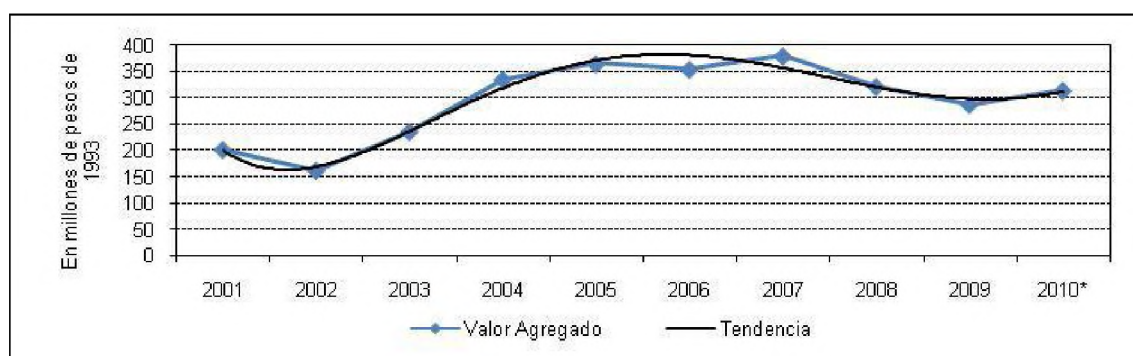


Figura II.21. Producto Geográfico Bruto. Valor Agregado del Sector Construcciones. Mendoza. Años 2001-2010. Fuente: DEIE y Facultad de Ciencias Económicas. UN Cuyo.

Se observa que luego de salir de la gran crisis del 2001, y mientras se volvía a una relativa estabilidad económica, grandes empresas constructoras, extranjeras en mayor medida, invirtieron en Mendoza hasta alcanzar, llegado el 2005, un alto grado de construcción en la ciudad.

Se advierte entonces una arquitectura que crece en cantidad, pero con una particularidad importante: las alturas son cada vez mayores. Hasta el momento la construcción en Mendoza se desarrollaba en diez niveles como máximo. Esto no se debe a una restricción específica limitante en la altura del edificio, sino que depende de un conjunto de ángulos desde los límites del terreno

en donde debe inscribirse el edificio (ver en Capítulo III: *Código de edificación actual*). A pesar de esta normativa las construcciones del siglo XXI no respetan dichas restricciones, debido a que se les han otorgado excepciones al Código de edificación, incrementando su altura por sobre los límites permitidos.

En un artículo del año 2007 el arquitecto De Rosa expresa lo siguiente: *“(...) Recientemente, los edificios Da Vinci y Sheraton, logrando excepciones al código de edificación, parecen haber abierto el camino para que en nuestra arbolada y sísmica Mendoza, la competencia por el edificio más alto se dé por iniciada (...)”* (De Rosa, 2007).

A partir de la construcción de las dos primeras edificaciones más altas de la provincia (Edificio Da Vinci y Hotel Sheraton) se abre un controversial debate al respecto en el que aparecen posturas encontradas: el fenómeno es, para algunos, una forma de apreciar el progreso de Mendoza. Desde ésta óptica, el hecho de que la provincia crezca en altura demuestra que está en el camino de convertirse en una gran ciudad.

*“(...) A la ciudad le viene bien encontrarse con este tipo de edificios que producen un efecto visual interesante. Además, hay que tener en cuenta que Mendoza es una de las capitales más importantes del país y, en este sentido, la arquitectura debe ir acorde con los tiempos que corren”* (Brkljacic, 2006).

En el extremo opuesto, se cree que estos edificios hacen perder el encanto de las montañas y los árboles que tanto enorgullecen a la ciudad, rompiendo el paisaje urbano.

*“La tendencia internacional a construir edificios cada vez más altos parecía hasta hace poco tiempo limitarse -felizmente- a las grandes ciudades de los países más ricos del hemisferio norte, convertidas en íconos de la exaltación del poder económico más que en ejemplos de lugares amigables para vivir”* (De Rosa, 2007).

Según un estudio estadístico realizado a base de encuestas y denominado: *“Evaluación subjetiva de la inserción de edificios en altura dentro de la trama consolidada. El caso de la ciudad de Mendoza”* (Bastias, 2008), se evidenciaron dos visiones de valoración respecto a los edificios en altura:

Por un lado, algunos sectores de la sociedad aprecian estos “objetos arquitectónicos” desde una idea de progreso y modernidad, es decir que la valoración está dada sólo a favor del edificio como objeto individual.

Por otro lado se observó que si bien la población reconoce aspectos positivos en cuanto a la materialización actual del edificio en altura, no está de acuerdo en la manera en que los mismos se insertan e integran a la trama urbana. El habitante reconoce desventajas ambientales y también relacionadas a la pérdida de la imagen tradicional de la ciudad. Esta situación es coherente con los conocimientos que se desprenden del ámbito académico en cuanto a los efectos de la tipología actual del edificio en torre sobre el sistema de ciudad oasis.

La falta de integración urbana-edilicia se explica en consecuencia al no respeto por el Código debido a las excepciones dadas al mismo, y por ende a la aparición de estos edificios en altura sin una planificación de conjunto previa. Esto implica una necesidad de reorientar el plan de ordenamiento de la ciudad, de manera de concentrar la construcción de edificios en altura en un área determinada y no tender a la dispersión de los mismos (Bastias, 2008).

En la *Figura II.22* una imagen de la ciudad muestra la articulación de dos de los factores de la Ciudad-oasis: la edificación y la arboleda urbana. Y en otra imagen similar -*Figura II.23*- se observan como dos edificios en torre sobresalen abruptamente por sobre el estrato urbano.



*Figura II.22.* Edificación y arboleda en la Ciudad-Oasis



*Figura II.23.* Edificios de tipologías en torre que sobresalen del estrato acondicionado

## II.5. REFLEXIONES DEL CAPÍTULO II

Mendoza presenta fuertes particularidades desde lo ambiental y sustentable, que hacen que se conforme como una ciudad destacada entre las provincias de Argentina. Por un lado se encuentra enmarcada por un paisaje privilegiado: la Pre-Cordillera de Los Andes; y por otro lado se caracteriza por ser una ciudad castigada desde el punto de vista sísmico. Además de estos puntos, la condición climática árida de la zona resulta por momentos dura en relación a las temperaturas extremas dadas a lo largo del año, a los bajos índices de humedad relativa y su consecuente escases en las precipitaciones.

Dentro de este marco, se observa una ciudad que se desarrolla a lo largo de la historia, manteniendo el valioso legado de los factores que la conforman. Por un lado, la trama en damero, con anchas calles y cinco plazas (una central y cuatro distribuidas ortogonalmente) constituyen el soporte físico o la estructura material, en el cual van a insertarse el resto de los elementos. Asimismo, las acequias y la arboleda -elementos urbanos con gran fuerza expresiva y significando- favorecen a la formación del estrato acondicionado que beneficia a las construcciones que se desarrollan bajo el mismo con sombra y humedad.

De esta forma, el sector edilicio y su morfología resultan fundamentales para el logro de un adecuado equilibrio en la relación de los elementos de la Ciudad. Se observa que las edificaciones construidas en sus orígenes, de una o excepcionalmente dos plantas, aprovechan los beneficios ambientales mencionados.

Asimismo, durante los primeros años del siglo XX, las construcciones incrementaron su altura llegando a un rango máximo entre 9 y 10 metros, continuando bajo la condición fresca que proporciona el arbolado durante el día en verano, y la protección climática que pueden brindar las ramificaciones durante la noche en invierno. En relación a la arquitectura residencial, las influencias extranjeras y la adaptación local a las mismas, hablan de la idiosincrasia provincial y nacional.

Llegado mediados del siglo XX, la población en el Gran Mendoza había crecido un 200% en 20 años. Sin embargo, este aumento de densidad no se ve reflejado mayormente en la construcción en altura. En esta época la ciudad alcanza un alto grado de homogeneidad edilicia. A finales del siglo XX, sin bien se comienza a hablar de especulaciones a nivel inmobiliario, la edificación en altura crece paulatinamente y en las construcciones se percibe el cuidado de la habitabilidad

tanto interior (mediante la utilización de materiales másicos y elementos de protección solar) como exterior (mediante el cumplimiento del basamento edilicio que protege la arboleda urbana).

Hacia el año 2010, el crecimiento en la población no es tan abrupto (65% en 40 años). Sin embargo, la ciudad ya cuenta con una imagen en la que se percibe la falta de integración edilicia y urbana: las nuevas edificaciones muchas veces no se relacionan adecuadamente a la ciudad que las contiene. Los edificios en altura no solo exceptúan el código sobrepasando las alturas mínimas y quedando totalmente expuestas a la condición climática exterior, sino que presentan materialidades livianas y transparentes que pueden perjudicar las condiciones térmicas de los espacios interiores en una ciudad de clima semi-desértico y con alta radiación solar anual.

En función de continuar con el presente estudio, en el próximo capítulo se analizan las reglamentaciones existentes a lo largo de la historia en la ciudad de Mendoza y su influencia en las tipologías de edificios en altura.

## II.6. REFERENCIAS AL CAPÍTULO II

- BASTIAS, L., GANEM, C., y CANTON, M.A. (2008). Evaluación subjetiva de la inserción de edificios en altura dentro de la trama consolidada. El caso de la ciudad de Mendoza. *Revista AVERMA Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 12. 147-154.
- BRKLJACIC, M. (2006). *Terminaron el último piso del edificio más alto de Mendoza*. Recuperado de <http://archivo.losandes.com.ar/notas/2006/12/13/sociedad-216345.asp>.
- DE ROSA, C. (2007). *El mega emprendimiento urbano. Algunas reflexiones para transmitir al colegio de arquitectos de Mendoza. El edificio más alto de la ciudad*. Mendoza.
- D.E.I.E. (2007). *Informe económico 2007. Sector construcciones*. Recuperado de [www.deie.mendoza.gov.ar](http://www.deie.mendoza.gov.ar). Mendoza.
- GANEM, C. (2002). Cuestionario para la solicitud de acceso al Doctorado “Àmbits de recerca de l’energia i el mediambient a l’arquitectura”. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona: UPC.
- GANEM, C. (2006). *Rehabilitación ambiental de la envolvente de viviendas. El caso de Mendoza*. Tesis Doctoral. Universidad politécnica de Cataluña. Barcelona.
- GIVONI, B. (1988). *Climate Considerations in Buildings and Urban Design*. Ed. Van Nostrand Reinhold, New York.
- GIVONI, B. (1991). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Building* 18. 11-23
- GOULDING, J., OWEN, J., STEEMERS, T. (1994). *Energy in Architecture. The European Passive Solar Handbook*. Bashford.
- INDEC (2010). Censo 2010. Recuperado de <http://www.censo2010.indec.gov.ar/>
- MITCHELL, J. (2004). ¿Oportunidad o riesgo en el hábitat? *Seminario Internacional Alternativas tecnológicas frente a los desastres en el hábitat popular latinoamericano*. Mendoza.
- IRAM (1996). *Normas 11.603. Acondicionamiento térmico de edificios. Clasificación bioambiental de la República Argentina*.
- OWEN, J. (1999). *Principes and practice of sustainable Arquitectural Design*. Earthscan.
- OLGYAY, V. (1963). *Arquitectura y Clima. Manual de Diseño Bioclimático para Arquitectos y Urbanistas*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.

OLGYAY, A.; OLGAYAY, V. (1976). *Solar Control and Shading Devices*. Princeton: Princeton University Press.

PONTE, R. (1987). *Mendoza. Aquella Ciudad de Barro*. Mendoza: Municipalidad de la Capital.

ROAF, S., CRICHTON, D., NICOL, F. (2005). Adapting Buildings and Cities for Climate Change - A 21st century survival guide. *Architectural Press*—An Imprint of Elsevier, Oxford.

SERRA FLORENSA, R., COCH, H. (1995). *Arquitectura y Energía Natural*. Barcelona: UPC.

### **III. CONTEXTO NORMATIVO EN RELACIÓN A LA EDIFICACIÓN EN ALTURA**

### III.1. ORÍGENES DE LAS REGLAMENTACIONES EDILICIAS EN LA CIUDAD DE MENDOZA

Las primeras legislaciones en la ciudad de Mendoza aparecen luego del terremoto de 1861, para la reconstrucción en su antigua localización. Es así que el primer intento de legislación que aparece es la “Ley Nazar de 1861”, la cual, entre otras consideraciones, hace referencia al control de alturas, prohibiéndose la edificación de muros más altos de 8 varas (aproximadamente 6,67m, siendo 1 vara: 0.833m). Pero esta ley no logró llevarse a la práctica debido a la caída política de los gobernantes de la época. Luego, en julio de 1862, se sanciona otra ley que contiene artículos referidos nuevamente a su recuperación, pero en ninguno de ellos se mencionan alturas máximas de edificaciones.

El primer antecedente referido al control municipal de las alturas de la edificación se encuentra en la legislación de la “Nueva Ciudad” de 1863.

Una vez asentadas las bases y normas de la Nueva Ciudad, se pasa por un período sin antecedentes en cuanto a reglamentaciones. A partir del siglo XIX fue notorio el crecimiento edilicio de la ciudad, la cual estaba llenando su traza. Así se hizo necesario un Reglamento Municipal de Construcciones, y es por ello que en 1902 se regula por primera vez la normativa.

A continuación se producen modificaciones en el reglamento: en 1927 el mismo se transforma en Reglamento General de Construcciones, en 1944 surgen una serie de normas antisísmicas, luego las reglamentaciones referidas a la morfología urbana en 1952, hasta llegar al denominado Código de Edificación de 1972. Por último en el año 2010 se realizó la última modificación a la normativa.

Debido a las valiosas características de ciudad-oasis estudiadas, y al hecho de que al mismo tiempo Mendoza presenta las condiciones de una ciudad que se va densificando en forma desordenada sin responder a una planificación integral, interesa el estudio de los códigos de edificación en la ciudad.

El actual código permite la construcción de edificios en altura que superan ampliamente el microclima de oasis. Por este motivo, y por la importancia de las normativas en el camino hacia la sustentabilidad, se desarrolla en el presente capítulo el estudio de la evolución de los distintos reglamentos de edificación para Mendoza. Se estudiarán las siguientes cinco reglamentaciones:

- I. Primer Reglamento Municipal de Construcciones (1902)
- II. Reglamento General de Construcciones (1927)
- III. Normas antisísmicas (1944) y Reglamentaciones referidas a la morfología urbana (1948-1952)
- IV. Código de Edificación (1970)
- V. Actualización al Código de Edificación (2010)

Se analizarán en primer lugar los antecedentes históricos que motivan a sus formulaciones, luego las reglamentaciones puntuales en los aspectos referidos a: retiros, alturas, basamento y ocupación del suelo; viendo en cada caso su aplicación y cómo influenciaron morfológicamente en la construcción.

## III.2. MORFOLOGÍA, MATERIALIDAD Y TENDENCIAS ARQUITECTÓNICAS SEGÚN LOS CÓDIGOS DE EDIFICACIÓN

### III.2.1. PRIMER REGLAMENTO MUNICIPAL DE CONSTRUCCIONES (1902)

#### III.2.1.1. ANTECEDENTES

El primer antecedente respecto al control municipal de las alturas de la edificación se encuentra en la legislación de la Nueva Ciudad en 1863 (altura de 5 varas alrededor de la plaza central de la ciudad). Luego, la referencia más inmediata sobre la necesidad de la existencia de esta reglamentación se encuentra, en 1896, en el “Informe sanitario sobre la Provincia de Mendoza”, donde dentro de un amplio contexto se dan recomendaciones higiénico-sanitarias y sobre las edificaciones.

*“No se sabe si la reglamentación puesta en vigencia tomó como modelo alguna extranjera, pero lo más probable es que se haya basado en alguna existente en ese momento en Buenos Aires”.*  
(Ponte, 1987)

El reglamento de construcciones para Mendoza consta de 13 artículos, cuyo contenido se divide en los siguientes capítulos (en negrita los que luego se analizarán):

1. Permisos para edificación, reedificación, refacción, etc.
2. **Alineación de los edificios**
3. Construcciones en mal estado
4. **Alturas de techos**, fundación de los mismos, habitaciones, etc. de los edificios
5. Decoración de las fachadas- Miembros de arquitectura; Construcciones de madera, Toldos
6. Precauciones obligatorias en las construcciones o demoliciones. Responsabilidades
7. **Muros material y espesor**, según las diferentes afectaciones o ubicación inspección de las obras en los varios períodos de su construcción, certificados correspondientemente
8. Edificios destinados a recibir concurso público. Precauciones contra incendios
9. Sótanos, Pesebres, Sumideros, Letrinas, Albañales, Albercas, Materiales que causan humedad a las paredes
10. Obras de pavimentación. Compactación. Excavaciones. Aguas detenidas. Objetos estorban té. Desmontes de terrenos. Hornos de ladrillos
11. Disposiciones generales para las construcciones de edificios, casa de vecindad, conventillos, etc.
12. Penalidades

#### III.2.1.2. RETIROS Y ALTURAS

En el primer capítulo del Reglamento se institucionaliza la fachada construida al ras de la línea municipal, incluso la ornamentación no puede superar los 0,15m respecto de dicha línea.

En cuanto a la alineación de los edificios se reglamentan los retiros hasta 2 metros de la línea municipal. Estos se consideraban como una posible expansión de las veredas, pero en caso de retirarse más de esta distancia se requería un cierre a nivel de línea municipal que consistía en rejas o verjas.

En el apartado referido a las alturas se reglamentan las mismas de los edificios según el número de plantas. Para las construcciones de una planta la altura mínima era de 6m y para las de dos plantas la altura máxima era de 13m, quedando exceptuadas las calles de 30m de ancho donde los edificios de dos plantas podían llegar a 16m. Igualmente las edificaciones de carácter público (templos, teatros, etc.) quedaban exceptuadas. La altura se consideraba desde el nivel de vereda hasta el nivel de la cornisa, excluyéndose balaustradas, mansardas, etc.

Por último en el capítulo sobre materiales se regula la prohibición de edificios de más de una planta si la construcción fuera de adobe.

### III.2.1.3. ARQUITECTURA RESULTANTE: MORFOLOGÍA, MATERIALIZACIÓN Y TENDENCIAS ARQUITECTÓNICAS

El reglamento, con vigencia hasta 1927, ayudó a definir la morfología urbana del período. Se observa una primera aproximación a una uniformidad edilicia, tanto por lo que respecta a las alturas, como a la alineación de las construcciones sobre la línea municipal, generando continuidad. Esta homogeneidad está dada por el aprovechamiento de la construcción de la Nueva Ciudad y la experiencia de la ciudad anterior (devastada por el terremoto). Si bien se permiten altura superiores (de 16 metros) en avenidas o calles anchas, las mismas se encuentran bajo el estrato acondicionado por el verde urbano ya que en dichas vías de circulación el arbolado de alineación está conformado por plátanos que llegan a alturas de 18 a 20 metros.

Una publicación del gobierno provincial en 1909 pone en valor tanto el crecimiento de la ciudad nueva como la rehabilitación de la antigua, diciendo:

*(...) “el buen sentido popular ha rehabilitado el terreno de las ruinas, y hoy se edifica en él con la misma actividad que en la ciudad nueva, habiendo desaparecido ya las calificaciones de “pueblo nuevo” y “pueblo viejo” (...) No es necesario describir la edificación: puede suponerse el progreso en este sentido desde varios años que Mendoza ha tomado vuelo de gran ciudad. No solo se nota el aumento constante edificación por todos lados, sino de reconstrucción suntuosa de edificios que ya eran de importancia y se convierten a los nuevos sistemas adaptados para seguridad contra los movimientos terrestres; demostrándose además, cuando gana la ornamentación de la ciudad con los nuevos sistemas de edificación adaptados a este propósito, pues los materiales dominantes de hierro y madera, agregan a la solidez las combinaciones estéticas que juegan bien en el pintoresco aspecto general” (Latznina, 1910).*

La tipología arquitectónica resulta de volúmenes prismáticos, en “L” o “U” provenientes de las viviendas italianizantes o tipo “chorizo” propias de la época. Uniformes y homogéneas, se constituyen en un bloque de una sola planta (de 6 a 8 metros), generalmente con un patio central que comunica las habitaciones, que suelen ser bajas y amplias; y, aunque son pocos los ejemplos, existen también viviendas de dos niveles de altura (13 a 16 metros). En cuanto a la materialización

prevalece lo macizo del adobón o la tapia. En la *Figura III.1* se presentan distintos ejemplos de ellas.

En la *Figura III.2* se pueden observar imágenes de edificios administrativos y religiosos que funcionaron como hitos de la ciudad. La Basílica de San Francisco (*Figura III.3*) de tendencia neorromántica, levantada hacia 1875, sobresale en altura ya que fue el primer templo que se reconstruyó después del terremoto de 1816.

Por otro lado, el inicio del siglo XX, el uso del hormigón armado constituye una revolución tecnológica en la construcción ya que significa un gran avance en relación al riesgo sísmico de la zona.

Éste hecho tecnológico coincide en Mendoza con la incorporación de edificios del *Art Nouveau* (*Figura III.4*) y del Clasicismo, (*Figura III.5*), por lo que se consolidan construcciones de envergadura, tanto públicas como privadas, de varios niveles, edificios que han perdurado en el tiempo, constituyéndose hoy como hitos de la arquitectura mendocina.

La incorporación del hormigón armado como acontecimiento técnico cambia todo el panorama de la arquitectura mendocina. *“Más allá del lenguaje de las formas, que pueden ser Art Nouveau o mantener las disposiciones académicas, el verdadero protagonista es el acontecimiento técnico”* (Guaycochea, 1980).

La seguridad del sistema permitió la construcción de viviendas de varios pisos o edificios públicos de envergadura. Ejemplos de ello son: el Colegio Nacional, la actual sede del Diario Los Andes y la actual Dirección de Turismo (*Figura III.6* en orden de izquierda a derecha).

Sin embargo las viviendas construidas en el 1800, con frente de adobe, divisiones interiores de muros de tapia y cimientos de piedra, conviven por más de medio siglo con las nuevas edificaciones antisísmicas. Si bien el primer reglamento de 1902 no permite edificios de adobe de más de una planta, según el Censo Provincial de Población de 1909 las viviendas construidas con adobe en Mendoza representaban el 90% del total de las casas (Cerdá, 2008).



Figura III.1. Viviendas de una y dos plantas de adobe al ras de la línea de edificación



Figura III.2. Antigua Municipalidad y Banco de la Provincia de Mendoza



Figura III.3. Basílica de San Francisco



Figura III.4. Pasaje San Martín. Art Nouveau



Figura III.5. Edificio residencial clasicista



Figura III.6. Edificios públicos de envergadura construidos con H°A° existentes

### III.2.2. REGLAMENTO GENERAL DE CONSTRUCCIONES (1927)

#### III.2.2.1. ANTECEDENTES

A partir de la formulación del reglamento de 1902, que ayudó a definir la morfología urbana de la ciudad, a hasta la década del '20, la idea de progreso comienza a verse tanto en la planificación urbana como en el crecimiento edilicio.

Encontramos un antecedente referido al control de las alturas y retiros en una propuesta trunca en 1915 para la capital, en donde, dentro de las condicionantes paisajísticas para la Avenida del Este (actual Costanera) un artículo establecía que en ella sólo se permitiría la construcción de edificios con fachadas de altura mayor a 10m y ubicadas a 10m hacia dentro de la línea general de cierre.

Finalmente, un factor determinante para la confección de estas normas fue un terremoto en abril de 1927. Por tal motivo se hace especial énfasis en las recomendaciones constructivas y la precaución por los temblores.

Los artículos se refieren a (en negrita los que luego se analizarán):

- 1) Exigencias por parte de la Municipalidad del respaldo de profesionales y técnicos para las construcciones a realizarse
- 2) Causas que provocan las sanciones y penalidades
- 3) Tramitaciones necesarias para edificaciones, reedificaciones y refacciones
- 4) **Condiciones de los alineamientos de edificios** y características de las ochavas
- 5) Formas y calidades de las fundaciones
- 6) **Alturas mínimas y máximas** de fachadas y salientes
- 7) Estilo arquitectónico y decorativo (libre, mientras no se oponga al “decoro público, a la estética y a las reglas del arte”)
- 8) Prohibición de pintar totalmente de blanco el frente de los edificios
- 9) Espesores de muros, tipo de materiales y sistemas constructivos (las construcciones antisísmicas no son requisito obligatorio)
- 10) Alturas mínimas interiores para viviendas y hoteles
- 11) Superficies mínimas para patios de ventilación

- 12) Instalaciones y depósitos. Precauciones contra incendio
- 13) Construcciones en mal estado. Precauciones obligatorias en demoliciones
- 14) Requerimientos de materiales para veredas en calles pavimentadas

#### III.2.2.2. RETIROS Y ALTURAS

Una variación respecto al reglamento de 1902 es la permisión de ornamentaciones, siempre que se hagan a partir de los 2,50m de altura. No se permiten cuerpos salientes del edificio más allá de la línea de edificación municipal. Los retiros internos a la línea municipal, mayores a 1,6 deben cerrarse en el frente con rejas y/o balaustradas de 2m de altura como mínimo.

La altura mínima de las fachadas para edificios en planta baja es de 4,10m. Para calles principales la altura mínima es de 8m. Las plantas altas deben ocupar la totalidad del frente en una profundidad de 5 m.

Pueden construirse balcones a partir de los 2,50m, no debiendo superar éstos 1,20m de la línea de edificación y cuando fueran cerrados, no superar su extensión, 1/3 del frente.

#### III.2.2.3. ARQUITECTURA RESULTANTE: MORFOLOGÍA, MATERIALIZACIÓN Y TENDENCIAS ARQUITECTÓNICAS

Se consigue con el nuevo reglamento, el logro de una mayor uniformidad ya que se refuerzan, haciéndose más específicas las condiciones de alineamiento en los edificios. Las alturas mínimas disminuyen por la concientización de los riesgos sísmicos, sin embargo no se limitan alturas máximas en calles principales, en las que la altura mínima se amplía a 8 metros. Estas medidas contribuyen a una mayor diferenciación entre los perfiles pertenecientes a arterias principales de la ciudad en los que se construirán edificios en altura y el resto de las calles de carácter mayormente residencial, tendiendo a un orden en la estructura urbana.

Por otro lado, a partir de las primeras décadas del siglo XX comienza a tomar forma la ciudad que se había generado conceptualmente a fines del XIX, y aparecen edificios con influencia modernista. A raíz del gran crecimiento de la población debido al arribo masivo de inmigrantes al país y a la provincia, la construcción de viviendas aumenta significativamente, alcanzando valores de habitantes por Ha que solo se superan en la década de 1940.

En esta etapa el tipo de vivienda predominante sigue siendo el del período anterior, de características italianizantes. En la *Figura III.7* se observa una fachada continua de las popularmente llamadas casas “chorizo”. Sin embargo, aparecen también importantes construcciones de viviendas con características neo-clásicas (*Figura III.8*).

A partir de la década del '30 aparecen en Mendoza las primeras construcciones influenciadas por el Movimiento Moderno europeo, el cual se refleja tanto en viviendas unifamiliares, (llamadas vulgarmente “casas barco”), así como en edificios hospitalarios, recreativos y en viviendas multifamiliares (*Figura III.9*). El Racionalismo –similar en mayor medida al alemán- deja su impronta en la ciudad debido a la labor de destacados arquitectos mendocinos que se encuentran influenciados por el movimiento. De esta manera una nueva estética en las construcciones, expresadas mediante el uso del hormigón y abstracciones geométricas, se deja ver en edificios públicos y viviendas. En la *Figura III.10* se puede observar el primer conjunto habitacional en la ciudad de viviendas en propiedad horizontal (actual Barrio Cano).



*Figura III.7.* Fachada continua de edificación típica de la arquitectura de principio de siglo



*Figura III.8.* Construcciones de viviendas de principios de siglo XX



*Figura III.9.* Construcciones influenciadas por el Movimiento Moderno europeo

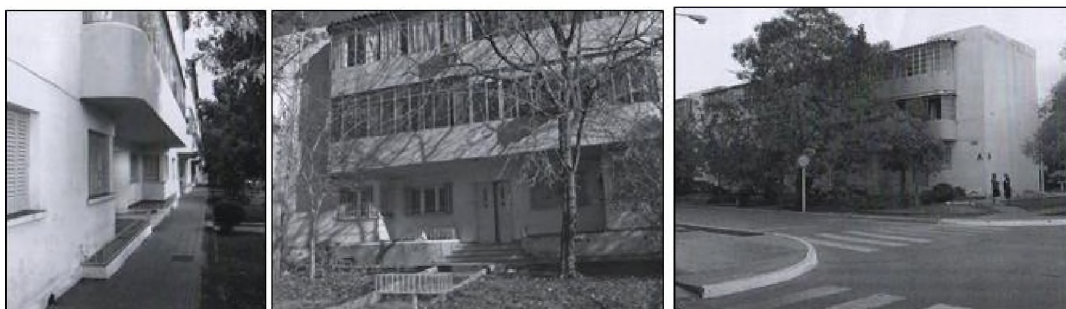


Figura III. 10. Primer conjunto habitacional de viviendas en propiedad horizontal en Mendoza

### III.2.3. NORMAS ANTISÍSMICAS (1944) Y REGLAMENTACIONES REFERIDAS A LA MORFOLOGÍA URBANA (1948-1952)

#### III.2.3.1. ANTECEDENTES

En la década del 30 se genera en Mendoza una explosión urbana debido a la crisis económica nacional que afecta a la provincia. La emigración de la población del campo a la ciudad, hace que la preocupación urbanística por parte de los gobernantes aumente considerablemente, y en 1940, se realiza una convocatoria internacional para la formulación de un Plan Regulador para la ciudad de Mendoza. Resultan ganadores del concurso dos uruguayos y dos argentinos, quienes a principios de 1941, luego de desarrollar un estudio específico, presentan un diagnóstico de la Ciudad existente (Ponte, 1987). El mismo plantea problemas latentes del urbanismo local refiriéndose, entre otros aspectos, a la conveniencia de detener la extensión irracional de la edificación y a la necesidad de una revisión del Reglamento General de Construcciones. Cometarios textuales, que parecían anticiparse a lo que iba a ocurrir algunas décadas después, dicen:

*“En un afán suicida de acumular locales, se han eliminado los viejos y hermosos jardines en los fondos y se han angostado los patios, suprimiendo el sol, y disminuyendo la ventilación con la depreciación consiguiente del valor locativo y del bienestar de cada ambiente. El centro de Mendoza no posee hoy más elementos verdes que los de las calles; la edificación ha invadido hasta el corazón de cada manzana. (...) Tal excesivo aprovechamiento del suelo se justificaría en una ciudad que careciera de baldíos, que hubiera alcanzado una densidad elevada de población, o que el torbellino de su vida activa hubiera aumentado grandemente el valor del suelo. Mendoza se halla felizmente muy lejos de haber alcanzado esos límites. La circunstancia de poseer un*

*predominio enorme de casas bajas y de edificación anticuada la pone en condiciones de poderla mejorar paulatinamente mediante adecuadas disposiciones en su reglamento.” (...) (Ponte, 1987 citado de A.L. Mza, Decreto 731, 1938).*

En 1941 se proyecta el “Plan Regulador para la ciudad de Mendoza”. Uno de sus autores, el arquitecto Bereterbide, fundamenta la propuesta con las siguientes palabras: *“El propósito fundamental es que Mendoza sea ciudad. Ciudad con alma; ciudad acorde con su gran destino, que es el que evidenciará cuando su armonía interior sea perfecta. Para esto, no precisa de gran tamaño, si no fuerza de procreación, (...) es suma, es propósito fundamental que Mendoza llegue a tener plenitud por sí misma, y, por lo tanto, dimensión adecuada, función armónica y límites proporcionados”* (Bereterbide, 1941).

Se sugiere entonces un plan de gobierno conformado por variadas propuestas que van desde la formación de una conciencia cívica y urbanística, hasta el planteo de la imprescindible preparación de un nuevo código de edificación y parcelamiento, que comprenda, entre otros aspectos:

- Establecer requisitos de idoneidad para quienes proyecten los nuevos edificios.
- Zonificación de la ciudad por altura de edificios.
- Zonificación de la ciudad por áreas edificables y espacios libres contiguos.
- Establecer retiros de frente o costado según zonas: se establece un retiro obligatorio hacia el interior de la línea de edificación en calles existentes dentro de sectores edificados.
- Establecer un régimen parcial de alturas uniformes y de arquitectura ordenada.

Si bien dos años después de la convocatoria se aprueba mediante una ordenanza el Plan Regulador, este queda supeditado al final asentimiento por parte del Departamento Ejecutivo Provincial. Al no concretarse este hecho el intendente de la ciudad se refiere al tema expresando que *“el Plan Regulador está en el aire, debido a que no ha presentado los recaudos indispensables para convertirlo en un cuerpo legal de obligatoriedad”*.

Según Ponte (1987) el plan no fue llevado a la práctica a causa de que las razones que movilizaron a los gobernantes a su publicación fueron sólo estéticas y formales; y al ver, finalmente, que el mismo contenía fundamentos políticos fuertes, no se llevó a la práctica. En palabras del autor *“la ideología del partido gobernante no concordaba con esta propuesta que estaba impregnada del idealismo social de los Congresos Internacionales de Arquitectura Moderna (CIAM)”*.

Sin embargo, si se aprovecharon algunas recomendaciones urbanísticas, como el emplazamiento del actual Centro Cívico y del Acceso Este.

Por otro lado, a causa de un terremoto en la ciudad vecina de San Juan que destruye totalmente a la ciudad (caso similar a lo que ya había ocurrido en Mendoza en 1861), se aplican en 1944 normas antisísmicas, que modifican el código de 1927.

Finalmente, se establecen nuevas reglamentaciones referidas a la morfología urbana, debido en parte al auge en la construcción promovida por el gobierno y por la situación política-social del país perteneciente a un período de “Nacionalismo Popular”, mediante ordenanzas dictadas entre 1948 y 1952.

---

#### III.2.3.2. RETIROS Y ALTURAS

Dentro de las Reglamentaciones dadas entre 1948 y 1952 quedan establecidas las alturas de las fachadas de edificios a construirse según las avenidas, calles y frentes de plazas en las que se encuentren. Estas son:

- **Altura mínima de 18m:** Av. San Martín (entre Córdoba y Rondeau y Godoy Cruz y Pedro Molina)
- **Altura mínima de 15m:** Av. Sarmiento (entre San Martín y Patricias), Garibaldi, Av. Las Heras, Necochea, Buenos Aires, Gutiérrez y Lavalle.
- **Altura mínima de 11m:** 9 de julio, General Paz, Espejo, Catamarca y San Juan.
- **Altura mínima de 7m:** Av. Sarmiento (entre Chile y Belgrano), Av. Leandro N. Alem, Colón, Belgrano, Pedro Molina, Godoy Cruz y Vicente Zapata.

Plazas:

- Plaza San Martín: altura mínima 18m.
- Plaza Independencia: altura mínima 15m.
- Plazas: España, Chile, Italia y Sarmiento: altura mínima 7m.

En la *Figura III.11* se presenta un plano de la ciudad con las calles, avenidas y frentes de plazas diferenciadas según las alturas mínimas normadas.



*Figura III.11.* Plano de la ciudad de Mendoza según alturas mínimas dictadas en las reglamentaciones de 1948 y 1952

Asimismo, en 1948 se sanciona la Ley Nacional 13.512 de propiedad horizontal, lo cual hace que se incorpore paulatinamente en la provincia una nueva modalidad: los edificios en altura; modalidad que si bien se había iniciado a partir de 1927, toma más fuerza al poseer una legislación que la ordena.

### III.2.3.3. ARQUITECTURA RESULTANTE: MORFOLOGÍA, MATERIALIZACIÓN Y TENDENCIAS ARQUITECTÓNICAS

El gran crecimiento en la construcción en las décadas de 1940 y 1950 provoca una modificación de la ciudad respecto a la fisonomía e imagen. Una de las causas de esto es la llegada a la provincia de empresas constructoras que contribuyen a la difusión de la Propiedad Horizontal, integrando a la ciudad la tipología del edificio en altura.

En este período la normativa aumenta las alturas mínimas establecidas en el código anterior, con el fin de dar jerarquía a ejes viales y espacios verdes públicos. Si bien se continúa sin establecer alturas máximas, el código se refiere de la siguiente manera a las alturas establecidas: *“Estas alturas podrán edificarse de acuerdo al ambiente de su habitabilidad pero sobre su fachada se guardará armonía con los edificios contiguos”*.

Resulta en este período una nueva tipología de vivienda con una altura de seis o siete niveles como máximo (25m), cuyas fachadas se encuentran en la línea de edificación, con patios interiores en la mayoría de los casos. Si bien el desarrollo tecnológico y en densidad provoca el aumento de construcciones de mayores alturas respecto al periodo anterior, en la etapa en estudio se continúa observando una situación urbana continua, y edilicia homogénea y uniforme. En la *Figura III.12* se pueden ver ejemplos de estos edificios con fachadas planas, sin elementos salientes de protección solar.

Sin embargo, en otros edificios de la época (*Figura III.13*) se comienza a visualizar la utilización de espacios intermedios, como son los balcones, así como celosías de madera, toldos y persianas, ofreciendo protecciones solares a la condición climática de la ciudad oasis.

Respecto a las tendencias arquitectónicas Guaycochea de Onofri (1980) expresa que si bien el Racionalismo se afianza con construcciones fuertemente abstractas que constituyen la expresión de la vanguardia, lo común resulta encontrar una actitud intermedia: la de un Organicismo que adopta los volúmenes cúbicos y las losas planas pero asociados a la piedra, al ladrillo, al hormigón bruto, y a la madera.

Por otro lado, Ponte (1987) afirma que a partir de las estas normas, se infiere la intención de erradicar el uso del adobe, mientras que hacia mediados del siglo resulta difícil definir una tendencia arquitectónica dominante: el Racionalismo convive con tendencias Pintoresquistas y Neocoloniales, por lo cual el Eclecticismo parece ser una constante en la arquitectura de Mendoza.

En la *Figura III.14* las fotografías muestran edificios administrativos y gubernamentales con diferentes tendencias arquitectónicas que representan hitos de la ciudad. De izquierda a derecha (*Figura III.14*): el Edificio Gómez de tendencia *Art Decó*, construido en 1956, sobresale en altura y evoca con líneas rectas, escalonamientos y remates a los rascacielos de las grandes ciudades. El edificio de la Casa de Gobierno, de tendencia neo-clasicista, constituye un ejemplo en la época del Nuevo Plan Urbano; y el edificio del Correo Central representa al racionalismo.



Figura III.12. Edificios sin retiros, entre 5 y 7 niveles de altura sin elementos salientes de protección en las fachadas



Figura III.13. Edificios con elementos (balcones) que ofrecen protecciones a la condición climática de la ciudad oasis

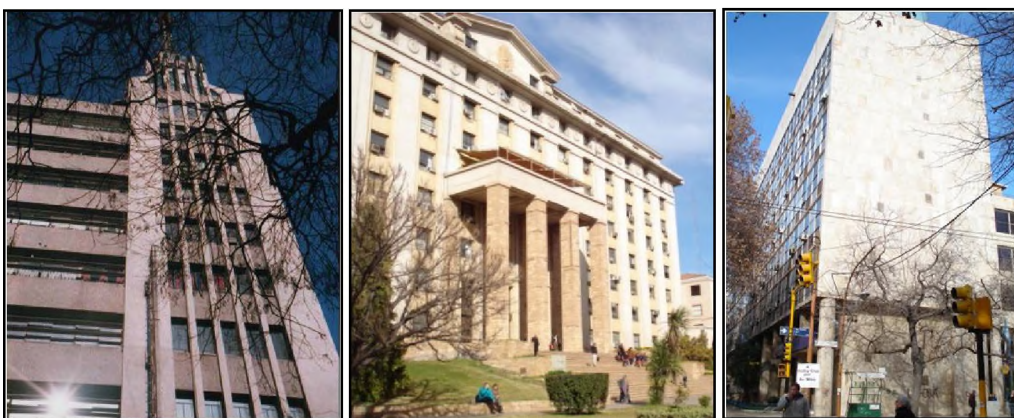


Figura III.14. Edificios en altura “hitos” en la ciudad de Mendoza: Art Decó, Neoclasicismo y Racionalismo

### III.2.4. CÓDIGO DE EDIFICACIÓN (1970-2010)

#### III.2.4.1. ANTECEDENTES

A finales de la década del 50 la preocupación por el tema urbanístico y edilicio en la ciudad hace que desde los sectores políticos se plantee la necesidad de confeccionar un “Código de Edificación” para la ciudad de Mendoza, de esta forma en 1958 se dicta una resolución con dicha finalidad. Al año siguiente se conforma una “Comisión especial de Desarrollo Urbano y Planificación”, la cual preveía fondos para la contratación de personal especializado, y las acciones a emprender se orientan de acuerdo a cinco criterios:

- 1- Separar en dos grandes temas las tareas a realizar: a) el planeamiento urbano de la Ciudad de Mendoza; b) la redacción de un Código de Edificación.
- 2- Suspender la confección del Código hasta tanto se resolvieran los problemas pendientes de planeamiento.
- 3- Estudiar antecedentes y recopilar datos fundamentales para generar disposiciones a aplicar.
- 4- Contratar un técnico urbanista, mediante un concurso nacional de antecedentes.
- 5- Contratar un profesional especializado para redactar el capítulo “Prescripciones de estabilidad de los edificios” a insertarse en el Código.

El concurso del técnico urbanista es ganado por el arquitecto italiano radicado en Mendoza Enrico Tedeschi, quien redacta un informe preliminar y luego una monografía conocida como el “Informe Tedeschi” que consistía en 17 capítulos con textos, fotografías, apéndice de documentos, y planos de ilustraciones y complementos.

Según Ponte (1987) dicho informe constituyó el segundo intento del Movimiento Moderno de pensar en función de prospectiva urbana la problemática de la ciudad de Mendoza. (El primero de estos intentos en la arquitectura y el urbanismo local había sido el “Plan Regulador del 41”).

Posteriormente, en 1961 fue presentado el “Informe Final” elaborado por la oficina de Planeamiento Urbano y Código de Edificación. La síntesis del informe publicada contenía el siguiente temario en relación al análisis de:

- Paisaje natural: concepto de paisaje, terreno, sismos, hidrografía, clima y vegetación.
- Paisaje cultural: Región y Ciudad: la ciudad como hecho histórico, físico, estético y como empresa económica.
- Demografía general y situación social-económico.
- Estado de las edificaciones.
- Servicios públicos, sociales y culturales.
- Vialidad y transporte.
- Actividades industriales, comerciales y turísticas.
- Estructura urbana.
- Normas de Edificación.
- Situación administrativa.

Dentro del análisis de la ciudad como hecho físico se manifiestan los temas de: a) trazado; b) edificación como cuerpo de la ciudad con carácter urbanístico, funcional, constructivo y estético; c) vialidad; y d) la importancia fundamental del verde y el agua para definir el paisaje cultural de Mendoza. Se hace referencia a la necesidad de defender el verde y mantener el carácter de ciudad parque.

La crítica fundamental de este informe radica en la falta de disposiciones en la normativa para llevarlo a la práctica. Sin embargo, el estudio antes citado de la ciudad como hecho físico si se tradujo en algunas disposiciones particulares en la normativa edilicia del futuro Código, tales como la obligatoriedad de la construcción de edificios en torre. (Ponte, 1987)

Finalmente en el año 1970 se aprueba y se pone en vigencia el “Código de Edificación de la Ciudad de Mendoza”, el cual se encuentra vigente en la actualidad, complementado con la incorporación de ordenanzas que lo modifican, establecidas en los años 1983, 1993, 1998, 2000, 2004 y 2006.

Debido a la creciente complejidad de la ciudad fue necesario separar en dos grandes partes el antiguo Código de Edificación: la primera parte se dedica a la ciudad (Código Urbano) y la segunda parte a las construcciones (Código de Edificación), es decir, de la Línea Municipal hacia afuera (Parte I), y de la Línea Municipal hacia adentro (Parte II).

Respecto a las finalidades del “Código Urbano y de Edificación” se reglamentan aspectos referidos a:

- a) La problemática urbana, construcciones en la vía pública y obras relacionadas con éstas.
- b) Las construcciones de nuevos edificios, obras e instalaciones complementarias.
- c) Las ampliaciones, refacciones y modificaciones de edificios y de construcciones complementarias.
- d) La conservación de los edificios y construcciones.
- e) La demolición de los edificios y construcciones.
- f) Las instalaciones técnicas propiamente dichas y las de los edificios, construcciones y vía pública.
- g) La seguridad de los edificios y construcciones.
- h) El diseño arquitectónico y urbano.
- i) El uso de los edificios y de los espacios libres privados y públicos.

#### III.2.4.2. RETIROS Y ALTURAS

La condición sísmica es un fundamento importante para establecer retiros obligatorios de ambas medianeras, independizando así a los edificios y dando lugar a la tipología que estos generan denominada “en torre”. Sin embargo esta restricción generó resistencia por parte del sector inmobiliario, ya que la utilización del suelo urbano quedaba reducida, sobre todo por el progresivo retiro a medida que el edificio crece en altura.

Por otro lado el retiro obligatorio frontal se promueve fundamentalmente para proteger la vegetación callejera, que en la ciudad de Mendoza posee características de valor ambiental. *“Aunque el proyecto original contemplaba un basamento de 7 metros de altura, las enormes presiones económicas del sector inmobiliario, lograron elevar el mismo a 12 metros”.* (Ponte, 1987)

Se definen los conceptos de basamento y torre:

**\_ BASAMENTO**

El “Código de Edificación” introduce como innovación el establecimiento del “Basamento edificio” que modificará sustancialmente la morfología urbana. Este se refiere a *“construcciones que pueden desarrollarse hasta los límites de los predios, siempre que no superen las alturas máximas que se determinan según el ancho de la vereda”*. El argumento fundamental es la seguridad en los sismos en los edificios altos, y al mismo tiempo la protección de los árboles.

La construcción del basamento es optativa en toda la ciudad, excepto en la Zona Residencial Parque donde se prohíbe. En todas las zonas donde se permite, las construcciones deben ser menores a alturas determinadas según el ancho de la vereda. En la *Tabla III.1* se presentan las alturas máximas a construir sobre la línea de edificación, según las distintas dimensiones de las veredas.

| ANCHO DE VEREDA | ALTURA MÁXIMA BASAMENTO EN LA LÍNEA DE EDIFICACIÓN |
|-----------------|----------------------------------------------------|
| < 3,00 m        | 4,50 m                                             |
| 3,00 a 6,00 m   | 7,50 m                                             |
| 6,00 a 8,00 m   | 9,00 m                                             |
| > 8,00 m        | 12,00 m                                            |

*Tabla III.1.* Altura máxima del basamento según ancho de vereda

A partir de los niveles máximos de basamento en la línea de edificación pueden construirse hasta los 12m de altura, ocupando todo el ancho del terreno, quedando las que superen esta altura inscriptas en un ángulo vertical de 45°.

La altura de basamento se tiene en cuenta con respecto a la cota de vereda, y se considera como altura máxima a la de la cubierta de techo terminada. En la *Figura III.15* se observa gráficamente las alturas máximas del basamento y la torre dadas por los ángulos de inclinación según el ancho de vereda.

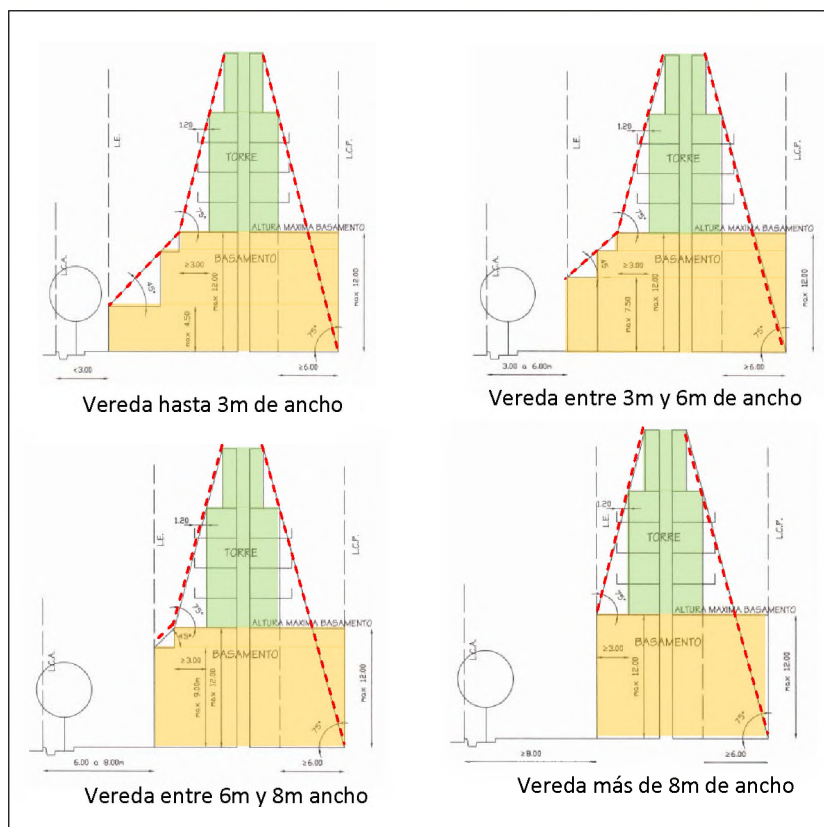


Figura III.15. Tipología edilicia de basamento y torre con alturas mínimas

## \_ TORRE

La torre se define en función del basamento: “Sobre el basamento se permite la construcción de torres que deben tener retiros (frontales, laterales y posteriores), medidos desde el perímetro del basamento”. Deben tener los siguientes retiros:

- Frontal y laterales: como mínimo 3m sobre el basamento, debiendo quedar la torre inscrita dentro de un ángulo vertical de 75°.
- Sobre el retiro frontal y posterior se permite la construcción de balcones, los que pueden sobresalir de la línea de retiro hasta 1,20m; en el retiro lateral deben quedar incluidos dentro de la línea de retiro.

- Retiro Posterior de la Torre: de 6.00m medidos desde el eje medianero posterior del predio, debiendo quedar la torre igualmente inscripta dentro de un ángulo vertical de 75°.  
(Figura III.16)

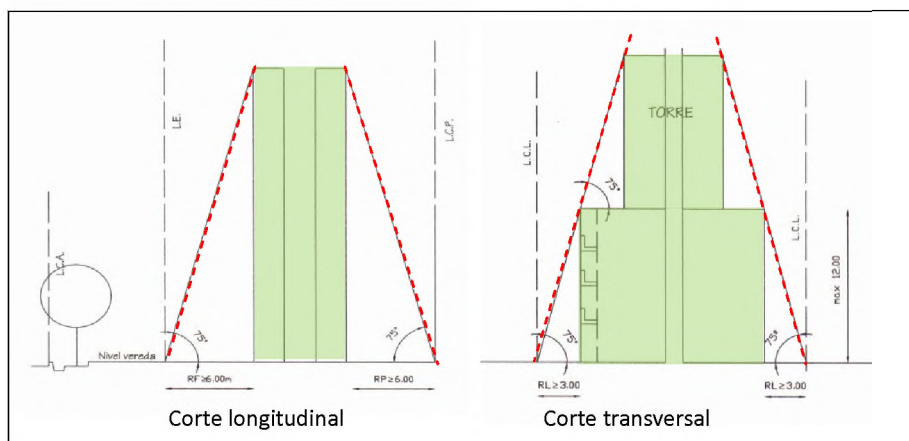


Figura III.16. Tipología edilicia en torre con retiros y alturas mínimas según limitación de ángulos

Existen posibilidades de unificación de los retiros obligatorios en un solo retiro lateral, siempre que:

- Exista un edificio colindante de altura superior a los quince metros que no se encuentre retirado de los límites del predio.
- El edificio a construir no sea de mayor altura que el colindante no retirado.
- El nuevo edificio se arrime al paramento no retirado del edificio colindante existente, no debiendo sobrepasar los límites del paramento de éste.
- El retiro lateral resultante no sea menor del 85% de la suma de los retiros laterales, cuando los dos predios colindantes tengan estas características; y no menor del 70% cuando en el predio del que la edificación se aleja exista construcción menor de 12m de altura.

Respecto a la altura máxima total del edificio se establece que será igual o menor al ancho total de calle, entendiéndose por esta la medida comprendida entre líneas de edificación. Esta altura se podrá superar aumentando el Retiro Frontal de la Torre, siempre que no se supere con la misma el lado de un ángulo vertical de 45°, normal a la línea de edificación. Si se optara por no construir el basamento, la torre arrancará desde el nivel de la cota de vereda con los mismos retiros fijados para los casos descriptos anteriormente al nivel de basamento.

- **Ocupación del suelo**

Por otro lado, la normativa incorpora por primera vez índices que definen factores de ocupación:

El **Factor de ocupación del suelo (F.O.S.)** es el porcentaje de la superficie útil de parcela que se puede ocupar. Controla la superficie en el terreno a ocupar por la edificación, evitando su ocupación continua o total y permitiendo espacios libres.

El índice se obtiene multiplicando el factor de ocupación por la superficie de la parcela. Se establece un F.O.S. mínimo y un máximo para cada zona, en relación a las dimensiones del terreno.

El **Factor de ocupación total (F.O.T.)** es el cómputo de la superficie total edificable, y se obtiene multiplicando el factor de ocupación por la superficie de la parcela. Se establece un F.O.T. mínimo y máximo para cada zona.

El objetivo es controlar la superficie cubierta total edificable en el terreno, por lo cual quedan definidas zonas de alta, media y baja densidad.

#### III.2.4.3. ARQUITECTURA RESULTANTE: MORFOLOGÍA, MATERIALIZACIÓN Y TENDENCIAS ARQUITECTÓNICAS

La sanción del Nuevo Código genera dos nuevas tipologías edilicias. Una es la de Basamento y torre, y la otra es la tipología en Torre retirada de las líneas colindantes de edificación.

El escalonamiento generado por el basamento implica una innovación en la morfología arquitectónica de los edificios de la ciudad. La incorporación del mismo advierte intenciones favorables dadas por la continuidad formal en la línea de basamento y la protección a la arboleda urbana (Ponte, 1987). Ejemplos que pueden verse en los edificios de la *Figura III.17*.

Respecto a las tendencias arquitectónicas a existen dos variantes predominantes: el brutalismo (*Figura III.18*) y el postmodernismo (*Figura III.19*). A principios del periodo aparecen construcciones Brutalistas que se preocupan por los aspectos formales y expresivos de los edificios. Se advierte el compromiso con el sitio y la importancia de lo vernáculo, con una fuerte

presencia de lo másico, como el hormigón y el ladrillo. Uno de los elementos característicos son los parasoles de hormigón, que si bien en la mayoría de los casos, responden a intenciones formales, muchas veces pueden resultar positivos para el control térmico y lumínico.

A partir de la década del 70, la multiplicidad y variedad en la tecnología permite el empleo de diferentes materiales en la envolvente. El uso del ladrillo sin revocar en la envolvente en la arquitectura contemporánea de Mendoza manifiesta la influencia de la arquitectura orgánica internacional (Guaycochea de Onofri, 1986).

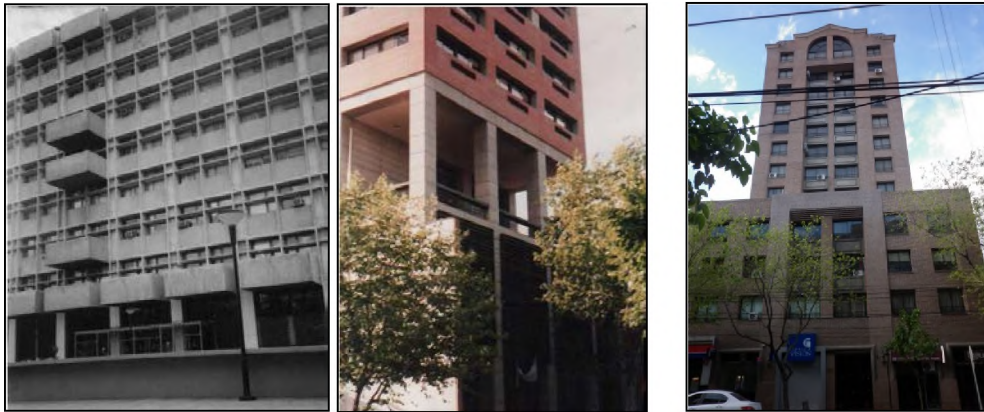
En el siglo XXI, a partir del gran dinamismo en la construcción (DEIE, 2007) la influencia del postmodernismo se ve reflejada en el incremento del uso del vidrio y el acero (*Figura III.20*), en donde la intención de “desmaterializar” las fachadas se traduce en envolventes cada vez más delgadas. Asimismo, con el objetivo de alivianar la estructura se concibe la misma en hormigón y envolvente e interiores en materiales livianos y con escasa inercia térmica.

Por otro lado, debido a la superficie limitada de los terrenos en la zona de alta densidad de la ciudad, y según las exigencias de retiro del código, las construcciones no debieran superar los 10 niveles, dado que en la mayoría de los casos las dimensiones de la torre resultarían demasiado estrechas. No obstante, a pesar de tales regulaciones, muchos de los edificios construidos a partir del siglo XXI, cuentan alturas que superan ampliamente los límites máximos regulados (*Figura III.21*).

Se observa que dentro de esta normativa se distinguen dos etapas generadas antes y después del año 2000. Las diferencias de las construcciones, si bien se rigen bajo el mismo código, radican en su morfología y tecnología: los edificios construidos a partir del siglo XXI cuentan con alturas superiores y mayor presencia de materiales transparentes en la envolvente.



*Figura III.17. Edificios de tipología de Basamento y torre*



*Figura III.18. Edificios de tendencia Brutalista*

*Figura III.19. Edificio de tendencia Posmoderna*



*Figura III.20. Edificios en los que se refleja el incremento del uso del vidrio*



Figura III.21. Edificios que superan las alturas mínimas reguladas

### III.2.5. ACTUALIZACIÓN DEL CÓDIGO: EL CÓDIGO DE EDIFICACIÓN COMO INSTRUMENTO DE ORDENAMIENTO

#### III.2.5.1. ANTECEDENTES

En el año 2010 se aprueba la última actualización del Código en la Municipalidad de Capital mediante la ordenanza 3788/10. La propuesta de dicha modificación presenta como principal objetivo “promover el desarrollo de la ciudad respetando su calidad ambiental” (Municipalidad de Mendoza, 2008). Asimismo se prevé el objetivo político que consta teóricamente en evitar excepciones, mientras que desde el punto de vista urbano se pretende dar respuesta a las necesidades de la ciudad. Luego de dos años de deliberaciones entre el municipio y distintos comités de profesionales del ámbito urbano-edilicio -Colegio de Arquitectos de Mendoza, Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda, Cámara de la Construcción- se tuvieron en cuenta algunas de las sugerencias y el mismo fue aprobado en diciembre del 2010.

Respecto a la zonificación se elaboró un nuevo planteamiento, con el objetivo de *“definir algunas zonas que, se espera, se desarrollen e incorporen mayor cantidad de habitantes. Se busca evitar que se mantenga la tendencia a perder pobladores y que la ciudad se convierta en un sector de servicios y comercios”*. (Bruno, 2010)

En la *Figura III.22* se muestra la re-densificación del área urbana de capital, en donde se establece la zonificación según indicadores y usos del suelo, indicados en la *Tabla III.2*.

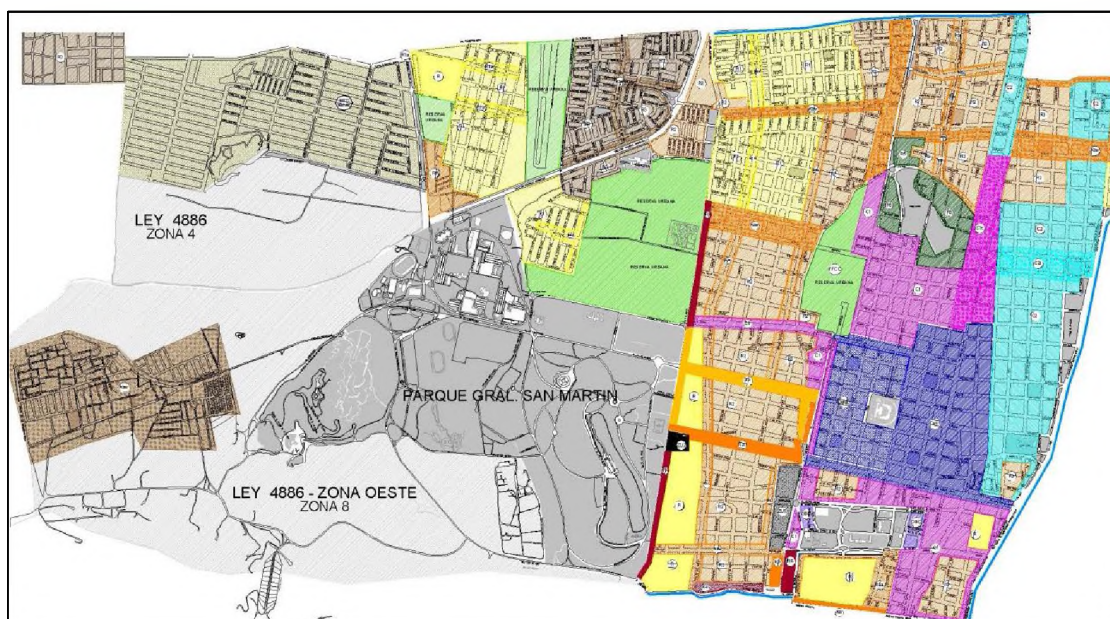


Figura III.22. Re-densificación del Área Urbana de la Ciudad de Mendoza

| INDICADORES      | USOS DEL SUELO                                                                                                                                    | INDICADORES             | USOS DEL SUELO                                                                                                                      |
|------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ZONA R-R1</b> | <div>RESIDENCIAL</div> <div>RESIDENCIAL 1</div> <div>RESIDENCIAL 1 a</div> <div>RESIDENCIAL DALVIAN</div>                                         | <b>ZONA R5</b>          | RESIDENCIAL 5                                                                                                                       |
| <b>ZONA R2</b>   | <div>RESIDENCIAL 2</div> <div>RESIDENCIAL 2 a</div> <div>RESIDENCIAL 2 as</div> <div>RESIDENCIAL 2 t</div> <div>PRESERVACIÓN PATRIMONIAL PP</div> | <b>ZONA CENTRAL</b>     | <div>CENTRAL 1</div> <div>CENTRAL 2</div>                                                                                           |
| <b>ZONA R3</b>   | <div>RESIDENCIAL 3</div> <div>RESIDENCIAL 3 as</div>                                                                                              | <b>ZONA C1</b>          | <div>COMERCIAL 1</div> <div>COMERCIAL 1 t</div>                                                                                     |
| <b>ZONA R4</b>   | <div>RESIDENCIAL 4</div> <div>RESIDENCIAL 4 t</div>                                                                                               | <b>ZONA C2</b>          | <div>COMERCIAL 2</div> <div>COMERCIAL 2 t</div>                                                                                     |
|                  |                                                                                                                                                   | <b>ZONAS ESPECIALES</b> | <div>BARRIO CÍVICO</div> <div>UNIVERSITARIA 1</div> <div>UNIVERSITARIA 2</div> <div>RESERVA URBANA</div> <div>ESPACIOS VERDES</div> |

Tabla III.2. Zonificación según la actualización del Código

### III.2.5.2. RETIROS Y ALTURAS

Las principales modificaciones en cuanto a la morfología edilicia apuntan a fijar una proporción entre el ancho y el largo del edificio para evitar los de tipología “torre-placa” -la cual significa una proporción del edificio en donde la dimensión del largo es considerablemente mayor a la del ancho- y según la orientación de la misma funciona como una pared a las brisas. Asimismo se establece una relación entre la altura de la edificación y los metros que se deben destinar a espacios verdes.

Se establecen máximos en las alturas de las construcciones asociados a una relación con el tamaño del terreno, para lo cual se tienen en cuenta los siguientes criterios:

- **Basamento**

El concepto de basamento continúa según la reglamentación anterior, re-definiéndose a partir de una nueva altura máxima de 10 metros. *“Se considera basamento a la construcción que puede ocupar hasta los límites del predio sin retiros obligatorios y hasta una altura máxima de 10 m (incluido baranda o paramentos) y máximo 3 niveles, debiendo respetar los patios reglamentarios y el FOS y FOT definido para la zona donde ubique”.*

*“A partir del nivel máximo de basamento determinado por el ancho de vereda y en coincidencia con la línea municipal, establecidos precedentemente, se definirá un ángulo de 45º con vértice en el extremo del nivel máximo del pre-basamento determinado. Dentro del mismo quedará inscripto el perfil del basamento que podrá alcanzar una altura total de 10,00 metros en el caso de ser inaccesible” (Ordenanza 3788/10).*

Las construcciones sobre la línea de edificación contarán con una altura máxima según el ancho de vereda (Tabla III.3). Luego, en función del arbolado público, la torre tendrá un retiro frontal de 9 metros (valor constante) a partir del cordón de calzada. En la Figura III.23 se muestran los gráficos correspondientes en planta y corte.

| ANCHO DE VEREDA | ALTURA MÁXIMA |
|-----------------|---------------|
| Hasta 3,00 m    | 5,00 m        |
| Hasta 4,00 m    | 6,00 m        |
| Hasta 5,00 m    | 7,00 m        |
| Hasta 6,00 m    | 8,00 m        |
| Hasta 7,00 m    | 9,00 m        |
| Más de 8,00 m   | 10,00 m       |

Tabla III.3. Zonificación según la actualización del código en el año

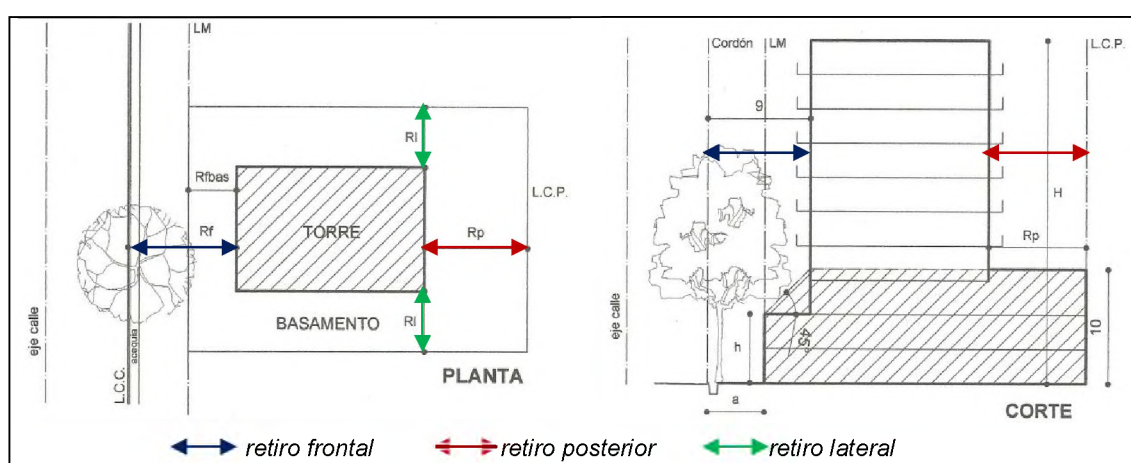


Figura III.23. Retiros mínimos reglamentarios para la torre sobre el basamento edilicio

#### ▪ Torre

A diferencia de la normativa anterior, la nueva ordenanza incorpora el concepto de torre en sí mismo, independientemente al de basamento:

*“Se entiende por torre la construcción que tiene retiro de los límites del terreno en todo su perímetro, pudiendo alcanzar distintas alturas a partir de los tres niveles (...) La altura será medida desde la cota de nivel 0 de vereda”.* (Ordenanza 3788/10)

Se establecen las zonas en las cuales se permitirá su construcción: zonas comerciales C1 y C2, zonas residenciales R5, R4 y R2; y zona Central 3 (ver Figura III. 22) cuya ubicación se define:

*“Zona colindante al Centro Cívico, propuesta como futuro polo de atracción de los flujos urbanos y suburbanos originados por el mismo, destinado al más alto nivel de equipamiento institucional, administrativo, financiero y de servicios especializados, a escala urbana, metropolitana y regional. La densidad poblacional tendría carácter de fluctuante, estimándose media-alta en aproximadamente 600 hab/ha”. (Ordenanza 3788/10)*

\_ *Altura de la torre*

No se regulan alturas máximas ni mínimas. Estas se encuentran asociadas a la relación que se establece entre los retiros y las dimensiones del terreno.

\_ *Retiros obligatorios (Figura III. 24)*

- Retiro frontal: de 9 metros medidos desde la intersección del cordón con la calzada.
- Retiros laterales: dimensión variable y gradual según las características de la zona (comercial o residencial). Se definen en función de la altura:

*“Como mínimo de 3 m desde el eje medianero hasta los 10 metros de altura y a partir de ese nivel se incrementa de acuerdo a las fórmulas:  $1/7 h$  para la zona Central 1; de  $1/6 h$  para las zonas C1 y C2; de  $1/5 h$  para las zonas Cen 2 y R4; de  $1/4 h$  para las zonas R5, R3 y R2; y de  $1/3 h$  para las zonas R1 y R”.*

- Retiro posterior: se preserva el corazón de manzana incrementando la dimensión del mismo.

*“Como mínimo de 6.00 metros medidos desde el eje medianero posterior del predio hasta los 10,00 m de altura y a partir de ese nivel se incrementa de acuerdo a las fórmulas:  $2 \times 1/7 h$  para la zona Central 1; de  $2 \times 1/6 h$  para las zonas C1 y C2; de  $2 \times 1/5 h$  para las zonas Central 2 y R4; de  $2 \times 1/4 h$  para las zonas R5, R3 y R2; y de  $2 \times 1/3 h$  para las zonas R1 y R”.*

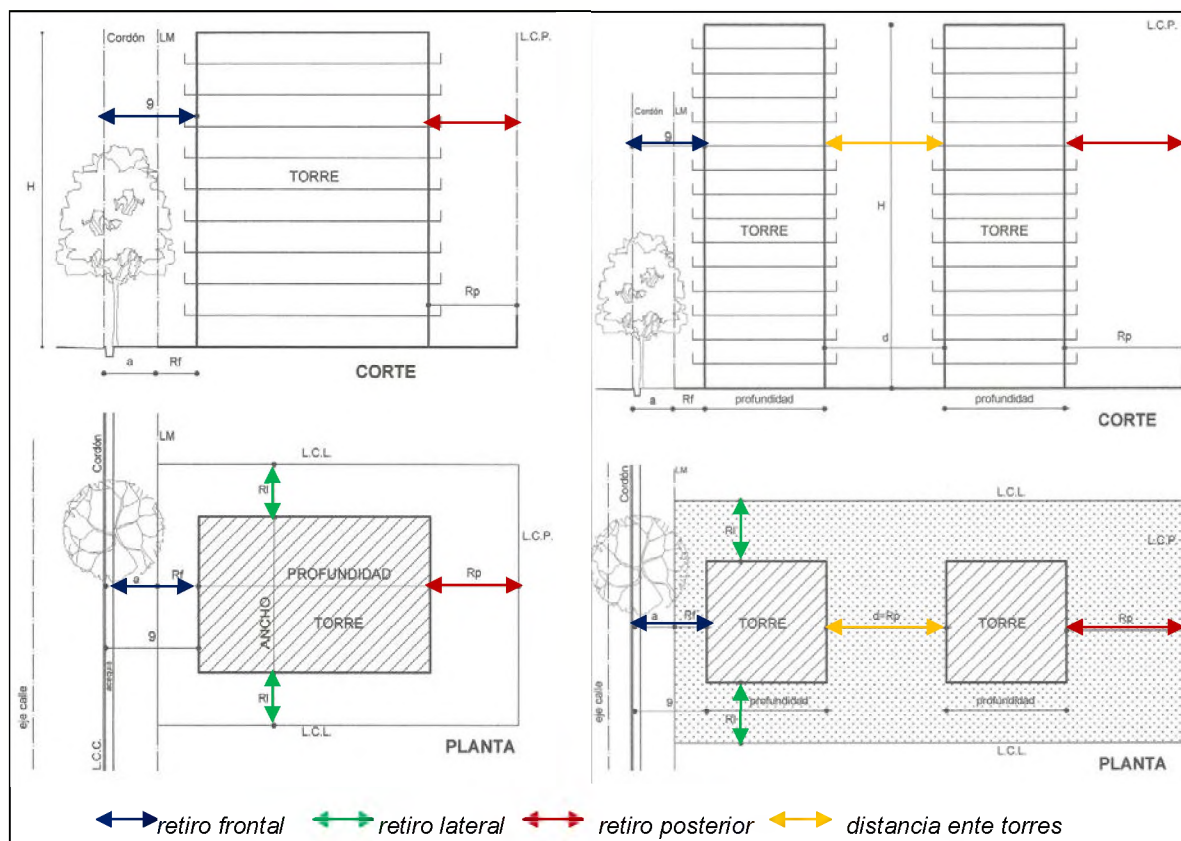


Figura III.24. Retiros obligatorios definidos en función de la altura según la zona

### \_ Proporción de la torre

Se establece proporción ancho - profundidad para evitar la tipología de placas, en función del ancho del terreno:

- Terrenos de hasta 20m de frente: la torre podrá alcanzar una profundidad máxima igual a dos veces su ancho.
- Terrenos de más de 20 m de frente: profundidad de una vez y medio su ancho.

Se establece que en terrenos profundos se permite la construcción de más de una torre. La separación entre las torres se determinará utilizando la misma fórmula del retiro posterior de la torre. Sin embargo no se establecen los valores concretos del concepto terrenos profundos.

\_ Retiros en relación al ancho del terreno

- Terrenos con frentes de un ancho igual o menor a 15,00 m limitados por edificios en altura sin retiros laterales: se permite la construcción de edificación sin retiros laterales hasta una altura máxima igual o menor al edificio colindante más bajo respetándose las demás consideraciones de la torre y separándose 3,00 m de los patios de aire y luz de los edificios colindantes existentes.
- Terrenos con frentes de un ancho entre 15,00m y 20,00m limitados por edificios en altura sin retiros laterales: pueden unificarse los retiros en uno solo lateral adosándose a una de las construcciones existentes con una altura máxima igual o menor al edificio al cual se adose; respetándose las demás consideraciones de la torre y separándose 3,00 m de los patios de aire y luz del edificio colindante existente.

▪ Torre con basamento

La nueva ordenanza distingue la tipología torre con basamento: *“Se entiende por torre con basamento a la construcción que combina la torre sobre el basamento”*. Si bien dicha tipología resultaba válida en la normativa anterior, se especifican los retiros y alturas, y se limitan las zonas en las que se permite su construcción, admitiéndose solamente en las zonas Centrales Cen1 y Cen2; y las Comerciales C1, y C2.

\_ Retiros obligatorios

- Retiro frontal: El retiro de la torre sobre el basamento (10 m de altura) será de 9 m medidos desde la intersección del cordón con la calzada.
- Retiros laterales y posteriores: se repiten los de la torre

III.2.5.3. ARQUITECTURA RESULTANTE: MORFOLOGÍA, TECNOLOGÍA Y TENDENCIAS ARQUITECTÓNICAS

Se observa que las nuevas ordenanzas generan mayores retiros y mayores alturas. Así, en propiedades de hasta 500m<sup>2</sup> se pueden construir edificios de hasta 7 pisos, en las que tienen entre 500 y 1.250m<sup>2</sup> pueden levantarse hasta 12 niveles y para los que sumen entre 1.250 y 2.500m<sup>2</sup> el número de pisos se eleva a 18.

En las parcelas que exceden los  $2.500\text{m}^2$ , intervendrá una comisión especial, para evaluar y aprobar una mayor cantidad de pisos (Bruno, 2010). Pero, según la normativa en este caso puede construirse edificios que, retirados 10 metros de las líneas divisorias laterales, alcancen los 70 metros de altura. Si bien resulta poco probable un terreno de tales dimensiones en zonas de alta densidad, es sabido que los intereses económicos e inmobiliarios pueden generar inversiones de agrupaciones de terrenos menores. De tal manera la construcción de edificios de más de 20 niveles resultaría viable, incrementando el riesgo de los potenciales beneficios generados por las características de oasis de la ciudad.

Son pocos hasta el momento los edificios aprobados y construidos que se rigen por la nueva ordenanza. Un ejemplo es un edificio de oficinas en el Área Metropolitana (Zona Central 2 en *Figura III.22*) en donde prevalece el uso del vidrio (*Figura III.25*). Asimismo, en las zonas residenciales que bordean el área urbana existen terrenos mayores a  $2.500\text{m}^2$  en donde se están construyendo complejos habitacionales en altura. En las *Figuras III.26* y *III.27* se pueden ver imágenes del proyecto de estos edificios, con una imagen moderna y grandes vanos para aventanamientos.



*Figura III.25.* Edificio vidriado en A.M.M.



*Figura III.26.* Complejo habitacional en Zona R1



*Figura III.27.* Proyecto de complejo habitacional en Zona R2

### III.3. REFLEXIONES DEL CAPÍTULO III

El estudio de las normativas permitió entender que la evolución y modificación de las reglamentaciones y códigos existentes en la Ciudad de Mendoza ha estado dada por distintos aspectos relacionados a las necesidades del contexto: por un lado el tema sísmico ha condicionado fuertemente su desarrollo, y por otro lado, la estructura propia de “Ciudad-Oasis” cuyos árboles necesitan ciertas condiciones especiales para su crecimiento. Asimismo, influyen circunstancias políticas y económicas que han sido atendidas sintéticamente en el estudio de los antecedentes de cada reglamentación.

Se observa en las normativas aplicadas desde los orígenes de la ciudad, el interés en lograr una relación propicia entre los edificios y el resto de los factores del sistema urbano, tendiendo a lograr dimensiones adecuadas desde el punto de vista arquitectónico, y límites armónicos y proporcionados desde la mirada urbana.

Esto se evidencia en distintas situaciones tales como: el intento de aplicación del “Plan Regulador” de 1941, los estudios e informes subsiguientes realizados por profesionales que se tradujeron en disposiciones y normativas, y el establecimiento de alturas mínimas con intenciones de jerarquizar calles y avenidas, dando como resultado un panorama edilicio homogéneo e uniforme y una situación urbana mayormente compacta. Sin embargo, la homogeneidad edilicia advertida hasta mediados del siglo XX se ve interrumpida a partir de la difusión de la propiedad horizontal de las décadas del 40 y 50, situación que deriva en la implementación del Nuevo Código de Edificación en la década del 70.

Éste último, en vigencia en la actualidad, promueve situaciones favorables como son la continuidad formal y la protección de la arboleda urbana. Para esto, se incorpora la obligatoriedad del Basamento edilicio, que modifica sustancialmente la morfología urbana. Asimismo, en el año 2010, la última reforma del Código de Edificación disminuye la altura del basamento de 12 a 10 metros.

Sin embargo, el Código no tiene en cuenta las diferencias ambientales que se generan bajo y sobre el estrato acondicionado, y se observa que mediante excepciones municipales se construyen edificios que superan ampliamente los límites regulados, comprometiendo no sólo la validez de las normativas, sino el adecuado funcionamiento de la Ciudad-Oasis.

Por otro lado, mientras que los avances tecnológicos permiten el crecimiento en altura de los edificios, las mismas (las alturas) se regulan según los retiros mínimos establecidos en relación a las dimensiones del terreno. Esto fomenta las posibilidades de unión de terrenos pequeños, en los cuales los edificios resultan cada vez más altos. Tal situación de dispersión tiende a la interrupción de la ciudad compacta, poniendo en riesgo la sustentabilidad del crecimiento urbano-edilicio.

En relación a esto, la discusión de la ubicación de los edificios en altura y de sus limitaciones morfológicas es recurrente en las propuestas de modificación de los códigos edilicios post-terremoto, no llegando a resolverse completamente en la actualidad. Estos resultaron los puntos principales de la discusión que se llevó a cabo en la última revisión del código vigente (en el año 2010).

Ante lo expuesto, queda claro que las normativas son determinantes para el desarrollo edilicio en la ciudad. Frente a la crisis energética actual, que afecta en gran medida a los sectores de alta densidad, se debe considerar a las normativas de edificación como herramientas que no solo ordenen y regulen aspectos urbanos y edilicios, sino que también puedan contribuir a una mayor eficiencia energética a nivel arquitectónico. Es por esto que resulta necesario buscar soluciones que atiendan a la diferenciación en altura dada por la arboleda urbana, en post de mejorar la habitabilidad -interior y exterior- y de lograr un lenguaje edilicio homogéneo en la ciudad-oasis.

#### III.4. REFERENCIAS AL CAPÍTULO III

- BERETERBIDE, F. B.-C.-S- (1941). *Plan regulador de la Ciudad de Mendoza República Argentina*. Primera Etapa: Preplan. Montevideo: Editorial Hiperion.
- BRUNO, P. (27 de Diciembre de 2010). Movilización en Capital por el nuevo Código de Edificación. *Diario Los Andes*. Recuperado de <http://losandes.com.ar/article/movilizacion-capital-nuevo-codigo-edificacion-541792>
- CERDÁ, J.M. (2006). Características de la vivienda mendocina en la primera mitad del Siglo XX. *Población y Sociedad* N°14. 33-70.
- GUAYCOCHEA DE ONOFRI, R. (1980). *Arquitectura de Mendoza y otros estudios*. Mendoza, Argentina: Universidad de Mendoza.
- MUNICIPALIDAD DE LA CAPITAL. (1940). *Concurso Plan Regulador, Reformador y de Extensión de la Ciudad de Mendoza*. Mendoza, Argentina: Best Hnos.
- MUNICIPALIDAD DE LA CAPITAL. (1962). *Reseña de la creación y labor de la Comisión Especial de Planeamiento Urbano y Código de Edificación de la Ciudad de Mendoza. 1959-1961*. Mendoza: D'Accurzio.
- MUNICIPALIDAD DE MENDOZA (1972). *Código de edificación de la ciudad de Mendoza*. Mendoza, Argentina: Municipalidad de la Capital.
- LATZINIA, F. (1910). *Censo General de la Provincia de Mendoza*. Buenos Aires: Compañía Sudamericana de Billetes de Banco.
- PONTE, R. (1987). *Mendoza. Aquella Ciudad de Barro*. Mendoza, Argentina: Municipalidad de la Capital.

#### **IV. DIAGNÓSTICO DE CASOS**

#### IV.1. CLASIFICACIÓN Y SELECCIÓN DE LAS ESCALAS DE INTERACCIÓN

El presente capítulo se enfoca en el estudio del universo de análisis propuesto, es decir, edificios en altura residenciales. Los mismos son producto de la evolución tipológica dada por los códigos de edificación analizados en el *Capítulo III*. Las construcciones resultantes responden a las tipologías de: a) Torre sin retiros, b) Torre retirada de las líneas de edificación, y c) Basamento y torre.

Para la selección de los casos se aborda la metodología en cascadas (Samaja, 1993), explicado en el Capítulo I y las tres (3) escalas de abordaje -entorno, edificios en altura, unidades de vivienda- que se desarrollan a continuación.

##### IV.1.1. ESCALA I: ENTORNO

El área de la ciudad de Mendoza seleccionada para su estudio corresponde a la zona céntrica de mayor densidad edilicia en altura. La misma cuenta con cinco plazas principales distribuidas en forma homogénea en el damero, las cuales se conforman como espacios abiertos.

El código vigente, actualizado en diciembre de 2010, establece dicha área como Zona Central, en la cual existen dos subdivisiones: Zona Central 1 -en naranja en la *Figura IV.1*- y Zona Central 2 -en rojo en la *Figura IV.1*. La densidad poblacional esperada es alta para ambas zonas, estimándose más de 800 hab/ha.

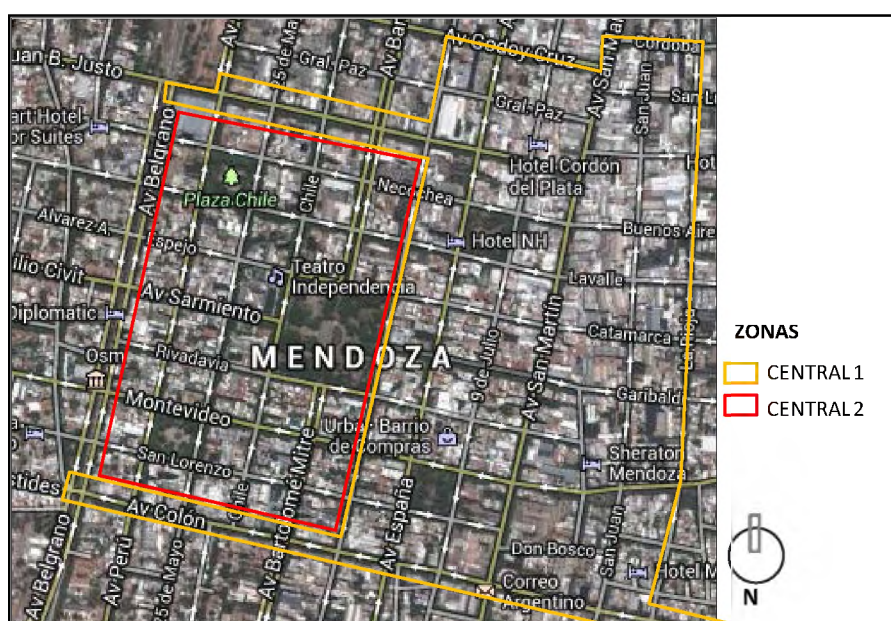


Figura IV.1. Área de la Ciudad de Mendoza en estudio

Las características urbanísticas de cada zona según lo dispuesto legalmente son:

- *Zona Central 1:*

Zona poseedora del más alto nivel de equipamiento comercial, administrativo, financiero y de servicios especializados, a escala urbana, metropolitana y regional (polo de atracción de los flujos urbanos y suburbanos), conviviendo junto a la residencia.

La edificación es continua de basamento o pre-basamento de hasta tres pisos, con o sin torre, no permitiéndose la torre exenta. El zócalo comercial es obligatorio.

- *Zona Central 2:*

Destinada a la preservación de sus características histórico-paisajísticas salvaguardando el perfil urbano de carácter patrimonial (Código de edificación, 2010).

La edificación es continua obligatoria de máximo tres pisos más edificación aislada. La tipología edilicia obligatoria consiste en basamento o pre-basamento con o sin torre, no permitiéndose la torre exenta y resultando optativos los locales comerciales.

En consecuencia de la definición legal de cada zona, se selecciona la **Zona Central 2** como área de estudio debido al carácter mayormente residencial y al valor patrimonial que se le otorga al perfil urbano.

La zona cuenta con tres de las plazas principales de la ciudad: Plaza Independencia, Plaza Chile y Plaza Italia. Los canales viales son catorce, de los cuales doce tienen 20 metros de ancho y dos de ellos (avenida Mitre y calle Sarmiento) tienen 30 metros de ancho. Estos conforman un total de 32 manzanas.

#### IV.1.2. ESCALA II: EDIFICIOS EN ALTURA

A fines de analizar casos de uso permanente, se considera evaluar edificios en altura residenciales, resultando importante el estudio de la relación de las personas y sus viviendas. Así quedan descartadas las unidades que presenten usos comerciales o administrativos.

Asimismo, las viviendas permiten mayores libertades de reformas, modificaciones, transformaciones, ampliaciones y re-adaptaciones y permiten leer y comprender mejor los comportamientos humanos y las respuestas que el hombre va encontrando (Carli, 1993).

Con el objetivo de sistematizar el método de clasificación y agrupamiento se determinan las variables a atender: en primer lugar la altura, en segundo lugar los aspectos morfológicos de las tipologías edilicias en altura, y finalmente los aspectos relacionados a la materialidad utilizada.

##### IV.1.2.1. ALTURA: RELACIÓN CON LA VEGETACIÓN URBANA

La clasificación según la altura de las unidades de análisis (edificios) se efectúa en relación a una de las características distintivas de la ciudad: la vegetación urbana. El Área Metropolitana de Mendoza cuenta con tres tipologías arbóreas: moreras (*Morus Alba*), fresnos (*Fraxinus Excelsior*) y plátanos (*Platanus Acerifolia*), cuyas alturas son:

- Moreras: altura promedio de 12,5 m
- Plátanos: altura promedio de 15,7 m
- Fresnos: altura promedio de 12 m

En función del contexto de Ciudad-Oasis y de la problemática planteada, para este análisis se consideran edificios en altura a las edificaciones que sobrepasen el nivel máximo de la copa de los árboles, esto es: construcciones que cuenten con más de cinco niveles.

Asimismo, la selección de casos de estudio deberá contar con la misma tipología arbórea a fin de comparar casos equivalentes en este sentido.

#### IV.1.2.2. CLASIFICACIÓN MORFOLÓGICA

En la clasificación morfológica (*Tabla IV.1*) se definen tres tipologías en relación con los edificios existentes que responden -en la mayoría de los casos- a lo indicado por las normativas edilicias al momento de su construcción. Estas son: 1- Torre sin retiros de las líneas divisorias de edificación (edificios construidos antes de 1970); 2- Torre retirada de las líneas divisorias de edificación (edificios construidos después de 1970); 3- Basamento y torre (edificios construidos después de 1970).

La diferenciación de alturas en los esquemas de fachadas se debe a que se observa la distinción en las tipologías de Torre retirada (2) y de Basamento y torre (3), existiendo edificios de hasta 25 metros y construcciones que superan esta altura. Sin embargo, no se observan construcciones que superen los 25 metros en la tipología de Torre sin retiros (1), dado que la misma dejó de estar vigente en las normativas del Código de Edificación de 1970.

En cuanto al esquema en planta varían en relación a los retiros y patios según cada tipología:

La tipología 1 –Torre sin retiros- cuenta con un esquema en planta con patios interiores variando según las dimensiones del terreno:

- por bloques compactos, es decir con uno o más patios a lo ancho del terreno
- uno o más patios en los laterales
- uno o más patios centrales

La tipología 2 –Torre retirada- es compacta, pudiendo variar su morfología en formas:

- regulares: cuadradas, rectangulares,
- irregulares: trapezoidales, curvas, con un lado mayor al otro

La tipología 3 – Basamento y torre- presenta un esquema:

- compacto en el basamento y la torre
- uno o más patios en los laterales
- uno o más patios centrales

La Tabla IV.1 muestra el esquema en planta y fachada.

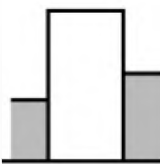
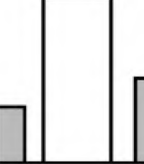
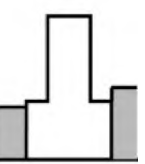
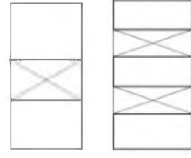
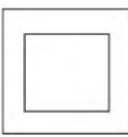
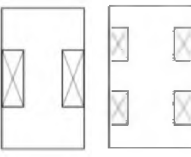
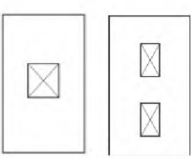
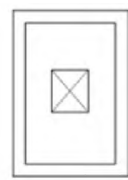
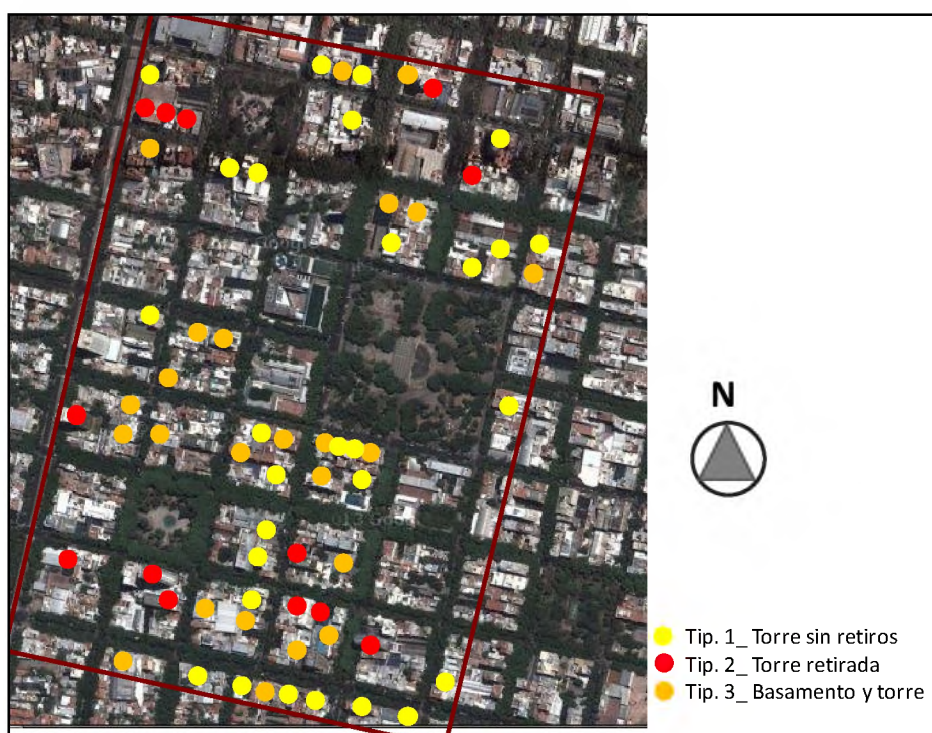
| TIPOLOGÍAS EDILICIAS |                   |                                                                                     |                                                                                     |                                                                                   |                                                                                       |
|----------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| tipología            | 1                 | 2                                                                                   |                                                                                     | 3                                                                                 |                                                                                       |
|                      | TORRE SIN RETIROS | TORRE RETIRADA                                                                      |                                                                                     | BASAMENTO Y TORRE                                                                 |                                                                                       |
| altura               | hasta 25 m        | hasta 25 m                                                                          | más de 25 m                                                                         | basamento 10-12m torre hasta 25 m                                                 | basamento 10-12m torre más de 25 m                                                    |
| ESQUEMA              | EN FACHADA        |    |    |  |    |
|                      | EN PLANTA         | patios a lo ancho del terreno                                                       | formas regulares                                                                    |                                                                                   | compacto                                                                              |
|                      |                   |  |  |                                                                                   |  |
|                      |                   | patios laterales                                                                    |  |                                                                                   | patios laterales                                                                      |
|                      |                   |  | formas irregulares                                                                  |                                                                                   | patios centrales                                                                      |
|                      |                   |  |  |                                                                                   |  |

Tabla IV.1. Tipologías morfológicas de edificios en altura según Códigos de edificación vigentes al momento de su construcción

La tipología 2 –Torre retirada- y 3 –Basamento y torre- liberan espacio para el correcto desarrollo de la arboleda urbana y posibilitan un mejor acceso al recurso solar y brisas de los canales viales. Sin embargo, la tipología de Basamento y torre aprovecha en los primeros niveles el control de radiación solar y los beneficios micro-climáticos de la arboleda, mientras que la tipología de torre retirada no se ve beneficiada por la influencia inmediata de la copa de los árboles, debido a que la normativa actual exige un retiro frontal obligatorio mínimo de 9 metros medido desde la intersección del cordón con la calzada (ver *Capítulo III*).

El relevamiento de la Zona 2 dio como resultado un conjunto muestral de 67 edificios existentes, de los cuales 26 pertenecen a la tipología de Torre sin retiro (de 25 m de altura máxima); 15 a la de Torre retirada (de los cuales 11 son de hasta 25m de alto y 4 sobrepasan esta altura) y otros 26 a la tipología de Basamento y torre (20 hasta 25m de alto y 6 sobrepasan esta altura). La *Figura IV.2* muestra las imágenes de la ubicación de los edificios relevados, y en la *Tabla IV.2* se puede ver la cantidad de edificios según las tipologías. En el *Anexo 2* se presentan las imágenes correspondientes al relevamiento realizado.



*Figura IV.2.* Edificios en altura residenciales existentes en la Zona Central 2 de la ciudad de Mendoza

|                   | TIPOLOGÍA         |                |                   |          |
|-------------------|-------------------|----------------|-------------------|----------|
|                   | 1                 | 2              | 3                 | Subtotal |
|                   | Torre sin retiros | Torre retirada | Basamento y torre |          |
| hasta 25m (PB+8)  | 26                | 11             | 20                | 57       |
| desde 25 m (PB+9) | -                 | 4              | 6                 | 10       |
| subtotal          | 26                | 15             | 26                | 67       |

Tabla IV.2. Edificios en altura residenciales en la Zona Central 2 según tipología

#### IV.1.2.3. CLASIFICACIÓN DE MATERIALIDAD DE ENVOLVENTE

La clasificación de materialidad de envoltente se realiza en función al cálculo de:

- a) elementos opacos y transparentes o translúcidas en la envoltente
- b) elementos másicos y livianos en el interior
- c) superficies de envoltente expuestas

En la *Tabla IV.3* se presenta la síntesis gráfica de la evolución morfológica y de materialidad de envoltente. Los datos provienen del relevamiento de los 67 edificios en análisis, clasificados según los periodos históricos: 23 edificios pertenecientes al período de 1900 a 1950, 24 casos del período 1950-1970 y 19 edificios del último período, desde 1970 a 2010.

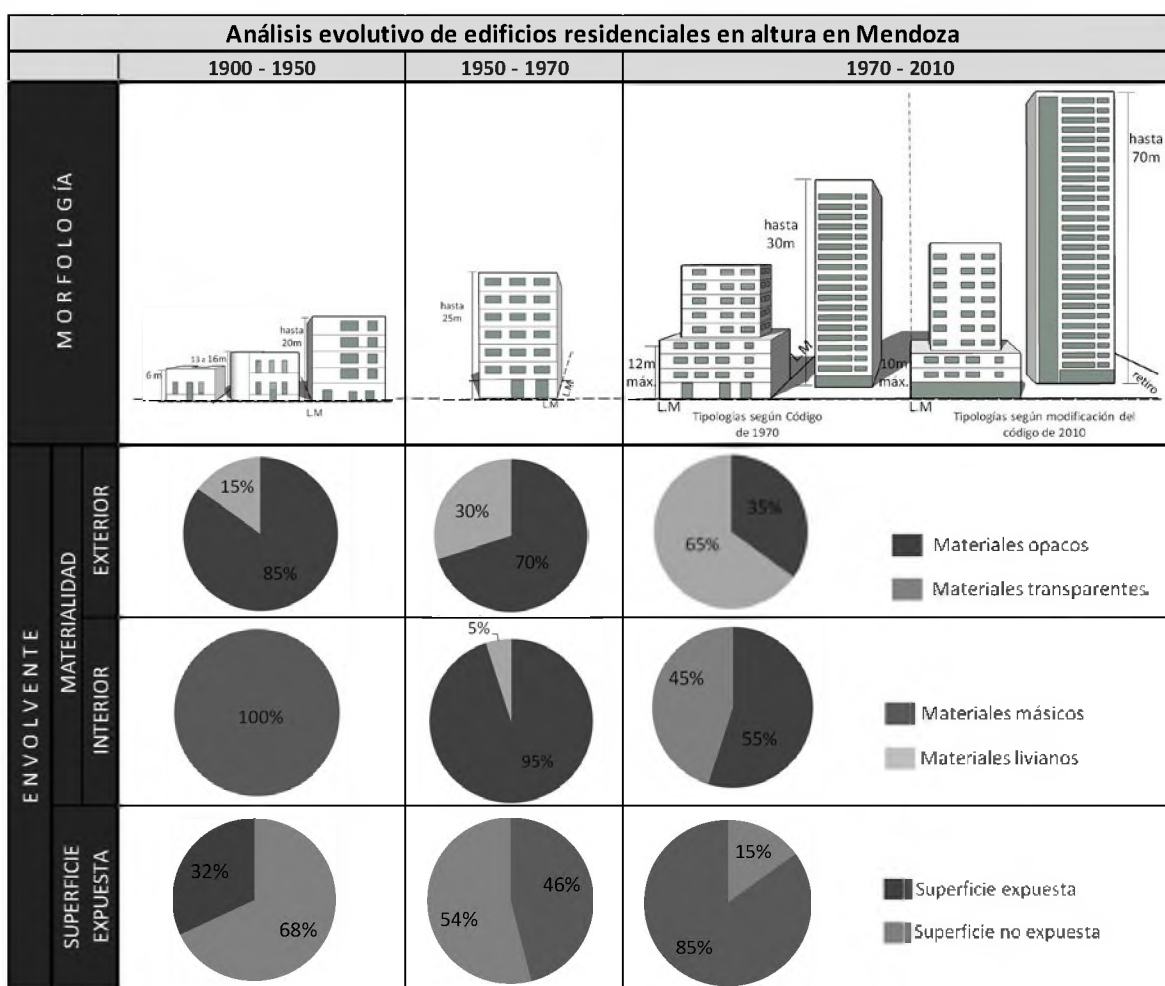


Tabla IV.3. Evolución morfológica y de tecnología de envoltente en edificios en altura en Mendoza

El análisis distingue diferentes situaciones en relación con los periodos clasificados:

En el primer período la homogeneidad morfológica implica superficies de envoltente expuestas en los casos relevados del orden del 32%. En cuanto a los materiales en la envoltente exterior se advierten porcentajes del 85% de elementos opacos, y del 15% de elementos transparentes. Asimismo, las divisiones del espacio interior se materializan en su totalidad mediante elementos másicos. Dichos porcentajes indican el carácter mayormente conservativo en los espacios interiores de las viviendas del periodo analizado.

En el segundo período, el crecimiento en altura de las edificaciones representa aumentos en las superficies expuestas, que se estiman en el 46%. Por otro lado, los elementos opacos en los materiales de la envoltente exterior representan el 70%, mientras que los transparentes se amplían, encontrándose en un 30%. En los materiales interiores continúa prevaleciendo el

porcentaje de materiales máscicos, aproximadamente en un 95%. Se comienza a observar la incorporación de materiales livianos en los espacios interiores.

El último período en estudio muestra sustanciales aumentos en las superficies expuestas, que se encuentran en el orden del 85% del total de envolvente, debido por un lado al incremento de la altura y por el otro lado, al retiro de las torres. Asimismo, el uso de materiales opacos en la envolvente disminuye, llegando a porcentajes que se encuentran en un 35%, mientras que los materiales transparentes se incrementan llegando a un 65%. Se observa que la relación de materiales máscicos y livianos se invierte respecto al período anterior. Por último, el incremento de materiales livianos y de construcción en seco para la separación de espacios interiores y unidades de vivienda llega a un 45%, debido a que la condicionante sísmica de la ciudad de Mendoza no permite eliminar una cierta cantidad de estructura maciza en los edificios.

Se determinan entonces los siguientes índices en relación a la condición material de la envolvente:

- *Tipología máscica*: construcciones que presentan en su envolvente más del 50% de materiales del tipo máscicos (con inercia térmica) ( $\rho > 1200 \text{kg/m}^3$ )
- *Tipología liviana*: construcciones que cuentan con más del 50% de su envolvente liviana, es decir, materiales transparentes en la mayoría de los casos. ( $\rho < 1200 \text{kg/m}^3$ )

### IV.1.3. ESCALA III: UNIDAD DE VIVIENDA

La clasificación de las unidades de viviendas o departamentos se realiza a partir de dos variables relevantes para concretar la selección de los casos de estudio: la altura y la orientación.

#### IV.1.3.1. POSICIÓN RELATIVA DE LA UNIDAD EN EL EDIFICIO

Tal como se explica en el *Capítulo I*, la arboleda define dos estratos diferentes en los edificios en altura: bajo y sobre la copa de los árboles; situación por la cual se considera necesario atender a las condicionantes micro-climáticas particulares en la ciudad de Mendoza (con y sin arbolado) en las envolventes de los edificios en altura.

Se define la condición por sobre la copa de los árboles para las viviendas ubicadas a partir del cuarto nivel (de 12 metros). Los límites de altura resultan en función del tipo de arboleda (Cantón et al., 1994):

- Límite de 12 m de altura para canales viales forestados con moreras y frenos (caso en estudio)
- Límite de 15 m de altura para canales viales forestados con plátanos

En consecuencia se determinan los siguientes índices, que conforman el punto de partida y el planteamiento de la investigación.

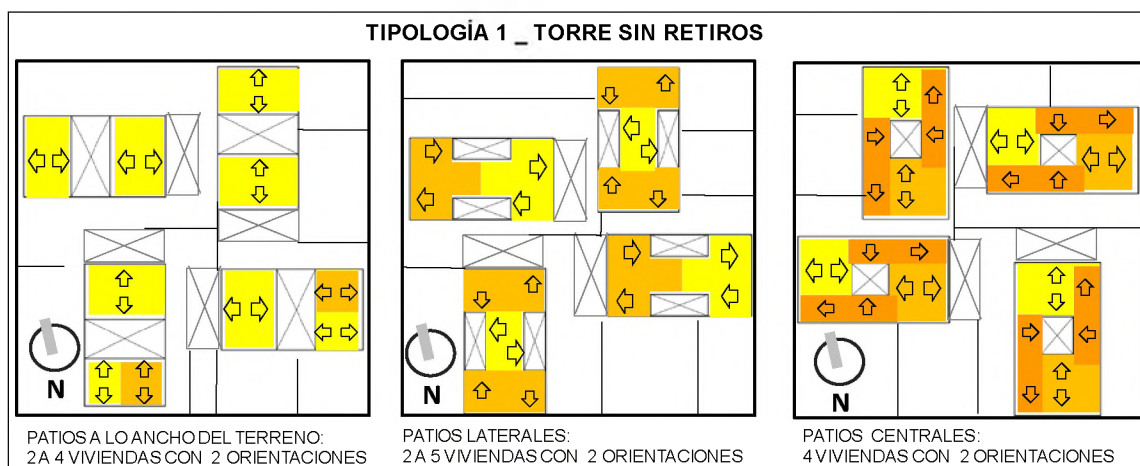
- Viviendas **bajo la copa de los árboles**: hasta el 4° nivel (o Planta Baja + 3), correspondiente a los 12 metros de altura máxima.
- Viviendas **sobre la copa de los árboles**: a partir del 5° nivel (o Planta Baja + 4), a partir de los 12 metros de altura.

## IV.1.3.2. ORIENTACIÓN

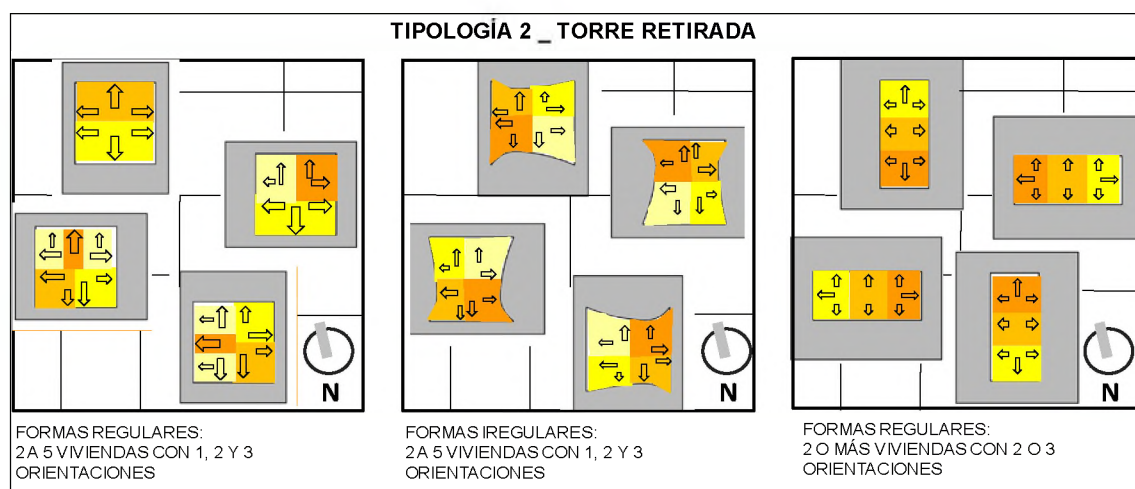
Debido a que la ciudad de Mendoza presenta una estructura urbana en cuadrícula con manzanas de 100 metros de lado y, por lo tanto, sólo un cuarto de las fachadas se encuentran orientadas hacia el Norte (+/- 5° hacia el Este). Muchos de los edificios en altura existentes, y todos los nuevos a construirse, se encuentran en una condición sin colindancia en la parte superior (por sobre el 4° nivel) y con colindancia en la parte inferior (hasta el 4° nivel).

En relación a las unidades de vivienda, su orientación estará condicionada en primer lugar a la ubicación del edificio en las manzanas de la trama urbana, así como a la disposición en planta del edificio, pudiendo contener viviendas frontales, es decir, expuestas al cañón urbano, o interiores, expuestas a patios o corazones de manzana. Además aparecen sombras propias de las particularidades de cada entorno.

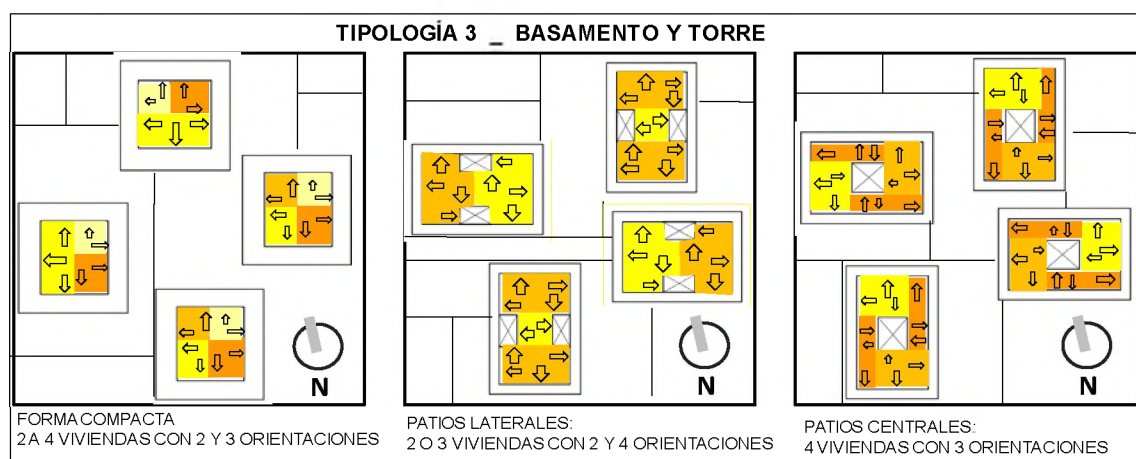
Los siguientes esquemas presentan las diferentes posibilidades de orientación de las unidades de vivienda de acuerdo a las tres tipologías analizadas dispuestas en una manzana: Torre sin retiros (Figura IV.3), Torre retirada (Figura IV.4) y Basamento y torre (Figura IV.5).



*Figura IV.3. Orientación de unidades de vivienda según la morfología y la disposición de los patios en la tipología de Torre sin retiros.*



*Figura IV.4.* Orientación de unidades de vivienda según la morfología en la tipología de Torre retirada



*Figura IV.5.* Orientación de unidades de vivienda según la morfología y la disposición de los patios en la tipología de Basamento y torre

En relación a la radiación que incide en las envolventes edilicias es sabido que el sol cambia de trayectoria permanentemente y es así como la energía incidente sobre fachadas de edificios de distinta orientación será distinta dependiendo de la época del año en que nos encontremos y de las condiciones del cielo (presencia de nubosidad).

En la *Figura IV.6* puede observarse la radiación solar incidente sobre fachadas de distinta orientación e inclinación, para el caso del mes de Junio (invierno) y para el caso del mes de Diciembre (verano). Ambas están calculadas con la metodología de radiación solar sobre planos inclinados (Duffie y Beckman, 1991) para la Ciudad de Mendoza donde prevalecen condiciones de cielo claro durante la mayor parte del tiempo.

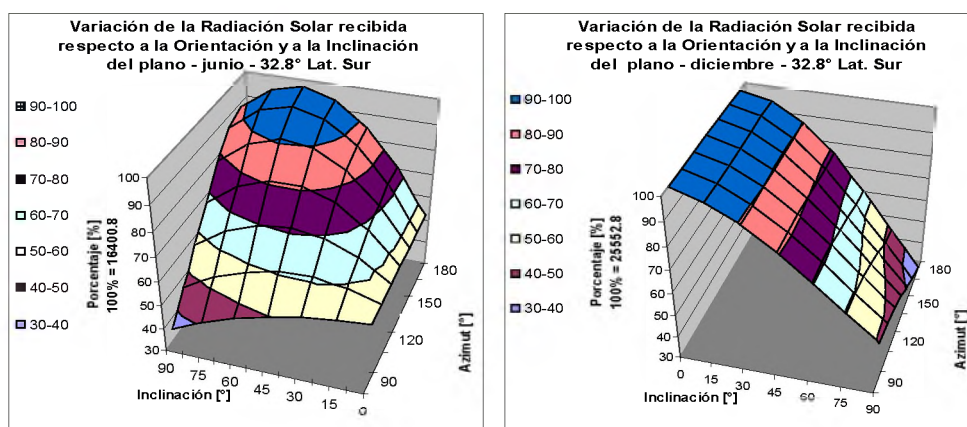


Figura IV.6. Radiación solar incidente sobre fachadas expuestas de distinta orientación e inclinación para Invierno y verano en la ciudad de Mendoza. (Ganem, 2006)

Como se puede observar, la energía solar incidente en invierno en la fachada Norte, es muy alta respecto de la energía solar incidente sobre el plano horizontal y varía muy poco del máximo que es el del plano inclinado 60° de la horizontal (100%). Esta razón hace que los sistemas pasivos se elijan colocarlos sobre la fachada Norte, y en este sentido tener grandes superficies transparentes sobre esta fachada beneficiará en invierno al ganar energía cuando realmente necesitamos calefacción.

En el mes de diciembre (verano) el techo (es decir, las superficies horizontales) es lo que más gana calor durante el día, y las fachadas (correspondientes a una inclinación de 90°) tienen una ganancia respecto de aquél de sólo el 40%. Este valor parece poco, sin embargo, teniendo en cuenta los niveles de radiación solar máxima en este mes, (25552 kJ/m<sup>2</sup>) el 40% significa 10220 kJ/m<sup>2</sup> o lo que es lo mismo, 2440 kcal/m<sup>2</sup> por día. Si suponemos que esta energía debe extraerse en 10 hrs en la que llega la mayor parte de la radiación solar, esto está representando 0,081 Toneladas de refrigeración/m<sup>2</sup> (1Tr = 3023 Kcal/h).

Por lo tanto, en el Hemisferio Sur, para obtener un comportamiento térmico y lumínico ideal en verano (altura solar a las 12 del mediodía de 82°), es importante una buena exposición al Norte, al mismo tiempo que debe minimizarse la exposición a Este y Oeste.

A los efectos de evaluar la condición más favorable desde el punto de vista bioclimático, se decide evaluar casos cuya fachada principal se encuentre orientada hacia el Norte y las unidades de vivienda a analizar sean frontales, es decir, se encuentren orientados a la vía pública y por ende a

la arboleda urbana. Asimismo se considera pertinente, dado el contexto urbano que lo favorece, que la cuadra inmediata al Norte del edificio en estudio sea una plaza, asegurando la ausencia de sombras por entorno.

De esta forma se trabaja con casos que presenten las mayores posibilidades de acceso al sol. De tal manera se reducirán en el aspecto arquitectónico las diferencias dadas entre los departamentos por sobre y por debajo de la arboleda urbana.

## IV.2. SELECCIÓN Y PRESENTACIÓN DE LOS CASOS DE ESTUDIO

A partir de las variables anteriormente consideradas se seleccionan cuatro unidades de viviendas, dos en cada uno de los edificios en estudio seleccionados. Los mismos se encuentran frente a las plazas en damero en la ciudad, y corresponden a diferentes tipologías morfológicas y materialidad de envolvente:

- **Edificio de imagen másica** -simbolizado con la letra **M**- de tipología en torre adosada a las líneas divisorias de edificación.
- **Edificio imagen liviana** -simbolizado con la letra **L**- tipología de torre retirada de las líneas divisorias de edificación.

En la *Figura IV.7* se presentan los edificios seleccionados y su ubicación en la ciudad para las mediciones de temperatura y humedad relativa interior y exterior (indicadas en rojo), y la ubicación del Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CCT Mendoza – CONICET) en el que se llevaron a cabo las mediciones de Radiación Global Horizontal (indicada en amarillo). Los sitios de medición se encuentran dentro de un radio de 2km, distancia que resulta apropiada para la validez de los datos de acuerdo a lo indicado para los registros de radiación solar de la Red Solarimétrica de la República Argentina (Grossi Gallegos, 1983).

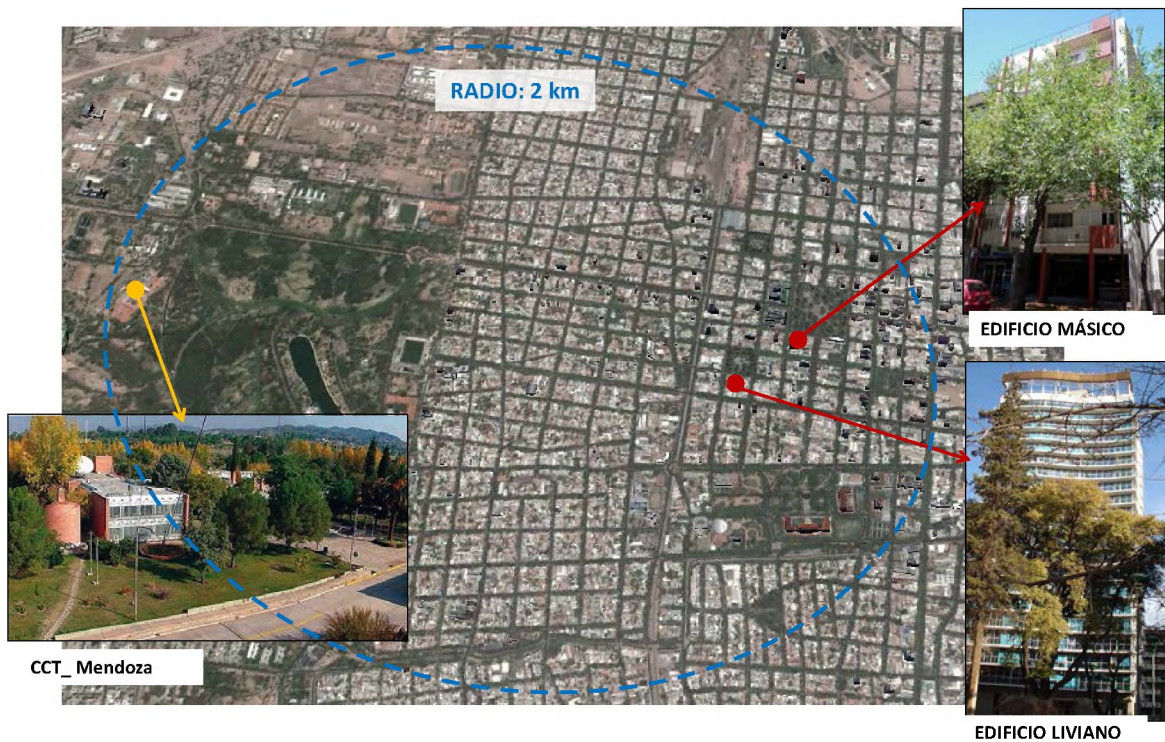


Figura IV.7. Ubicación de los edificios en estudio y del CCT Mendoza

#### IV.2.1. EDIFICIO MÁSIKO – M

El edificio másico fue construido en 1970, época en la cual la edificación en altura en Mendoza se desarrolla de manera homogénea respecto a alturas y retiros, tendiendo a la uniformidad y compacidad urbana.

Se encuentra frente a la Plaza principal de la ciudad: Plaza Independencia (ver *Figura IV.7*) y cuenta con las siguientes variables urbanas: ubicado sobre un canal vial de 20m forestado con ejemplares arbóreos adultos de moreras (*Morus alba*), los cuales definen un estrato acondicionado de 12 metros de altura (Cantón et al., 1994). El edificio se orienta al Norte, a los efectos de evaluar la condición más favorable desde el punto de vista bioclimático.

Se presenta en la *Figura IV.8* el contexto edilicio del caso en estudio (en amarillo) en el perfil de manzana ubicado frente a Plaza Independencia y se identifican (con letras B, C y D) las edificaciones según el año de su construcción, en relación a lo que manifiestan las situaciones representativas a los códigos de edificación vigentes.

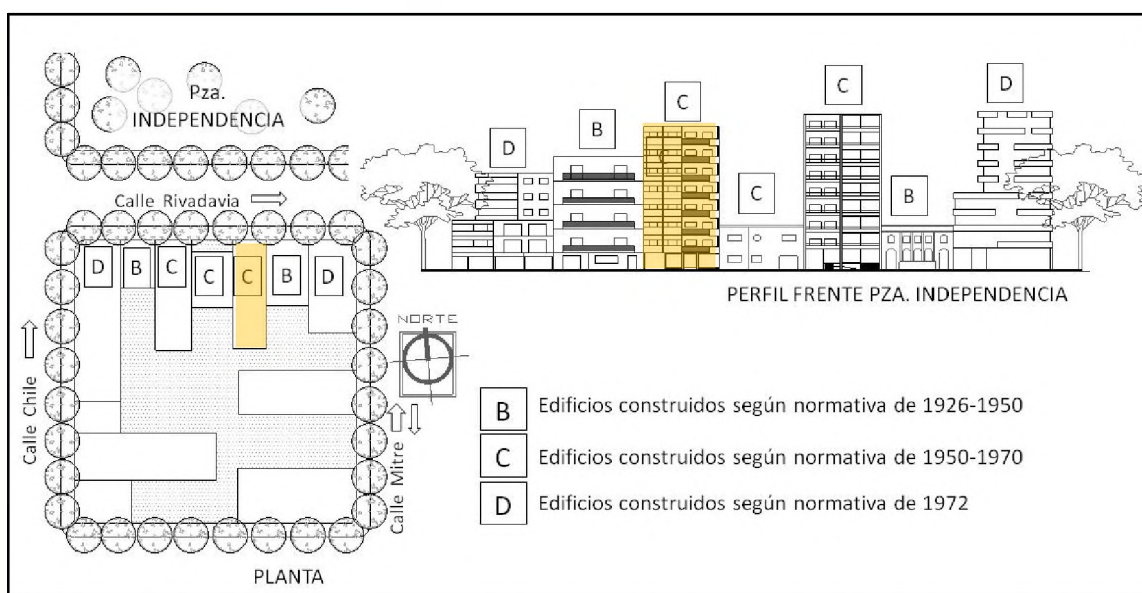


Figura IV.8. Perfil de la manzana con orientación Norte perteneciente al edificio másico en estudio

El perfil cuenta con construcciones realizadas según normativas de 1926, de 1950 y de 1970. Las edificaciones se encuentran al ras de las líneas divisorias de fachada, por lo que se observa una continuidad y uniformidad respecto a la alineación de las mismas. Los edificios en altura presentan un carácter relativamente homogéneo respecto a las alturas, entre 20 y 25 metros como máximo.

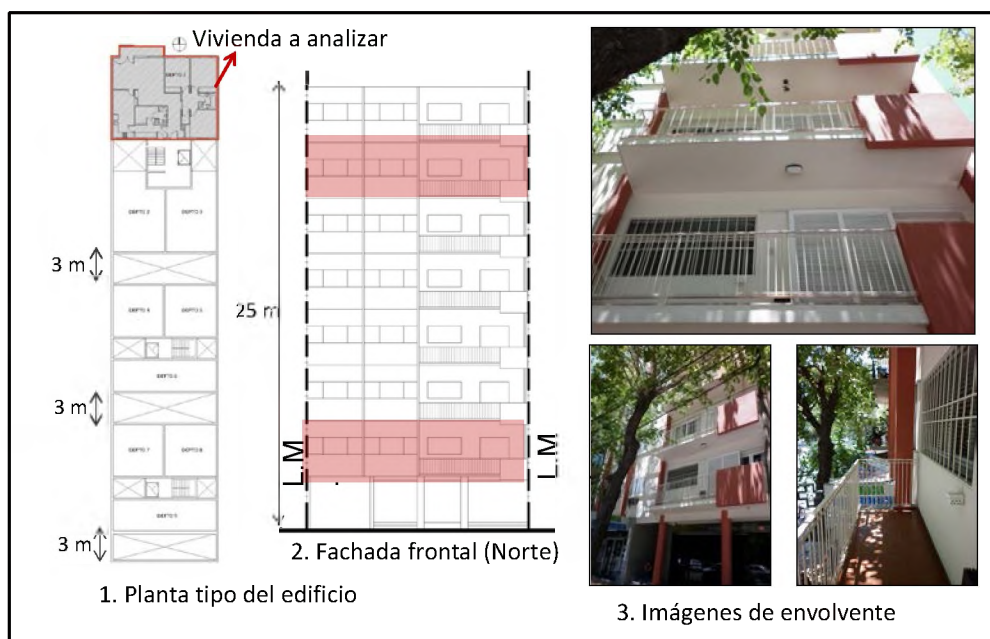
Las construcciones indicadas con las letras B y C, corresponden a la tipología de torre pegada a las líneas divisorias de edificación, de acuerdo a las normativas vigentes (1926 y 1950). Por otro lado, los edificios en altura indicados con letra D presentan la tipología de Basamento y torre (Normativa de 1970), retirándose la torre de una de las líneas colindantes. En todos los casos se trata de edificaciones de envoltentes predominantemente másicas -H°A° revocado o ladrillo visto- con un porcentaje que se encuentra entre el 50% y el 90%.

Respecto a los aspectos morfológicos del edificio en estudio seleccionado, el mismo se encuentra adosado a las líneas divisorias de edificación (ver 1 y 2 en Figura IV.9), es decir sobre la línea frontal y las laterales, colindando al Este: con una edificación de 5 niveles y al Oeste con una vivienda de 2 niveles. Cuenta con patios laterales y tres patios a lo ancho del terreno, de 3 metros de profundidad, lo cual genera un retiro posterior de 3 metros. La altura es de 25 metros: planta

baja y siete niveles de departamentos. Asimismo, cuenta con balcones de 1,20m de profundidad y persianas corredizas con celosías de madera color blanco (3 en *Figura I.V.9*).

En cuanto a la materialidad del edificio, la envolvente másica, correspondiente al 73,40 % de la envolvente total, cuenta con muros de ladrillo hueco con revoque y pintura -0,30 m de espesor- al exterior, sin aislación, ( $K= 1,36\text{W/m}^2\text{°C}$ ) y las divisiones interiores son del mismo material de 0,10 m de espesor. Las cubiertas son de losa nervada con ladrillo hueco, ( $K=0,64\text{ W/m}^2\text{°C}$ ). En cuanto a la envolvente liviana, del 26,60% de la total, se trata de vidrios simples de 4 mm de espesor ( $k= 5,8\text{W/m}^2\text{°C}$ , factor solar = 0,87).

Se analizan dos unidades de vivienda, señalizadas en planta y fachada en la *Figura IV.9*. Las mismas cuentan con igual orientación (Norte), así como equivalente superficie y ubicación en la fachada, pero en distintas alturas del edificio: primero (1°) y quinto (5°) nivel. La selección de los casos se realiza de acuerdo con la particular estructura de “ciudad-oasis” de Mendoza a partir de la clasificación según la altura: bajo y sobre la copa de los árboles.

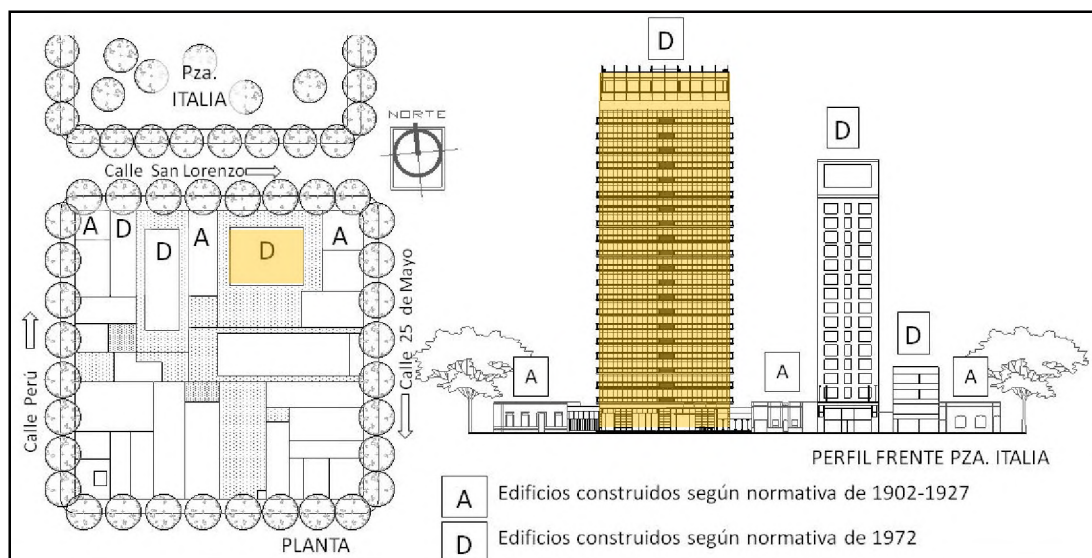


*Figura IV.9.* Imágenes en planta, fachada y fotografías del edificio másico

## IV.2.2. EDIFICIO LIVIANO – L

El edificio liviano seleccionado se construyó en el año 2007, época en la cual existe un aumento en la construcción en la ciudad y se destacan elevados edificios. Se encuentra frente a la Plaza Italia, una de las cinco plazas en damero de la ciudad (ver *Figura IV.7*). Al igual que el caso másico se encuentra sobre un canal vial de 20 metros forestado con moreras, de 12 metros de altura, y se orienta al Norte.

Se presenta en la *Figura IV.10* el contexto edilicio del caso en estudio (en amarillo) en el perfil de manzana frente a Plaza Italia y se identifican las edificaciones según el año de su construcción, en relación a lo que manifiestan las situaciones representativas a los códigos de edificación vigentes.



*Figura IV.10.* Perfil de la manzana con orientación Norte perteneciente al edificio liviano en estudio

El perfil cuenta con tres viviendas de medio patio que no sobrepasan los 7 metros de altura, construidas según la normativa de 1902 (letra A). En cuanto a las edificaciones en altura del perfil corresponden al código de 1970 (letra D), dentro de los cuales se observa un edificio correspondiente a la tipología de basamento pegado a las líneas divisorias de edificación con los 12m máximos de altura reglamentarios (4 niveles), y un porcentaje de materiales másicos en la envolvente del 60% aproximado. Los edificios en altura restantes, construidos entre el 2005 y el 2008, corresponden a la tipología de torre retirada de las líneas divisorias de edificación. Cuentan

con alturas que se encuentran entre los 54 y 72m. Los mismos respetan los retiros mínimos obligatorios, pero las torres no quedan inscritas en un ángulo vertical no mayor a 75° (Municipalidad de Mendoza, 1972-2002 Código de Edificación), por lo que superan ampliamente la altura del nivel del estrato acondicionado quedando las fachadas expuesta al clima árido del contexto. En cuanto a la envolvente presentan ambos una estructura de hormigón armado y superficies vidriadas que corresponden al 45% y al 70% respectivamente.

El edificio en estudio seleccionado corresponde a la tipología de Torre retirada, de 72 metros de altura (Planta baja + 20 niveles de departamentos) y con los siguientes retiros: frontal de 5 metros, laterales de 6 metros y posterior de 15 metros (ver 1 y 2 en *Figura IV.11*).

Respecto a la materialidad, el caso responde a la concepción de edificio de estructura de hormigón y piel de vidrio, y si bien la estructura resulta significativa debido al carácter sísmico de la región, en el edificio predomina una estética transparente. En la envolvente, los muros de hormigón armado ( $K=2,5 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ), alcanzan el 48,8% de la envolvente total. De este porcentaje el 21,65% está recubierto en vidrio y el 27,15% restante cuentan con revoque texturado con base de polímero. En el interior las divisiones son livianas, de tabiques de cartón y yeso tipo *Durlock*, de 10 cm de espesor. El material transparente, correspondiente al 51,20% de la envolvente, es de vidrios de 3mm cada uno (3+3) con láminas de polivinil butiral (PVB) de 0,38 aplicadas con calor y presión con tramos incoloros, *artic-blue* y espejados. Las losas son de H°A° macizo ( $K=2,40 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ).

Las dos unidades de vivienda a analizar se señalan en planta y fachada en la *Figura IV.11*. Las mismas cuentan con igual orientación (Norte), así como equivalente superficie y ubicación en la fachada, posicionadas en los niveles tres (3°) y dieciséis (16°).

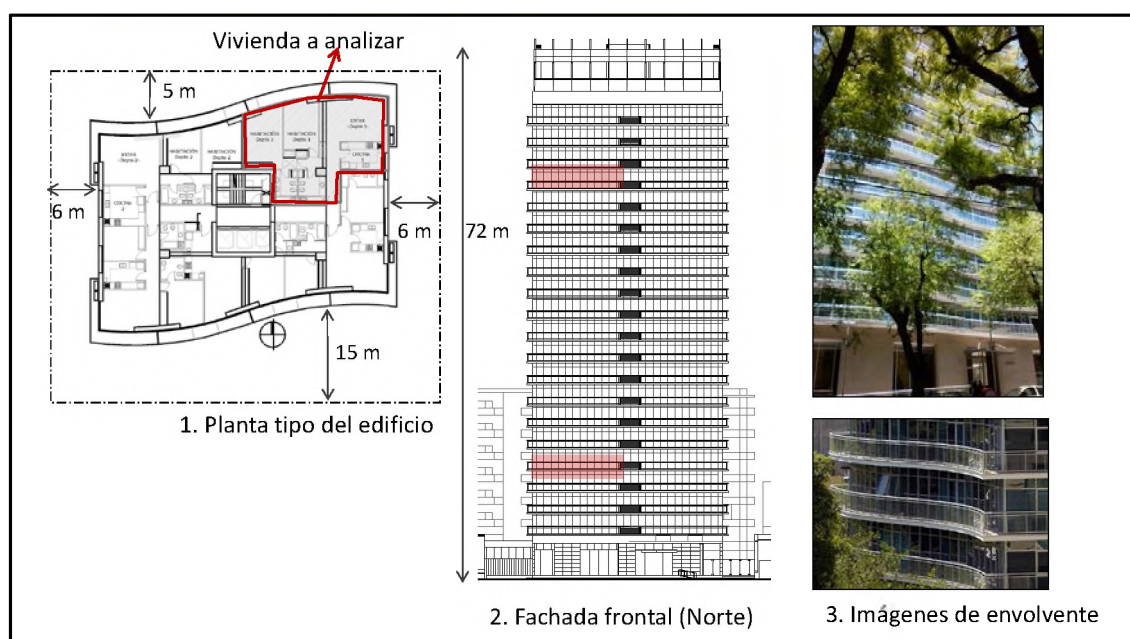


Figura IV.11. Imágenes en planta, fachada y fotografías del edificio liviano

#### IV.2.3. UNIDADES DE VIVIENDA

Se presentan las características espaciales y de materialidad de los departamentos en estudio:

Las unidades de vivienda del edificio liviano se encuentran orientadas al Nor-Este y cuenta con una superficie cubierta de  $98\text{m}^2$  y semi-cubierta (balcón) de  $17\text{m}^2$ . La envolvente expuesta total es de  $56,80\text{m}^2$  ( $37,70\text{m}^2$  al Norte y  $19,10\text{m}^2$  al Este).

En cuanto al edificio másico, los departamentos a estudiar están orientados al Norte, y tienen una superficie cubierta de  $122,50\text{m}^2$  y semi-cubierta de  $5,50\text{m}^2$  (balcón). La envolvente expuesta total varía en relación a la colindancia de la construcción que se encuentra al Oeste (ver Figura IV.8). En la vivienda del nivel inferior la envolvente expuesta es de  $65,40\text{m}^2$  (Norte:  $35,40\text{m}^2$  - Sur:  $21\text{m}^2$  Oeste:  $9\text{m}^2$ ), y en la del nivel superior es de  $76,40\text{m}^2$  (Norte:  $35,40\text{m}^2$  - Sur:  $21\text{m}^2$  y Oeste:  $20\text{m}^2$ ).

En la Tabla IV.4 se puede ver la planta de las viviendas con las referencias de la materialidad de la envolvente (Referencia 1, 2 y 3 en el edificio liviano y referencias 1 y 2 en el edificio másico) y las superficies cubiertas y de envolvente de los espacios a analizar: estar comedor y habitación 1.

|                                       | EDIFICIO LIVIANO                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                | EDIFICIO MÁSIKO                                                                                                                                                                                                                                     |                                                        |
|---------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| Plantas de las unidades de vivienda   |                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                |                                                                                                                                                                                                                                                     |                                                        |
| Orientación                           | Nor-Este                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                | Norte                                                                                                                                                                                                                                               |                                                        |
| Superficies totales                   | Cubierta: 97,85 m <sup>2</sup><br>Semi-cubierta: 17 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                   |                                                                | Cubierta: 122,50 m <sup>2</sup><br>Semi-cubierta: 5,50 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                               |                                                        |
| Envolvente expuesta (m <sup>2</sup> ) | Total: 56,80 m <sup>2</sup><br>Norte: 37,70 m <sup>2</sup> – Este: 19,10 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                              |                                                                | 1° nivel_ Total: 65,40 m <sup>2</sup><br>(Norte: 35,40 m <sup>2</sup> - Sur: 21 m <sup>2</sup> Oeste: 9m <sup>2</sup> )<br>5° nivel_ Total: 76,40 m <sup>2</sup><br>(Norte: 35,40 m <sup>2</sup> - Sur: 21 m <sup>2</sup> Oeste: 20m <sup>2</sup> ) |                                                        |
| Envolvente vertical                   | Ref.1- Vidrios exteriores laminados 3+3.<br>Carpinterías de aluminio Aluar blancas, modelo Modena<br>Ref.2- H°A° con vidrios laminados al exterior<br>Ref.3- H°A° con revoque texturado con base de polímero, sobre base coate (para evitar fisuras) |                                                                | Ref.1- Vidrio simples de 6mm de espesor.<br>Carpintería de madera pintada en blanco.<br><br>Ref.2- Ladrillo hueco 0.30m con revoque y pintura                                                                                                       |                                                        |
| Envolvente horizontal                 | Losa maciza H°A°                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                | Losa maciza nervada con ladrillo hueco                                                                                                                                                                                                              |                                                        |
| Materiales interiores                 | Divisiones: tabiques tipo durlock con aislación termo-acústica interior de 10 cm de espesor. Pisos: porcelanato                                                                                                                                      |                                                                | Divisiones: ladrillo hueco de 10 cm de espesor. Pisos: parket de madera                                                                                                                                                                             |                                                        |
|                                       | Estar-comedor                                                                                                                                                                                                                                        | Habitación 1                                                   | Estar-comedor                                                                                                                                                                                                                                       | Habitación 1                                           |
| Sup. cubierta                         | 20,20 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                 | 17,80 m <sup>2</sup>                                           | 22,30 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                | 12,20 m <sup>2</sup>                                   |
| Envolvente vertical                   | 54 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                    | 50,60 m <sup>2</sup>                                           | 56,30 m <sup>2</sup>                                                                                                                                                                                                                                | 41 m <sup>2</sup>                                      |
| Envolvente expuesta                   | 29 m <sup>2</sup> (53.7%)<br>-másica 24.70% - liviana: 29%                                                                                                                                                                                           | 11.70 m <sup>2</sup> (23%)<br>-másica 11.60% - liviana: 11.40% | 17.40 m <sup>2</sup> (31%)<br>-másica 20% - liviana: 11%                                                                                                                                                                                            | 8.60 m <sup>2</sup> (21%)<br>-másica 18% - liviana: 3% |
| Envolvente interior                   | 25 m <sup>2</sup> (46.3%)                                                                                                                                                                                                                            | 38.90m <sup>2</sup> (77%)                                      | 38.90m <sup>2</sup> (69%)                                                                                                                                                                                                                           | 32.40 m <sup>2</sup> (79%)                             |

Tabla IV.4. Características dimensionales, de envolvente y materialidad de las unidades de vivienda

**IV.2.3.1. ANÁLISIS DE MASIVIDAD, MORFOLOGÍA Y POSIBILIDADES ENERGÉTICAS****- ANÁLISIS DE MASIVIDAD**

La masividad de las viviendas se refiere al cálculo de masa por unidad de superficie habitable y se evalúa en relación al comportamiento térmico global de los materiales que lo componen (coeficiente de transmitancia  $K$ ).

Se define la masa dada por unidad de superficie habitable en términos de volumen ( $m^3$ ) en las unidades de vivienda en estudio. Es decir, se calculan los elementos másicos en la envolvente total de la vivienda (envolvente expuesta, divisiones interiores, pisos y techos) y la envolvente expuesta solamente.

Las viviendas del edificio másico presentan  $0,29m^3$  de masa por unidad de superficie habitable teniendo en cuenta las superficies verticales (exteriores e interiores) y las superficies horizontales. Para el caso de unidades de vivienda que sólo presentan envolvente vertical expuesta, es decir que no cuentan con superficies horizontales expuestas (niveles 1° a 5°), la misma equivale a  $10m^3$  por  $m^3$  interiores.

Por otro lado, en el edificio liviano los departamentos analizados cuentan con  $0,22m^3$  de masa por unidad de superficie habitable, teniendo en cuenta las superficies verticales (exteriores e interiores) y las superficies horizontales. Para el caso de unidades de vivienda que sólo presentan envolvente vertical expuesta (niveles 1 a 19) la misma equivale a  $0,06m^3$ . Cabe destacar que el 70% de la envolvente maciza expuesta está recubierto en vidrio (por motivos estéticos) lo cual varía mínimamente el coeficiente de transmitancia  $K$  (con vidrio  $K=2.55 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$  y sin vidrio  $K=2.54 \text{ W/m}^2$ ).

Las diferencias entre los dos casos son: en relación a la envolvente total del orden del 25% y en relación a la envolvente expuesta del orden del 40%.

En la *Tabla IV.5* se muestran los valores de masa por unidad de superficie habitable, junto a la materialidad opaca y sus coeficientes de transmitancia ( $K$ ).

|              | MASA POR UNIDAD DE SUP. HABITABLE (m3) |                     | MATERIALIDAD OPACA                            | K (W/m <sup>2</sup> °C) |
|--------------|----------------------------------------|---------------------|-----------------------------------------------|-------------------------|
|              | ENVOLVENTE TOTAL                       | ENVOLVENTE EXPUESTA |                                               |                         |
| CASO MÁSIKO  | 0.29                                   | 0.10                | Ladrillo cerámico hueco (0.30m) sin aislación | 1.36                    |
| CASO LIVIANO | 0.22                                   | 0.06                | H°A° (0.40 m) sin aislación                   | 2.55                    |

Tabla IV.5. Masa por unidad de superficie habitable en las viviendas del caso másico y liviano

#### - ANÁLISIS DE FORMA

Respecto al análisis de forma la morfología de los ambientes analizados se define a partir de dos factores: Factor de Forma: FF (Olygay, 1998) y Factor de Área de Envolvente de Piso: FAEP (Esteves, 2003).

El Factor de Forma (FF) determina la capacidad de intercambio de calor con el exterior de la estructura formal del espacio y se expresa como el cociente entre la superficie de envolvente total y la superficie del piso.

Las viviendas del caso másico cuentan con un coeficiente 1, mientras que en el caso liviano es de 1,20. Teniendo en cuenta que el factor 2 es el de más alta compacidad (correspondiente a una semiesfera) se advierte que la vivienda liviana se acerca en mayor medida a tal compacidad.

El Factor de Forma de Envolvente de Piso (FAEP) se expresa como el cociente entre la superficie expuesta y la superficie de piso. La vivienda del caso bajo la copa de los árboles del caso másico cuenta con un FAEP de 0,5, al igual que las viviendas del caso liviano, mientras que el departamento del caso sobre la copa de los árboles del edificio másico, al contar con mayor superficie de envolvente expuesta al Oeste tiene un FAEP de 0,60.

Un análisis combinado de los dos factores (FF y el FEP) permite determinar que tanto desde el punto de vista geométrico, como en cuanto a la exposición exterior, si bien el caso liviano presenta una forma más compacta, todas las viviendas cuentan con similares morfologías.

- *POSIBILIDADES ENERGÉTICAS DE LAS UNIDADES DE VIVIENDA*

Para valorar las posibilidades energéticas de los edificios en relación con la cantidad de envolvente expuesta y su orientación en invierno se utiliza el método de la Relación Carga Térmica / Colector (R.C.C.) (Balcomb et al., 1982). Este método permite el cálculo del rendimiento de los sistemas solares pasivos. El mismo tiene en cuenta la relación existente entre las pérdidas de calor evaluadas a través del Coeficiente Neto de Pérdidas (C.N.P.) y la ganancia solar, medida a través del área colectora (AC). Esta relación responde a un valor dado para cada sistema solar (ganancia directa, muros acumuladores, invernaderos, etc.) y para cada localidad. De tal modo que en un lugar determinado, a través del clima reinante (radiación solar y grados-día), para cada valor de Fracción de Ahorro Solar (F.A.S.), le corresponde un valor de la relación R.C.C. para cada sistema solar.

Se definen los siguientes métodos:

- **Coeficiente Neto de Pérdidas** (C.N.P.) del edificio que indica la cantidad de energía que se debe entregar al edificio por cada grado centígrado de diferencia entre la temperatura interior y la temperatura exterior de ese lugar por unidad de tiempo, en el sistema internacional de unidades sus dimensiones son  $[W/°C]$ . Es una figura importante para conocer las pérdidas térmicas del edificio.
- **Área Colectora** (A.C.) es la cantidad de superficie potencialmente colectora de energía solar, que a través de un sistema pasivo apropiado (ganancia directa, muro acumulador, invernadero, etc.), permite la ganancia y/o acumulación de energía en el mismo.
- **Fracción de Ahorro Solar** (F.A.S.) es la cantidad de energía solar que aprovecha el edificio y que se mide en porcentaje respecto de la cantidad de energía total que necesita consumir para mantener el interior a una temperatura constante. Se calcula en términos anuales.
- **Relación Carga Térmica/Colector** (R.C.C.) es la resultante de dividir el Coeficiente Neto de Pérdidas (C.N.P.) por el área colectora (A.C.) del edificio, en virtud de la siguiente ecuación:

$$R. C. C. = \frac{C. N. P.}{A. C.} = \left[ \frac{W}{m^2} * ^\circ C \right] \quad [1]$$

El C.N.P. tiene en cuenta las pérdidas de energía a través de techos, muros, ventanas, puertas, infiltración de aire y fundaciones y se calcula como la suma de la multiplicación del área por la conductancia térmica de cada uno de estos elementos de la envolvente. De esta manera, se puede calcular el C.N.P. y contando con el A.C. - área colectora del sistema solar-, es posible calcular la RCC, de acuerdo a la ecuación [1]. Una vez calculada ésta, se puede conocer la Fracción de Ahorro Solar, conociendo el Sistema Solar Pasivo a incorporar al edificio (Esteves et al., 2002). En la *Tabla IV.6* se muestran los resultados obtenidos:

| CASOS   | NIVELES       | Coef. Neto Pérdidas (W/°C) | Área colectora m <sup>2</sup> | Frac. Ahorro Solar (%) | Rel. Carga Térm/Colector (W/m <sup>2</sup> .°C) | Factor G |
|---------|---------------|----------------------------|-------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------|----------|
| MÁSICO  | Bajo la copa  | 207.3                      | 12.6                          | 42.2                   | 6.11                                            | 0.8      |
|         | Sobre la copa | 219.8                      | 12.6                          | 40.7                   | 6.48                                            | 0.8      |
| LIVIANO | Bajo y sobre  | 138.2                      | 26.9                          | 37.8                   | 7.31                                            | 1.1      |

*Tabla IV.6.* Posibilidades energéticas para calentamiento de las unidades de vivienda

Si comparamos los casos estudiados observamos que el CNP es una figura ascendente relacionada con la cantidad de envolvente expuesta: la superficie expuesta pasa de un área de 56,80 m<sup>2</sup> (edificio liviano) a 76,40 m<sup>2</sup> (edificio másico). Por consiguiente el CNP varía de 138,2 W/°C a 219,8W/°C.

Se observa que la diferencia en el área colectora es de más del 100%, resultando mayor la del caso liviano. Sin embargo, la FAS (Fracción de ahorro Solar) es mayor en los departamentos del edificio másico (37,8 %) que en los del liviano (41 %).

El análisis comparativo, coincide con estudios de vivienda multifamiliares en Mendoza (Barea et al, 2008), que expresan que si bien los parámetros analizados no son válidos para la comparación entre casos, los mismos se pueden tener en cuenta para la comparación de distintas posibilidades de materialización de la envolvente en el marco de un mismo caso, tema que se abordará en el próximo capítulo.

### IV.3. ANÁLISIS TERMO-ENERGÉTICO Y VALORACIÓN DE USO

#### IV.3.1. METODOLOGÍA

*“El comportamiento energético de los edificios existentes en su uso habitual debe ser evaluado en periodos representativos del día y del año para comprender el comportamiento del edificio y proveer una referencia, un caso base a partir del cual diseñar”. (Commission of European Countries, 1999)*

La metodología a emplear en torno al análisis de casos se realiza a partir de cuatro aproximaciones, que se detallan a continuación:

- a- Auditorías higo-térmicas y de radiación: adopción de instrumentos que evalúan el comportamiento ambiental, es decir, las condiciones térmicas interiores y exteriores y la radiación global.
- b- Auditorías energéticas: relevamiento de consumos eléctricos y de gas de los casos de estudio.
- c- Percepción de confort de los usuarios: entrevistas.
- d- Diagnóstico comparativo de los casos.

#### **a- AUDITORÍAS HIGRO-TÉRMICAS Y DE RADIACIÓN SOLAR GLOBAL**

Se efectúan mediciones de temperatura y humedad en las cuatro estaciones del año 2012 durante períodos entre veinte y cuarenta días. Para facilitar el análisis de los datos, se realizó una selección de los siete días más representativo del período medido, resultando los siguientes:

- en verano del día 16 al 22 de diciembre del 2011
- en otoño del 6 al 12 de abril del 2012
- en invierno del 22 al 28 de julio del 2012
- en primavera: del 26 de octubre al 1 de noviembre del 2012

Cabe aclarar que las mediciones de los cuatro casos de estudio se realizaron simultáneamente a fines de comparar los comportamientos térmicos bajo situaciones ambientales equivalentes. Las mediciones completas efectuadas se presentan en el *Anexo 3*.

Se fijaron intervalos de registro cada 15 minutos simultáneos en todos los instrumentos. Este criterio fue adoptado de acuerdo a las recomendaciones de Longobardi y Hancock (2000).

#### SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS<sup>2</sup>:

- *Mediciones de temperatura del aire y humedad relativa:*

Los instrumentos que se utilizaron son los micro-adquisidores de datos de temperatura y humedad HOBO U.12 de la marca ONSET (Tecnología patentada U.S. patente 6.826.664). Los sensores alcanzan un rango de operación de temperatura de -20°C a 70° C con una precisión de  $\pm 0.35^{\circ}\text{C}$  desde 0° a 50°C. Y un rango de medición de humedad relativa (no condensada y sin niebla) 5% a 95% HR con una precisión de  $\pm 2.5\%$  HR desde 10% a 90%.

Las dimensiones de los sensores son de 5,8cm de ancho por 7,4cm de alto y 2,2cm de espesor (2.3 x 2.9 x 0.85"); y cuenta con un peso aproximado de 46 gramos (1.6 oz.). Asimismo, almacenan un máximo de 43.000 mediciones de 12-bit en su memoria interna, que luego son descargados mediante un cable USB en un ordenador. Dichas características facilitan su ubicación sin perturbar la vida cotidiana del habitante.

Se utilizan 3 micro-adquisidores de datos de temperatura y humedad para cada una de viviendas ubicados en diferentes ambientes: dos en el interior y uno en el exterior. Los mismos se ubican a alturas equivalentes y a una distancia suficiente de la masa de las paredes a los efectos de evitar distorsiones en los datos (Oke, 2004).

---

<sup>2</sup>Los instrumentos de adquisición de datos utilizados pertenecen al Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV)- Instituto de Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (INCIHUSA) pertenecientes al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas Argentino (CONICET).

- *Mediciones de radiación solar global:*

Las mediciones de radiación se realizan con un Solarímetro CM 5 KIPP & ZONEN en los mismos períodos y con la misma frecuencia de toma de datos establecida para las mediciones de temperatura de aire y humedad relativa.

Los datos de voltaje se registran por medio de un amplificador en un *data-logger* ONSET HOBO. Los resultados obtenidos se ajustan con la constante calibración del aparato (en este caso es igual a  $12,09 \times 10^{-6}$  V por  $W/m^2$ ). De esta forma se obtiene la Radiación Global incidente en  $W/m^2$ .

En la *Figura IV.12* se presenta una imagen de los instrumentos utilizados.



*Figura IV.12.* Solarímetro Kipp & Zonen y sensor de temperatura y humedad Hobo U12

#### **b- AUDITORÍAS ENERGÉTICAS**

Los consumos de energía se encuentran asociados a los requerimientos de acondicionamiento térmico, iluminación y otros usos (cocción, agua caliente, electrodomésticos). A los efectos de analizar los requerimientos energéticos anuales de los departamentos en estudio se obtuvieron las facturas bimestrales durante el año 2012, provenientes de los consumos de gas natural y electricidad.

En Argentina las tarifas de los servicios públicos se han encontrado subsidiadas por el Estado Nacional hasta el presente año, en el cual se comenzó con la quita gradual del subsidio en una primera etapa en industrias y residenciales de barrios privados. Actualmente (2014) los costos para la zona evaluada aún resultan menores en comparación con otros países:

- Electricidad (iluminación, climatización y artefactos eléctricos) provistos por EDEMSA, Energía Mendocina. El régimen tarifario del sector residencial de baja tensión corresponde a usuarios de pequeñas demandas (potencia máxima de 10kW) y cuenta con un cargo fijo de 0,57 dólares bimestrales (3,88 pesos argentinos) y un cargo variable de 0,066 dólares/kWh (0,4453 pesos argentinos/kWh).
- Gas natural (cocción, agua caliente, calefacción) suministrado por ECOGAS, Distribuidora de Gas Cuyana S.A. Las tarifas de gas natural en los sectores residenciales mantenidas desde el año 2008, tienen un cargo fijo de 1,20 dólares aproximados (7,84 pesos argentinos), más un cargo por metro cúbico de 0,021 dólares (0,14 pesos argentinos), y la factura mínima bimestral es de 1,85 dólares (12,22 pesos argentinos).

En Mendoza el gas tiene un poder calorífico nominal de 9.300 kcal por m<sup>3</sup>. Teniendo en cuenta las conversiones básicas de la Normas IRAM 11.549 (2002) y a fin de comparar los consumos mediante una misma unidad de medida (kWh) se utiliza un factor de conversión de 10,80 en base a calcular 9300 kcal/m<sup>3</sup>. 4,18kj/kcal/3600 seg/h.

#### c- PERCEPCIÓN DE CONFORT

El proceso racional y objetivo de las auditorías térmicas debe complementarse en todo momento con el análisis del contexto cultural, el cual involucra de forma implícita al hombre.

*“Este hombre se posiciona en su lugar, transformándolo en hábitat. Se apropia de su contexto. Genera un nuevo paisaje, mezcla de naturaleza y cultura, tecnología y técnica, concepto y funcionamiento. Lo ocupa, sustrae sus esencias y las transforma en productos, en riqueza. Domina todo el territorio, el planeta, y congrega sus sueños más allá de la protección de la atmósfera. Se cobija, se reúne, conforma ciudades, edificios (...)”* (Molina y Vedia et al, 2008).

A partir de los modelos de confort adaptativo se realizaron entrevistas abiertas a los habitantes de los departamentos en estudio con el objetivo de recoger la visión subjetiva y personal. El tipo abierto de entrevistas resulta adecuado cuando se busca la heterogeneidad de puntos de vista personales más que el consenso o punto de vista tópico común (Ribot Catalá et al., 2000). Esto hizo posible por un lado, analizar el nivel de satisfacción por parte de los usuarios de la condición térmica interior en su propio medio, obteniendo información en el mismo sitio donde viven (Marincic et al., 2012); y por el otro lado poder explicar variaciones en los niveles de consumo en

casos con características constructivas equivalentes. Asimismo, se incorporó a la entrevista una pregunta cerrada a fines de registrar la sensación térmica en una escala de muy frío a muy cálido (PMV -voto medio previsto- Fanger, 1970), siendo el 0 la sensación de confort o de temperatura neutral (ASHRAE, 1992). En el *Anexo 4* se presenta la guía modelo de las entrevistas realizadas.

Las entrevistas se efectúan en los casos de estudio durante las estaciones extremas de invierno y verano del año 2013. Durante las entrevistas se realizó una auditoría extensa de los parámetros ambientales. Adicionalmente a la temperatura del aire, se midieron:

- i. Temperatura de aire interior, humedad relativa y temperatura exterior con un dispositivo micro-adquisidor de datos marca ONSET modelo HOBO U14
- ii. Temperatura radiante mediante un micro-adquisidor marca ONSET modelo HOBO U12 con termocupla tipo T en el interior de un globo negro
- iii. Temperatura superficial mediante la utilización de una cámara termográfica marca FLIR modelo i3
- iv. Movimiento del aire interior e infiltraciones en carpinterías con un anemómetro de hilo caliente marca TESTO modelo 425.

Este tipo de relevamiento ambiental durante la entrevista facilita la contextualización de las respuestas a lo largo de las mediciones mensuales, dado a que en general las personas relacionan sus respuestas a la situación que están percibiendo en el momento.

#### **d- DIAGNÓSTICO COMPARATIVO TÉRMICO - ENERGÉTICO**

El análisis comparativo de las temperaturas interiores y consumos energéticos se realiza en función de tener en cuenta el uso y percepción de confort por parte de los habitantes en relación a las diferencias en altura y materialidad de envolvente.

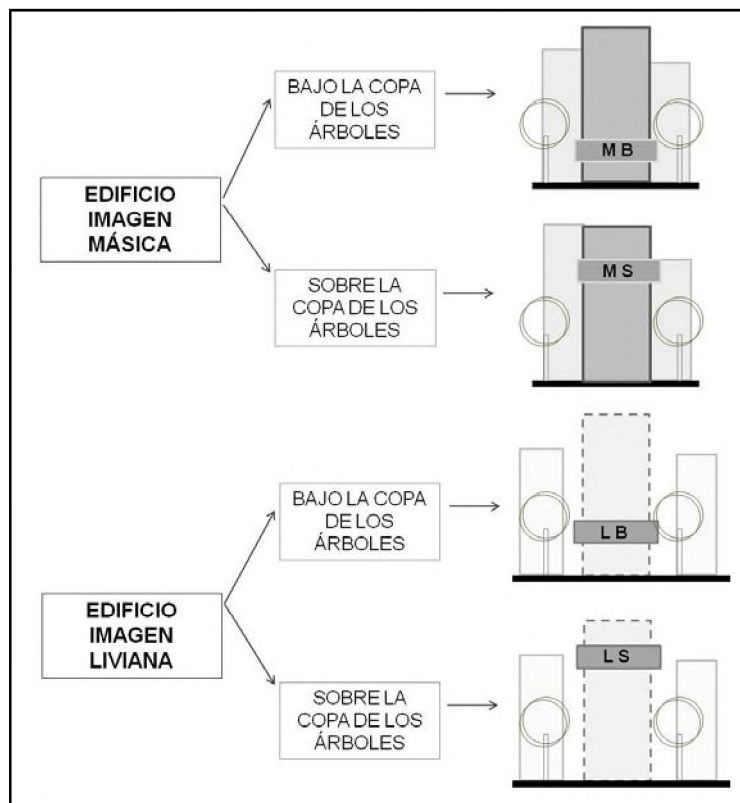
Respecto a las auditorías energéticas se analizan los consumos máximos en las estaciones extremas (invierno y verano) por metro cuadrado, a partir de diferenciar los consumos utilizados para acondicionamiento térmico. A tal fin se tienen en cuenta:

- Se calcula el promedio de los consumos de gas natural en los períodos que no se utilizan sistemas de calefacción (de setiembre a mayo). Con este dato se obtiene el consumo para

agua caliente y cocción en el periodo de invierno, pudiendo diferenciar de este modo el consumo para calefacción.

- Para los consumos de electricidad en verano se considera como el consumo para iluminación y electrodomésticos, al promedio de los consumos de cada vivienda en los períodos que no se utilizan sistemas de enfriamiento. En este caso se diferencian las viviendas másicas de las livianas, dado que en las últimas (livianas) se utilizan medios de enfriamiento en períodos más extensos.

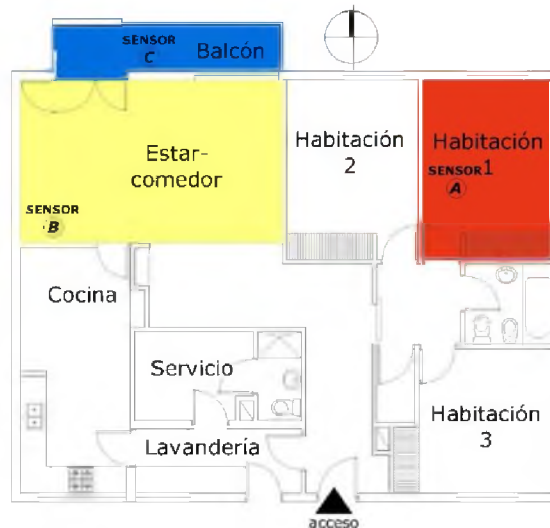
Con el fin de presentar una referencia clara se presentan en la *Figura IV.13* los íconos que representan a cada caso en estudio para identificarlos fácilmente durante el análisis:



*Figura IV.13.* Iconos representativos de las unidades de vivienda

## IV.3.2. EDIFICIO DE IMAGEN MÁSCA

En la *Figura IV.14* se presenta la planta de las viviendas con la ubicación de los sensores en los espacios auditados: habitación 1 (sensor A), estar comedor (sensor B) y balcón exterior (sensor C). Las imágenes muestran dichos espacios: *Figura IV.15* caso sobre la copa de los árboles; y *Figura IV.16* caso bajo la copa de los árboles.



*Figura IV.14.*Planta de la vivienda máscara



*Figura IV.15.* Espacios auditados de la vivienda máscara **sobre** la copa de los árboles \_ MS



*Figura IV.16.* Espacios auditados de la vivienda máscara **bajo** la copa de los árboles \_MB

## IV.3.2.1. VIVIENDA BAJO LA COPA DE LOS ÁRBOLES\_ MB

## IV.3.2.1.1. COMPORTAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR E INTERIOR

## VERANO

- Mediciones completas: del 14/12/2011 a 23/01/2012
- Período seleccionado: del 16/12/2011 a 22/12/2011

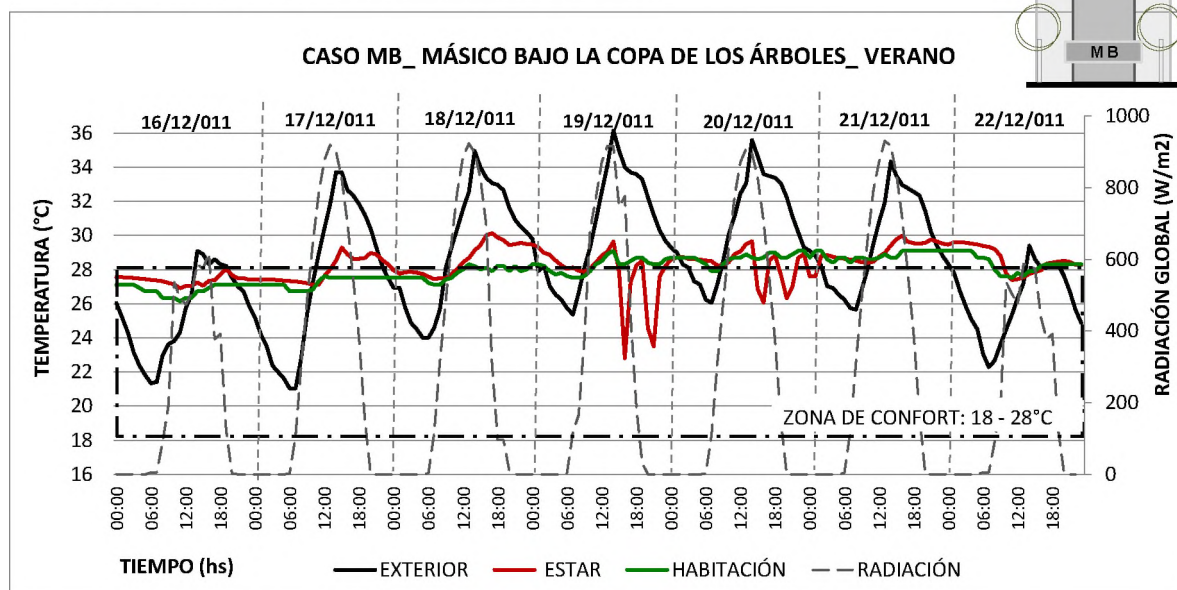


Figura IV.17. Temperatura exterior e interiores en verano de la vivienda másica bajo la copa

El período de días analizados en verano corresponde a días claros, incluyendo dos días nublados (16/12 y 22/12) en los cuales la radiación disminuye, y las temperaturas exteriores e interiores acompañan este hecho. La temperatura exterior se encuentra entre 21°C y 36°C, con amplitudes térmicas del orden de 11°C para los días claros, y de 6°C para los días nublados.

Se puede observar que las temperaturas interiores sobrepasan el rango de confort sugerido<sup>3</sup>. En el estar las temperaturas muestran un comportamiento que se diferencia según el uso de medios mecánicos de enfriamiento: los días 19/12 y 20/12 se advierte el uso de aire acondicionado dado que la temperatura interior desciende hasta 22,80°C cuando la exterior es de 34°C. Los días sin

<sup>3</sup>Givoni (1991) sugiere el rango de temperatura de confort entre 20°C y 25°C. Para países en vías de desarrollo, el autor sugiere la flexibilización de 2°C de las temperaturas límite debido a que el habitante se encuentra adaptado a su clima, es decir de 20°C a 27°C en verano.

influencia de tales medios, las temperaturas absolutas oscilan entre 26,70°C y 30,10°C. El  $\Delta T$  promedio diario interior, sin la influencia de aire acondicionado, es de 2,20°C.

En la habitación las temperaturas se encuentran por debajo de las del estar (1°C promedio) y tienen muy poca variación diaria, de 1°C. Esto se debe al carácter más conservativo del espacio debido a una menor exposición.

## OTOÑO

- Mediciones completas: del 29/3/2012 a 12/4/2012
- Período seleccionado: del 6/4/2012 a 12/4/2012

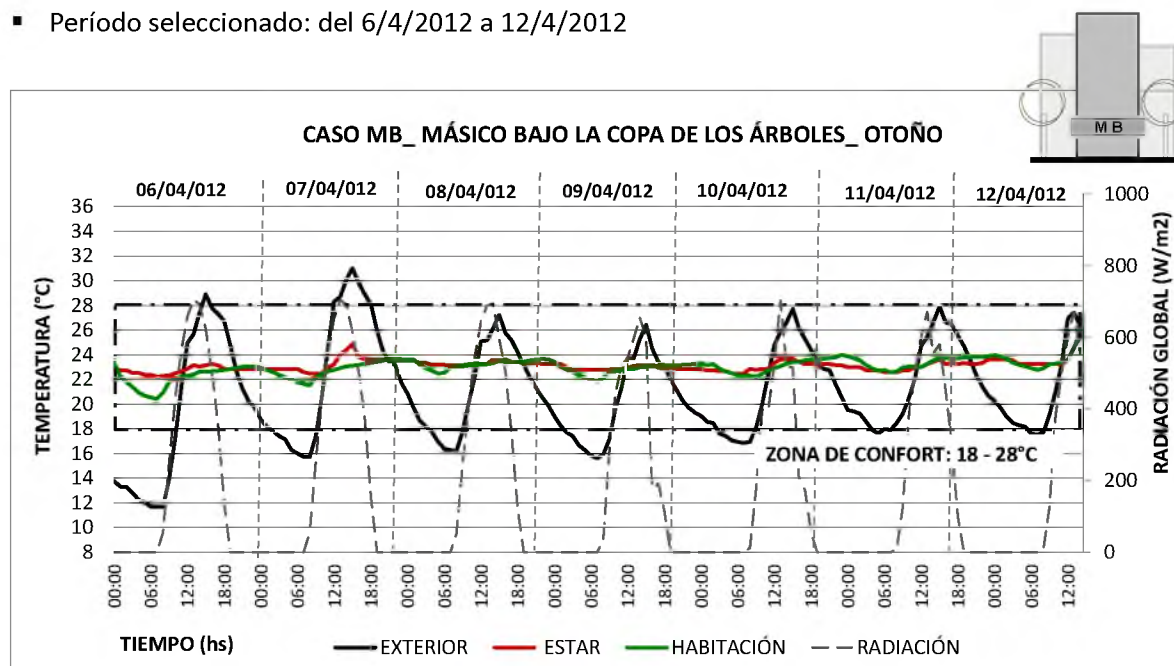


Figura IV.18. Temperatura exterior e interiores en otoño de la vivienda másika bajo la copa

Los días seleccionados en otoño corresponden a días con elevada radiación global (entre 650 y 700 W/m<sup>2</sup>) y la temperatura exterior se mantiene estable, con valores de 12°C a 31°C.

Las temperaturas interiores se encuentran dentro del rango de confort y los valores presentan poca variación diaria. En el estar las temperaturas absolutas van de los 22°C a los 25°C, mientras que en la habitación la mínima es de 20,50°C y la máxima de 24°C. En ambos casos el  $\Delta T$  diario no supera los 2°C, por lo cual se difiere el poco intercambio con el exterior.

## INVIERNO

- Mediciones completas: del 13/7/2012 a 21/8/2012
- Período seleccionado: del 22/7/2012 a 28/7/2012

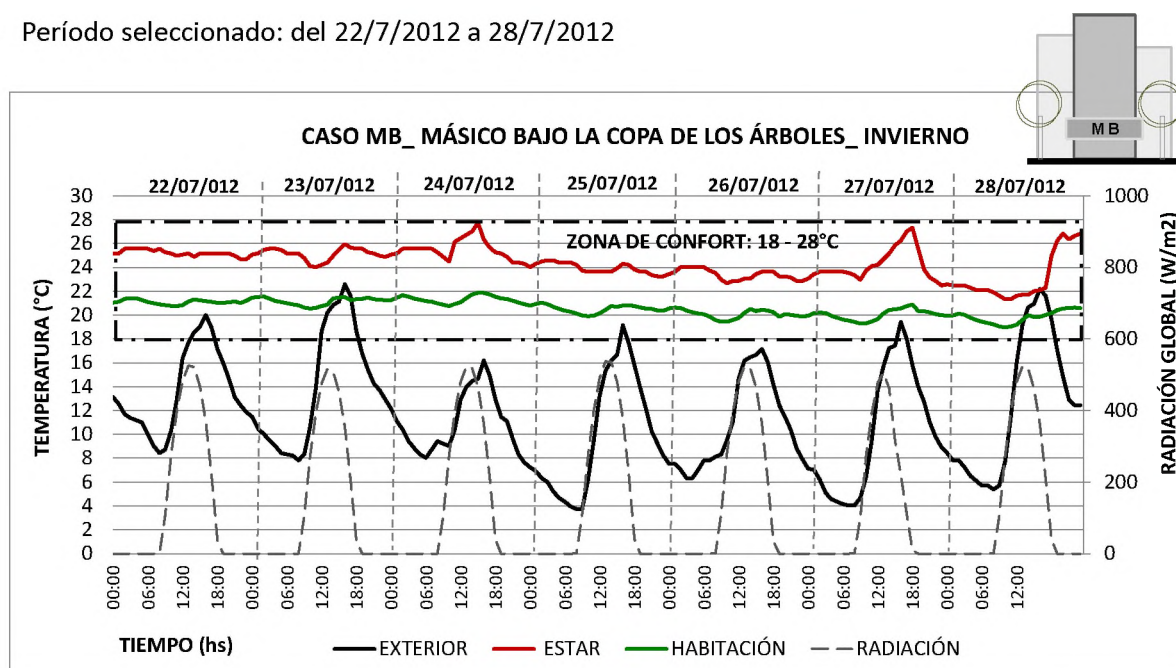


Figura IV.19. Temperatura exterior e interiores en invierno de la vivienda másica bajo la copa

En invierno la temperatura exterior se encuentra entre 4°C y 23°C y la radiación global diaria (de 500 W/m<sup>2</sup>) indica que las mediciones se realizaron en días soleados.

En cuanto a las temperaturas interiores, en el estar se encuentran entre 21,30°C y 27,70°C, ( $\Delta T$  promedio diario de 2,5°C); lo cual si bien están dentro del rango de confort de 18°C a 28°C, las temperaturas sobrepasan el rango adaptado a la situación de los habitantes (de 18°C a 25°C) sugerido para invierno por Givoni (1991).

La habitación presenta temperaturas menores al estar (del orden de los 3°C), que se encuentran entre los 19°C y los 22°C, con un  $\Delta T$  diario de 0,80°C.

En ambos ambientes se observan oscilaciones interiores durante el día dados por el ascenso y descenso de medios mecánicos de calentamiento. Asimismo, las temperaturas máximas interiores en el estar coinciden con las máximas exteriores, entre las 14 y las 16 horas.

## PRIMAVERA

- Mediciones completas: del 18/10/2012 a 19/11/2012
- Período seleccionado: del 26/10/2012 a 1/11/2012

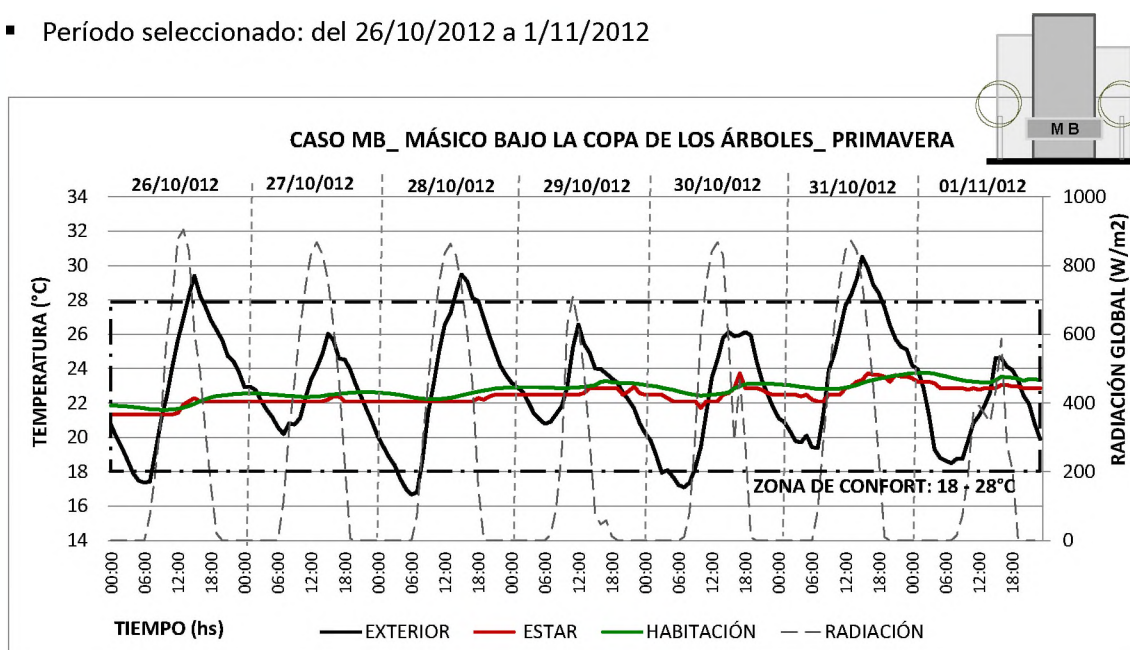


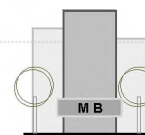
Figura IV.20. Temperatura exterior e interiores en primavera de la vivienda másica bajo la copa

La temperatura exterior de los días en estudio en primavera se encuentra entre los 30,3°C y los 16°C, y las diferencias térmicas diarias ( $\Delta T$ ) se encuentran en el orden de los 9,50°C. Los días seleccionados son claros, con valores de radiación global del orden de los 900 W/m<sup>2</sup>, con excepción de los días 29/10 y 1/11 en donde la radiación es de 600 y 700 W/m<sup>2</sup> respectivamente.

Respecto a las temperaturas interiores se mantienen estables dentro del rango de confort. Se observa que en los días donde la radiación solar es menor las temperaturas exteriores disminuye, no así las interiores, lo cual indica el carácter conservativo de la vivienda y el escaso intercambio con el exterior dado en el uso.

En el estar las temperaturas se encuentran entre los 23,70°C y los 21,30°C, con un  $\Delta T$  diario promedio de 0,80°C, mientras que en la habitación las temperaturas son más estables aún, con una máxima de 23,90°C y mínima de 21,70°C, y  $\Delta T$  diario promedio de 0,64°C.

## IV.3.2.1.2. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS



- *Electricidad*

El consumo de electricidad se mantiene en una media de 280kWh bimestrales. El bimestre de mayor consumo es el primero correspondiente a los meses de diciembre y enero con un valor de 345 kWh, y el de menor valor es el de los meses de invierno (junio y julio) con 223 kWh. El incremento del 35% en los meses de verano se debe al uso de medios mecánicos de enfriamiento. La vivienda cuenta en el estar con un equipo de aire acondicionado (2.200 frigorías con un consumo por hora de 0,99kWh).

- Consumo anual: 1718 kWh
- Consumo anual por m<sup>2</sup>: 14 kWh/m<sup>2</sup>

- *Gas natural*

Existe un considerable aumento en el período frío del año – de abril a setiembre- con un consumo medio bimestral de 4222 kWh, siendo junio y julio los meses que registran el mayor consumo de 5860 kWh. En cambio, en los meses de mayores temperaturas –de octubre a marzo- el consumo de gas natural se mantiene en una media de 490 kWh bimestrales. El incremento de consumo en los períodos más fríos resulta de hasta un 94%. Esto se debe al uso de medios de calefacción, junto al incremento en el uso de agua caliente: en la vivienda existen dos estufas a gas tiro balanceado: una en el estar (de 3.000kcal/h con un consumo por hora de 14,63kWh) y otra en el hall de ingreso a las habitaciones (4.500 kcal/h con un consumo de 21,94 kWh).

- Consumo anual: 14137 kWh
- Consumo anual por m<sup>2</sup>: 115 kWh/m<sup>2</sup>

La *Figura IV.21* muestra los consumos bimestrales para electricidad y gas en kWh.

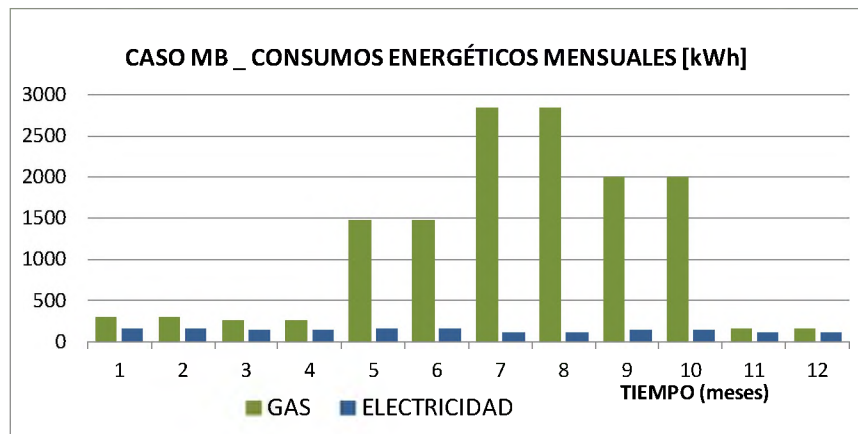


Figura IV.21. Consumos mensuales de la vivienda másica bajo la copa de los árboles

#### IV.3.2.1.3. VALORACIÓN DE USO, OCUPACIÓN DE LOS CASOS Y PERCEPCIÓN DE CONFORT

El usuario del caso másico bajo la copa de los árboles es una persona mayor de 70 años de género masculino, jubilada, quien reside desde hace más de 30 años en la vivienda. La ocupación es prácticamente permanente por parte del usuario y cuenta con ayuda doméstica 4 horas al día durante las mañanas.

Durante la entrevista realizada en invierno, si bien el habitante se siente en confort, clasifica al departamento como fresco (-1 en escala ASHRAE). El día entrevistado corresponde a un día promedio de invierno a las 13hs.; con heliofanía relativa del 57%, humedad relativa de entre el 30% y 34 %, temperatura exterior de 20°C. La temperatura del aire interior era de 21,50°C y la temperatura de globo negro de 23°C (ver Figura IV.19, día 22 de julio). Respecto al uso de medios mecánicos de climatización el habitante indica un uso permanente de las estufas al mínimo.

En cuanto al verano, el día analizado a las 15:30hs contaba con una radiación global exterior de 1070 W/m<sup>2</sup>, temperatura exterior de 32°C y 35% de humedad relativa. Si bien las condiciones del aire interior sobrepasan el rango de confort (temperatura de aire 31,7°C y temperatura de globo negro de 31,20°C) la percepción térmica por parte del usuario es satisfactoria: 0 (temperatura neutra o de confort) en escala ASHRAE. El usuario comenta que hace uso del aire acondicionado durante unos 40 minutos aproximados durante la siesta, alrededor de las 14 horas, durante casi todos los días del verano.

En la *Tabla IV.7* se presentan los datos de temperatura de aire, los parámetros ambientales y la sensación de confort obtenidos durante las entrevistas.

| DEPTO | ESTACIÓN | DÍA        | HS.   | TEMP. EXTERIOR | TEMP. AIRE | TEMP. GLOBO NEGRO | RH INTERIOR | RADIACIÓN GLOBAL      | INFILTR. AIRE | CONFORT |
|-------|----------|------------|-------|----------------|------------|-------------------|-------------|-----------------------|---------------|---------|
| MB    | INVIERNO | 02/07/013  | 13:05 | 20             | 21,51      | 23,04             | 33 a 34%    | 470 W/m <sup>2</sup>  | 0.05m/s       | -1      |
|       |          |            | 13:10 |                | 22,27      | 23,88             |             |                       |               |         |
|       |          |            | 13:15 |                | 22,66      | 23,80             |             |                       |               |         |
|       |          |            | 13:20 |                | 23,28      | 24,14             |             |                       |               |         |
|       | VERANO   | 27/12/2013 | 15:30 | 32°C           | 31,71      | 31,27             | 35%         | 1070 W/m <sup>2</sup> | 0.05m/s       | 0       |
|       |          |            | 15:35 |                | 31,71      | 31,19             |             |                       |               |         |
|       |          |            | 15:40 |                | 31,71      | 31,19             |             |                       |               |         |
|       |          |            | 15:45 |                | 31,71      | 31,19             |             |                       |               |         |

Tabla IV.7. Parámetros térmicos, ambientales y de confort del caso másico bajo la copa de los árboles

#### IV.3.2.2. VIVIENDA SOBRE LA COPA DE LOS ÁRBOLES\_ MS

##### IV.3.2.2.1. COMPORTAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR E INTERIOR

###### VERANO

- Mediciones completas: del 14/12/2011 a 23/01/2012
- Período seleccionado: del 16/12/2011 a 22/12/2011

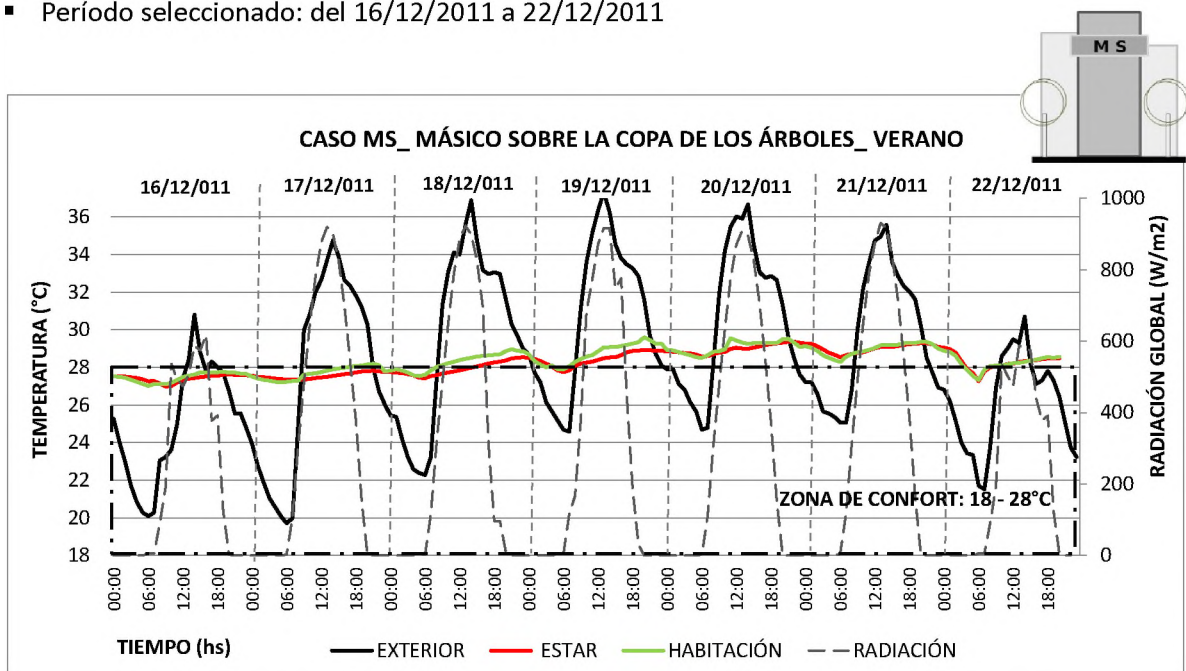


Figura IV.22. Temperatura exterior e interiores en verano de la vivienda másica sobre la copa

El período de días analizados en verano muestra temperaturas exteriores absolutas de 19,70°C a 37,30°C, con amplitudes térmicas del orden de 14°C para los días claros, y de 10°C para los días nublados.

Respecto a las temperaturas interiores se advierte que en ambos espacios —estar y habitación— se encuentran fuera del rango de confort, con excepción del 16 Y 17 de diciembre, en el cual la temperatura interior se encuentra en el límite máximo de 28°C.

Las temperaturas resultan constantes y muy semejantes en los dos espacios analizados, observando en los días 18/12 y 19/12 que en la habitación la curva se eleva por encima de la del estar 0,30°C en las horas de ascenso de la temperatura. La máxima absoluta en el estar es de 29,20°C y en la habitación de 29,50°C y la mínima absoluta está en el orden de los 27°C en ambos casos. El  $\Delta T$  diario promedio es de 1,30°C.

## OTOÑO

- Mediciones completas: del 29/3/2012 a 12/4/2012
- Período seleccionado: del 6/4/2012 a 12/4/2012

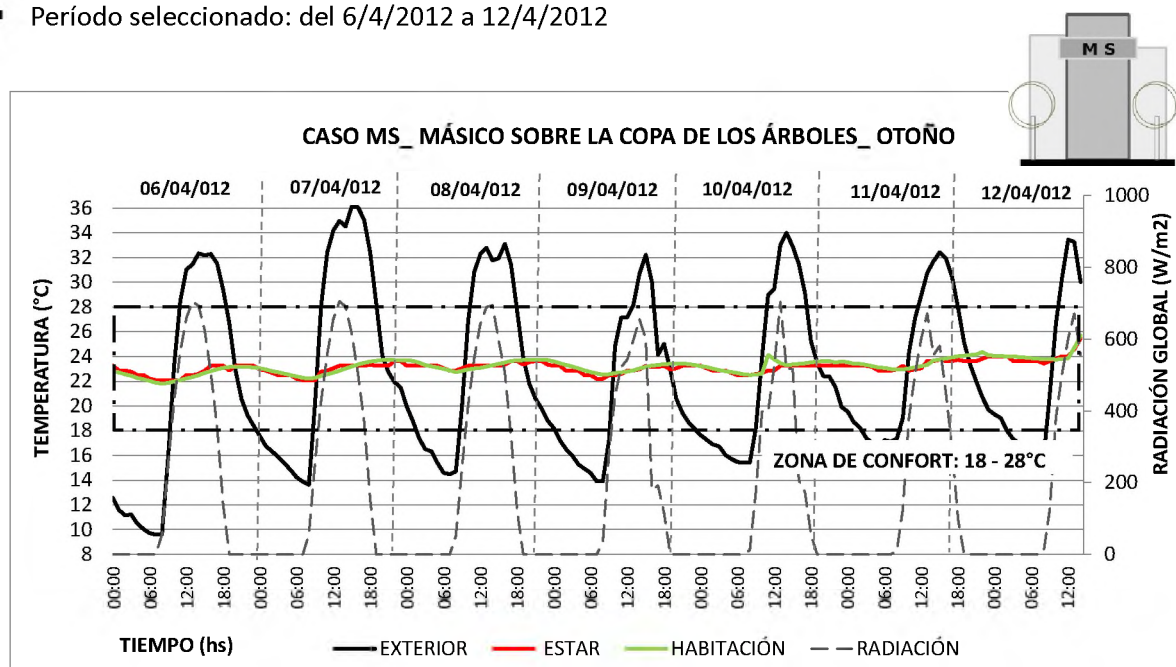


Figura IV.23. Temperatura exterior e interiores en otoño de la vivienda másica sobre la copa

La temperatura exterior en otoño en el caso sobre la copa de los árboles alcanza los 36°C como máxima y los 10°C como mínima.

Respecto al interior las temperaturas se encuentran dentro del rango de confort y se observan curvas semejantes en los dos ambientes: las máximas se encuentran en el orden de los 24,50°C, y las mínimas en los 22°C. Las diferencias térmicas diarias resultan en promedio diario de 1,70°C.

## INVIERNO

- Mediciones completas: del 13/7/2012 a 21/8/2012
- Período seleccionado: del 22/7/2012 a 28/7/2012

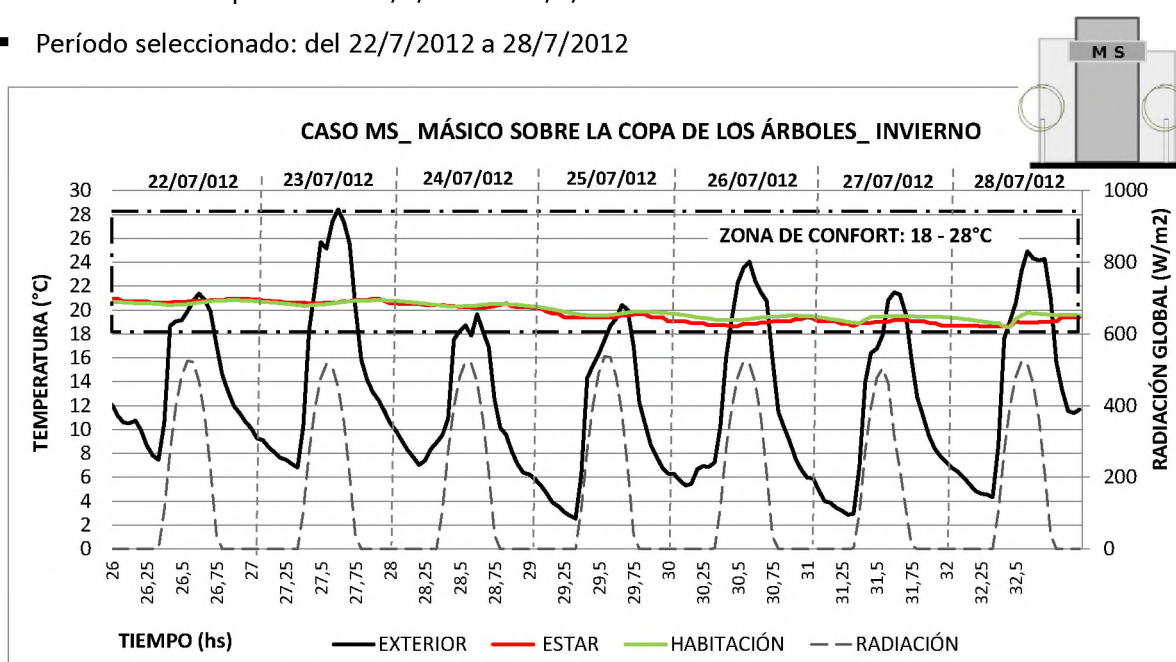


Figura IV.24. Temperatura exterior e interiores en invierno de la vivienda másica sobre la copa

En invierno se observan altas amplitudes térmicas exteriores ( $\Delta T$  máximo de 21°C y  $\Delta T$  promedio de 12°C), con temperaturas absolutas máximas de 28°C y mínimas de 2,50°C y en términos absolutos.

En cuanto a las temperaturas interiores se observan las siguientes situaciones: las mismas se mantienen muy estables, y dentro del rango de confort, oscilando entre mínimas absolutas de 18,70°C, dadas durante la madrugada, y 21°C de máximas absolutas, entre las 14 y 16 horas, con un  $\Delta T$  diario de 1°C. Asimismo, los resultados son semejantes en los dos espacios analizados con diferencias que no superan los 0,30°C.

## PRIMAVERA

- Mediciones completas: del 18/10/2012 a 19/11/2012
- Período seleccionado: del 26/10/2012 a 1/11/2012

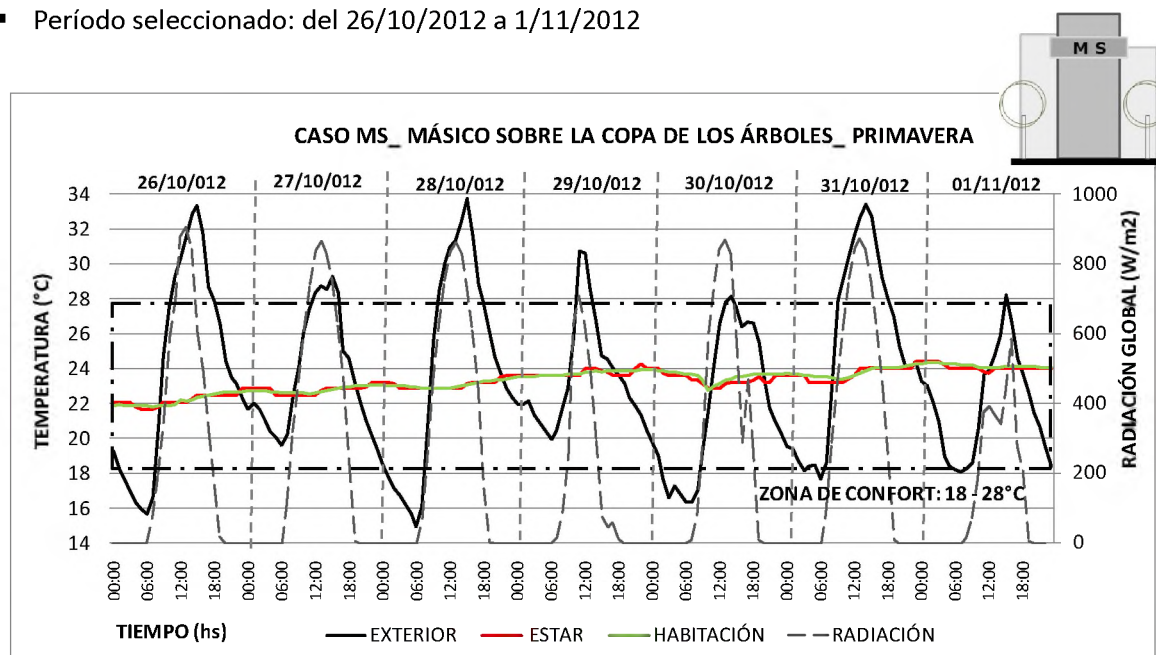


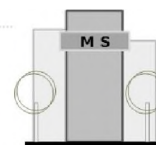
Figura IV.25. Temperatura exterior e interiores en primavera de la vivienda másica sobre la copa

Las temperaturas exteriores en primavera cuentan con máximas absolutas de 33,70°C y mínimas de 15°C, con diferencias térmicas diarias que van de los 19°C a los 10°C.

Respecto a las temperaturas interiores, se observa que las mismas se mantienen en el rango de confort.

Como en el resto de las estaciones en esta vivienda, las temperaturas son semejantes en los dos ambientes y con mínimas variaciones diarias. Los valores absolutos interiores resultan en las mínimas de 21,90°C y en las máximas de 24,20°C. El  $\Delta T$  diario no supera el grado centígrado (1°C).

## IV.3.2.2. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS



- *Electricidad*

El consumo de electricidad se mantiene con valores estables en una media de 250kWh bimestrales. El mayor consumo es en el primer bimestre (diciembre y enero) con un valor de 277kWh. La vivienda cuenta con un ventilador de techo (consumo de 0,10 kWh) en la habitación principal como único medio mecánico de enfriamiento.

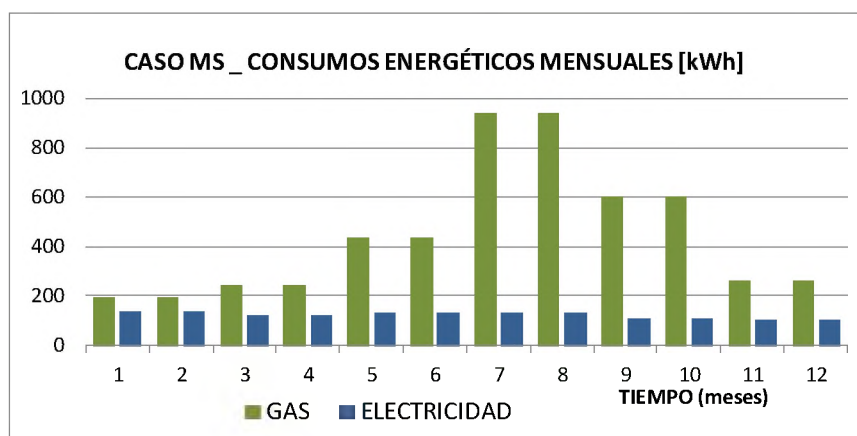
- Consumo anual: 1504kWh
- Consumo anual por m<sup>2</sup>: 12kWh/m<sup>2</sup>

- *Gas natural*

El período de los meses de otoño e invierno – de abril a setiembre- es el de mayor consumo, con una media de 1325kWh, siendo junio y julio los meses que registran el mayor consumo:1890 kWh. Esto es debido al mayor uso de medios de calefacción: el departamento cuenta con tres estufas a gas tiro balanceado –una de 4.000 kcal/h (consumo por hora de 14,63kWh) en el estar y dos de 2.500 kcal/h(consumo por hora de 12,19kWh) en los dormitorios. En cambio, en los meses de mayores temperaturas –de octubre a marzo- el consumo de gas natural se mantiene en una media de 471kWh bimestrales. El mayor incremento de consumo (comparando junio-julio con diciembre-enero) es del 79,50%

- Consumo anual: 5389kWh
- Consumo anual por m<sup>2</sup>: 44kWh/m<sup>2</sup>

La *Figura IV.26* muestra los consumos bimestrales para electricidad y gas en kWh.



*Figura IV.26.* Consumos mensuales de la vivienda másica sobre la copa de los árboles

#### IV.3.2.2.3. VALORACIÓN DE USO, OCUPACIÓN DE LOS CASOS Y PERCEPCIÓN DE CONFORT

En este caso reside una pareja de personas adultas mayores, aún en actividad laboral, ocupando la vivienda entre 14 y 16 horas diarias. Ambos usuarios califican al departamento como confortable, tanto en verano como en invierno, 0 en escala ASHRAE.

Respecto al invierno el día entrevistado la temperatura exterior es de 11,70°C, heliofanía del 30%, humedad relativa del 40%. La temperatura del aire era de 19,60°C y la temperatura de globo negro de 20,20°C (ver *Figura IV.24*, día 25 de julio a las 11hs). En esta estación los usuarios indican un uso controlado de estufas (las mantienen en piloto y las aumentan sólo cuando es necesario), lo cual coincide con el bajo consumo en invierno (7,43 kWh/m<sup>2</sup>)

En verano, el día de la entrevista la radiación global no superaba los 400 W/m<sup>2</sup> con una temperatura del aire de 25°C y temperatura de globo negro entre los 24,50°C y 25,24°C. Los usuarios reconocen la incidencia de la plaza como moderadora de temperaturas y como pulmón verde, e indican la apertura de ventanas durante la noche y la utilización de ventilación cruzada (ventanas Norte y Sur). Asimismo comentan que las persianas y las cortinas ayudan a controlar la temperatura interior.

En la *Tabla IV.8* se presentan los datos de temperatura de aire, los parámetros ambientales y la sensación de confort obtenidos durante las entrevistas.

| DEPTO | ESTACIÓN | DÍA        | TEMP. EXTERIOR | HS.   | TEMP. AIRE | TEMP. GLOBO NEGRO | RH INTERIOR | RADIACIÓN GLOBAL | INFILTR. AIRE | CONFORT |
|-------|----------|------------|----------------|-------|------------|-------------------|-------------|------------------|---------------|---------|
| MS    | INVIERNO | 04/07/013  | 11,7           | 13:25 | 19,22      | 20,32             | 40 a 43%    | 410 W/m2         | 0.05m/s       | 0       |
|       |          |            |                | 13:30 | 19,60      | 20,23             |             |                  |               |         |
|       |          |            |                | 13:35 | 19,79      | 20,32             |             |                  |               |         |
|       |          |            |                | 13:40 | 19,98      | 20,15             |             |                  |               |         |
|       | VERANO   | 24/01/2014 | 26°C           | 13:50 | 25,14      | 25,24             | 35%         | 430 W/m2         | 0.05m/s       | 0       |
|       |          |            |                | 13:55 | 25,16      | 25,24             |             |                  |               |         |
|       |          |            |                | 14:00 | 25,19      | 24,73             |             |                  |               |         |
|       |          |            |                | 14:05 | 25,09      | 24,56             |             |                  |               |         |

*Tabla IV.8.* Parámetros térmicos, ambientales y de confort del caso másico sobre la copa de los árboles

### IV.3.3. EDIFICIO DE IMAGEN LIVIANA

En la *Figura IV.27* se presenta la planta de las viviendas con la ubicación de los sensores en los espacios auditados: habitación 1 (sensor A), estar comedor (sensor B) y balcón exterior (sensor C).

Las imágenes muestran dichos espacios: *Figura IV.28* caso sobre la copa de los árboles; y *Figura IV.29* caso bajo la copa de los árboles.



*Figura IV.27.* Planta de la vivienda liviana



*Figura IV.28.* Espacios auditados de la vivienda liviana **sobre** la copa de los árboles \_ LS



*Figura IV.29.* Espacios auditados de la vivienda liviana **bajo** la copa de los árboles \_ LB

## IV.3.3.1. VIVIENDA BAJO LA COPA DE LOS ÁRBOLES\_ LB

## IV.3.3.1.1. COMPORTAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR E INTERIOR

## VERANO

- Mediciones completas: del 14/12/2011 a 23/01/2012
- Período seleccionado: del 16/12/2011 a 22/12/2011

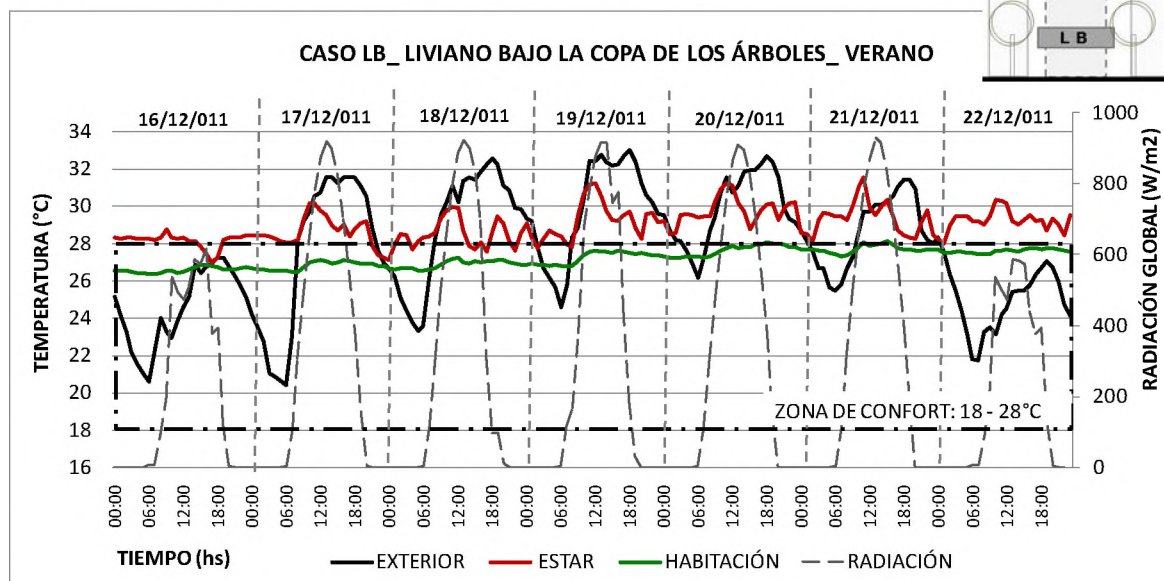


Figura IV.30. Temperatura exterior e interiores en verano de la vivienda liviana bajo la copa

En verano el período en estudio cuenta con temperaturas absolutas exteriores máximas y mínimas entre 20,40°C y 32,90°C, con un  $\Delta T$  de 9°C diarios promedio.

Las temperaturas interiores máximas y mínimas absolutas se encuentran: en el estar entre 27°C y 31,70°C ( $\Delta T$  diario promedio de 2,50°C), las cuales sobrepasan el rango de confort para verano de 20°C a 28°C sugerido por Givoni (1991) para países en vías de desarrollo<sup>4</sup>. Se observan oscilaciones interiores durante el día (descienden 2°C durante el mediodía y vuelven a ascender 1°C ó 2°C durante la tarde) debido al uso de medios mecánicos de enfriamiento.

<sup>4</sup> Givoni sugiere el rango de temperatura de confort entre 20°C y 25°C. Para países en vías de desarrollo, el autor sugiere la flexibilización de 2°C de las temperaturas límite debido a que el habitante se encuentra adaptado a su clima, es decir de 20°C a 27°C en verano.

En la habitación, en cambio, las temperaturas se mantienen estables en un rango de 26°C a 27°C, y con un ( $\Delta T$  diario promedio de 0,80°C) debido a que el espacio se conserva cerrado durante el día con cortinas *black-out* y no se ventila durante la noche.

En ambos ambientes se puede ver que las temperaturas no descienden durante la noche, siendo que las temperaturas exteriores resultan menores. Esto se debe a que las pérdidas de energía a través de la envolvente (techos, muros, ventanas, puertas, infiltraciones de aire y fundaciones) resultan mínimas debido a la orientación Nor-Este del departamento; y al Sur (orientación más fría en el Hemisferio Sur) no existe intercambio con el exterior.

## OTOÑO

- Mediciones completas: del 29/3/2012 a 12/4/2012
- Período seleccionado: del 6/4/2012 a 12/4/2012

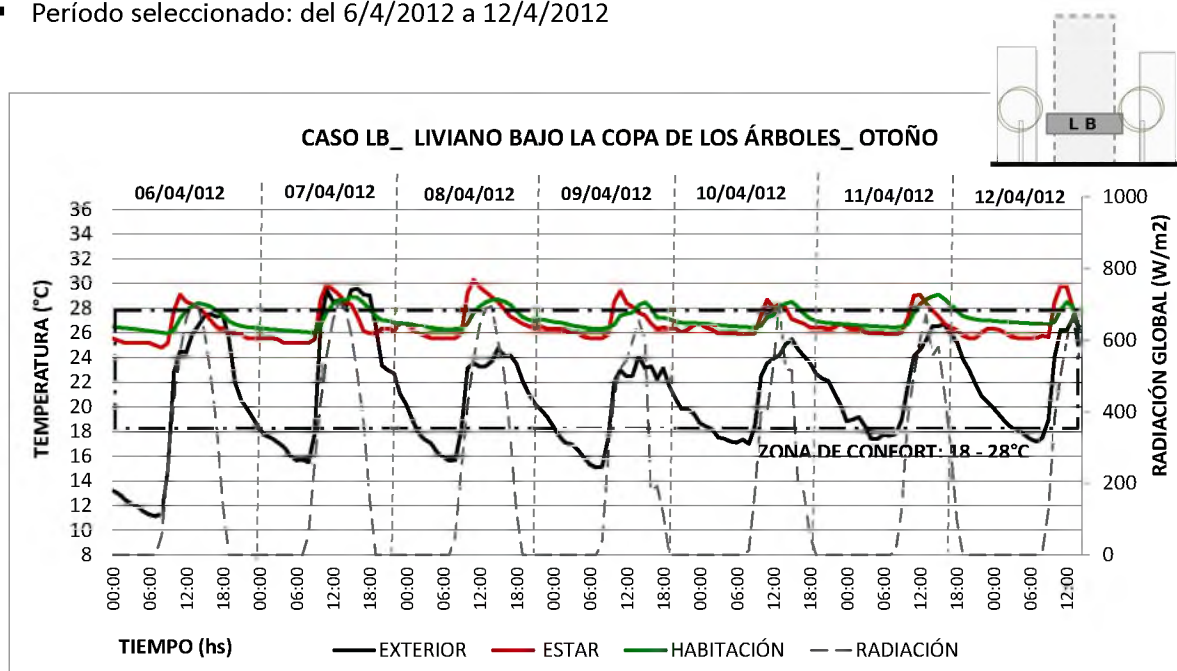


Figura IV.31. Temperatura exterior e interiores en otoño de la vivienda liviana bajo la copa

En otoño las temperaturas exteriores se encuentran entre 11°C y 28,80°C, con un  $\Delta T$  de 10,50°C diarios promedio.

En el interior las temperaturas sobrepasan el rango de confort para verano de 20°C a 27°C sugerido. En el estar se encuentran entre 24,80°C y 30,30°C ( $\Delta T$  diario promedio de 3,10°C), y en la habitación entre 26°C y 29°C ( $\Delta T$  diario promedio de 2°C).

Se observa el uso de medios mecánicos de enfriamiento en el estar: la temperatura interior alcanza su pico máximo a las 12hs y comienza a descender, mientras la exterior llega a su temperatura máxima a las 15hs. El uso de aire acondicionado en esta estación no resulta habitual en Mendoza: estudios de la situación termo-energética realizados en viviendas unifamiliares (Ganem, 2006) indican temperaturas interiores dentro del rango de confort sin el uso de medios mecánicos de enfriamiento. Esta situación evidencia el sobrecalentamiento interior generado por la envolvente del edificio.

## INVIERNO

- Mediciones completas: del 13/7/2012 a 21/8/2012
- Período seleccionado: del 22/7/2012 a 28/7/2012

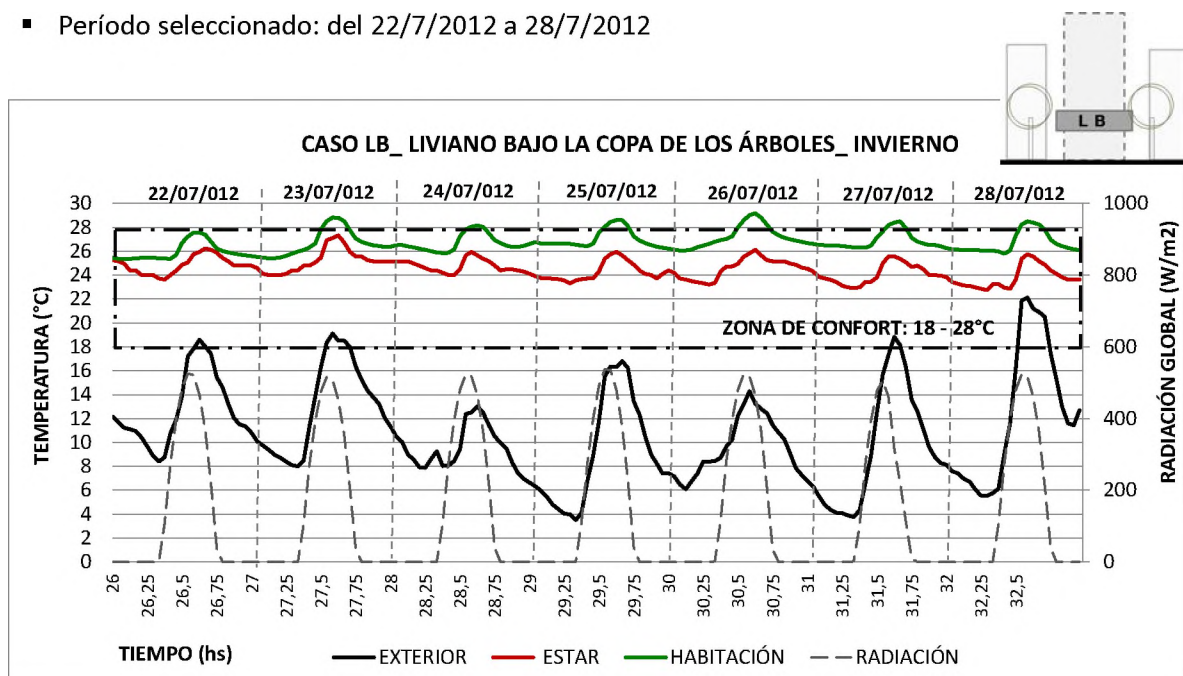


Figura IV.32. Temperatura exterior e interiores en invierno de la vivienda liviana bajo la copa

En cuanto al invierno, las temperaturas absolutas exteriores van de los 4°C a 22,10°C ( $\Delta T$  de 12°C promedio)

Las temperaturas interiores, aún en esta estación, sobrepasan el rango de confort adaptado a la situación de los habitantes de 18°C a 25°C sugerido para invierno por Givoni (1991). Las elevadas temperaturas interiores para la estación de invierno se deben a la alta incidencia de radiación que permite la envolvente transparente.

En el estar las temperaturas se encuentran entre los 22,80°C y 27,30°C. La habitación, al ser más conservativa y tener menor porcentaje de envolvente expuesta mantiene temperaturas entre 25,33°C y 29,18°C. Ambos ambientes mantienen un  $\Delta T$  promedio diario de 2°C.

## PRIMAVERA

- Mediciones completas: del 18/10/2012 a 19/11/2012
- Período seleccionado: del 26/10/2012 a 1/11/2012

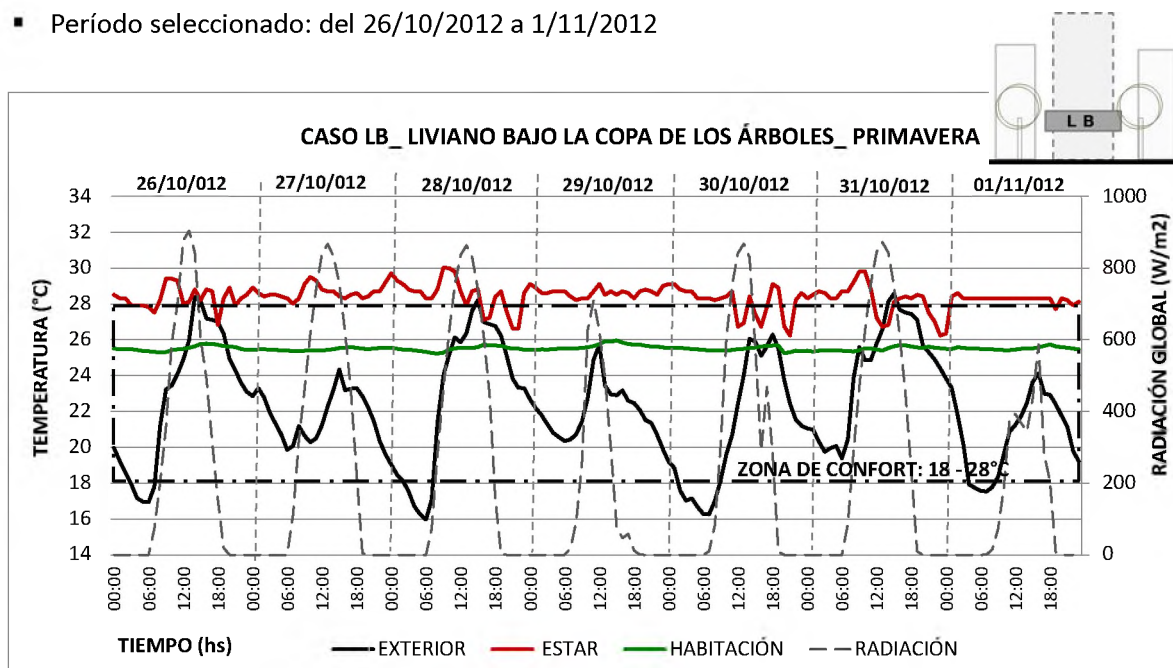


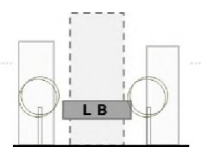
Figura IV.33. Temperatura exterior e interiores en primavera de la vivienda liviana bajo la copa

En primavera la temperatura exterior oscila entre 16°C y 28,80°C, con un  $\Delta T$  de 8,30°C diario promedio.

En cuanto al rango de confort de las temperaturas interiores, en el estar esas sobrepasan los 28°C, mientras que en la habitación se mantienen dentro de dicho rango.

Las temperaturas interiores absolutas se encuentran en el estar entre 26,20°C y 30°C ( $\Delta T$  diario promedio de 3,80°C), y los picos de las curvas que suben y bajan durante el día denotan el uso de medios mecánicos de enfriamiento. Por otro lado, en la habitación las temperaturas se mantienen estables, entre 25,22°C y 25,96°C, con un  $\Delta T$  diario promedio que no sobrepasa los 0,50°C, debido a los motivos de uso (cerrado y sin ventilación).

## IV.3.3.1.2. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS



- *Electricidad*

Existe un mayor consumo, que resulta constante, en los tres primeros bimestres (periodo de diciembre a mayo) en donde se mantiene en una media de 881kWh. El bimestre de menor consumo es el de los meses de invierno (junio y julio) con 291kWh. El incremento en los meses de verano, teniendo en cuenta los consumos extremos, es del 70% debido al uso de medios mecánicos de enfriamiento. La vivienda presenta tres equipos de aire acondicionado, uno en cada ambiente (estar y dos habitaciones). La capacidad de refrigeración de los equipos es de 3000Frig/h (consumo por hora de 1,32 kWh) para las habitaciones y 4500 Frig/h en el estar (consumo por hora de 1,98kWh). Existe un control central individual por departamento, en el cual se introduce una temperatura determinada y a partir de ahí se enciende el sistema requerido.

- Consumo anual: 3927kWh
- Consumo anual por m<sup>2</sup>: 40kWh/m<sup>2</sup>

- *Gas natural*

Existe un considerable aumento, de casi el 90%, en los meses de junio y julio respecto a diciembre y enero, con un consumo máximo de 2840 kWh y mínimo de 291 kWh. El departamento cuenta con calefacción por losa radiante, y el sistema de control es el equivalente al del aire acondicionado.

- Consumo anual: 6048 kWh
- Consumo anual por m<sup>2</sup>: 62kWh/m<sup>2</sup>

La *Figura IV.34* muestra los consumos bimestrales para electricidad y gas en kWh.

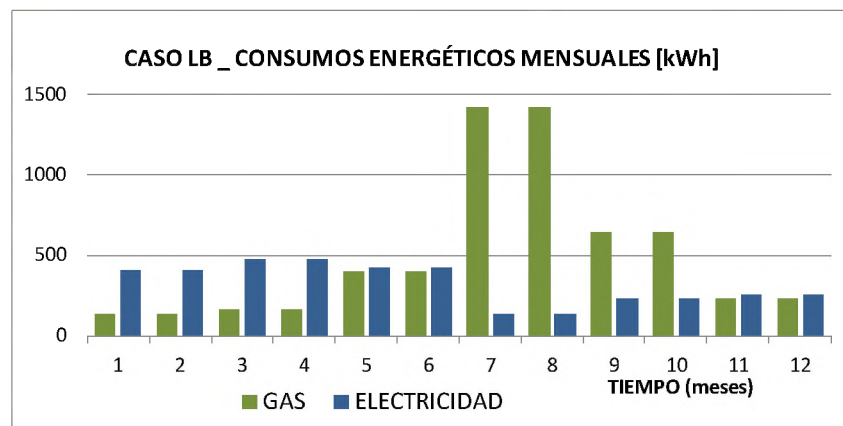


Figura IV.34. Consumos mensuales de la vivienda liviana bajo la copa de los árboles

#### IV.3.3.1.3. VALORACIÓN DE USO, OCUPACIÓN DE LOS CASOS Y PERCEPCIÓN DE CONFORT

En la vivienda bajo la copa de los árboles los usuarios son una pareja de personas de 40 años aproximados, viviendo desde hace 4 años en el departamento, ambos en actividad laboral, y ocupan la vivienda entre 16 y 20 horas diarias.

Durante la entrevista realizada en invierno a las 15 horas de un día con heliofanía relativa del 57 % y humedad del 39 %, con una temperatura exterior de 19°C, la temperatura del aire interior era de 23°C y la temperatura radiante de 24,10°C, sin la influencia de medios mecánicos de climatización (ver Figura IV.32, día 22 de julio). En cuanto a la percepción de confort en el invierno los usuarios encuentran a la vivienda muy confortable, clasificándola de “cálida” (0 en escala ASHRAE).

En verano, la entrevista se realizó a partir de las 13:10 horas, en un día con una radiación global de 1250 W/m<sup>2</sup> con temperatura exterior de 32°C y humedad del 35%. Temperatura del aire interior alrededor de los 31°C y temperatura radiante del orden de los 31,80°C, con la influencia del uso de aire acondicionado (alrededor de 30 minutos antes a la entrevista). Los usuarios clasifican al departamento en verano como muy cálido y “sofocante” (+3 según escala ASHRAE). En esta estación los habitantes indican que suelen configurar el funcionamiento de aire acondicionado cuando la temperatura ambiente es superior a 23°C, es decir que existe un uso casi permanente de los sistemas de enfriamiento. Asimismo, mantienen las cortinas cerradas durante todo el día y sin bien reconocen que éstas ayudan a mantener la temperatura interior, expresan

que no les resultan suficientes como sistemas de control térmico y que imposibilitan la disponibilidad del recurso lumínico.

En la *Tabla IV.9* se presentan los datos de temperatura de aire, los parámetros ambientales y la sensación de confort obtenidos durante las entrevistas.

| DEPTO | ESTACIÓN | DÍA        | TEMP. EXTERIOR | HS.   | TEMP. AIRE | TEMP. GLOBO NEGRO | RH INTERIOR | RADIACIÓN GLOBAL      | INFILTR. AIRE | CONFORT |
|-------|----------|------------|----------------|-------|------------|-------------------|-------------|-----------------------|---------------|---------|
| LB    | INVIERNO | 27/06/013  | 19             | 13:45 | 22,23      | 23,88             | 39 a 40%    | 500 W/m <sup>2</sup>  | 0.01m/s       | 0       |
|       |          |            |                | 13:50 | 22,92      | 24,31             |             |                       |               |         |
|       |          |            |                | 13:55 | 23,28      | 23,80             |             |                       |               |         |
|       |          |            |                | 14:00 | 23,83      | 24,48             |             |                       |               |         |
|       | VERANO   | 28/12/2013 | 32°C           | 13:10 | 31,03      | 31,84             | 35%         | 1250 W/m <sup>2</sup> | 0.01m/s       | + 3     |
|       |          |            |                | 13:15 | 31,01      | 31,75             |             |                       |               |         |
|       |          |            |                | 13:20 | 30,99      | 31,75             |             |                       |               |         |
|       |          |            |                | 13:25 | 31,02      | 31,75             |             |                       |               |         |

Tabla IV.9. Parámetros térmicos, ambientales y de confort del caso liviano bajo la copa de los árboles

### IV.3.3.2. VIVIENDA SOBRE LA COPA DE LOS ÁRBOLES\_LS

#### IV.3.3.2.1. COMPORTAMIENTO TÉRMICO EXTERIOR E INTERIOR

##### VERANO

- Mediciones completas: del 14/12/2011 a 23/01/2012
- Período seleccionado: del 16/12/2011 a 22/12/2011

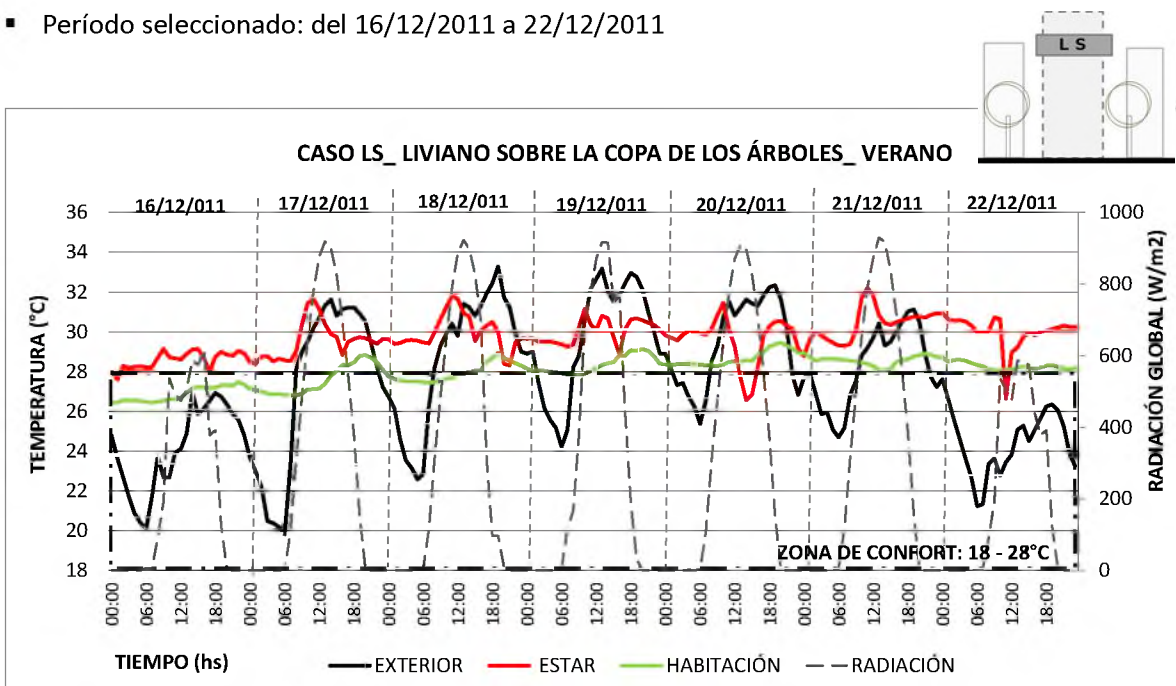


Figura IV.35. Temperatura exterior e interiores en verano de la vivienda liviana sobre la copa

En verano se observa en los días analizados temperaturas exteriores absolutas máximas y mínimas entre 20°C y 33,50°C, con un  $\Delta T$  de 10°C diarios promedio.

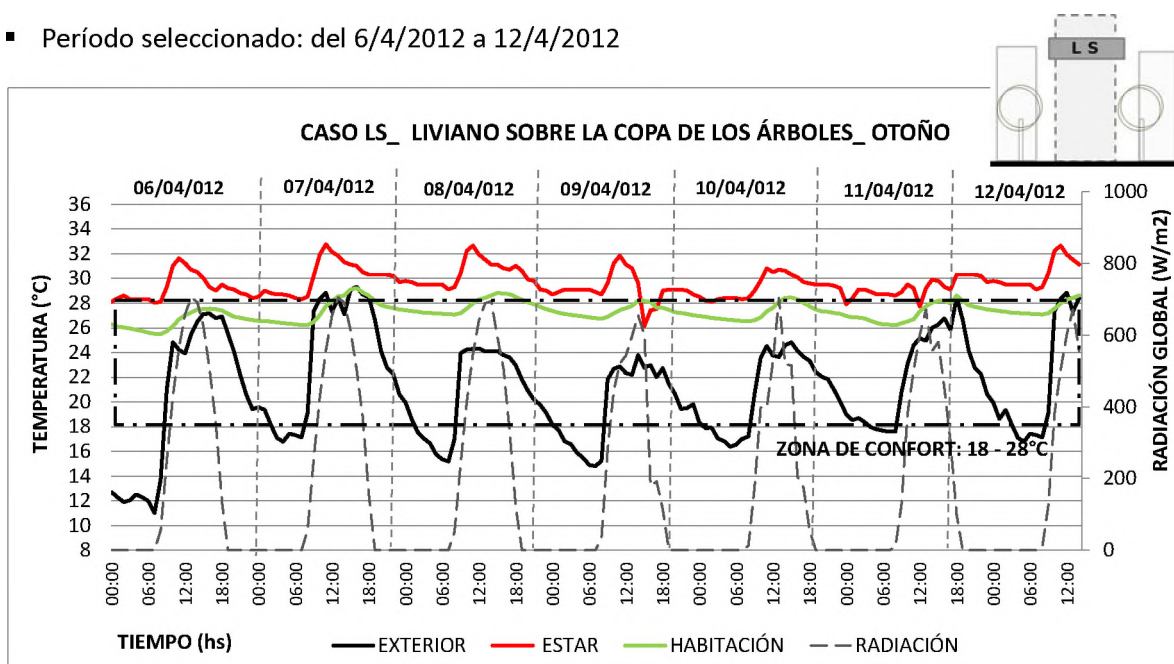
Respecto a las temperaturas interiores en el estar las mínimas absolutas son de 26,50°C y las máximas absolutas alcanzan los 32,20°C alrededor de las 12hs ( $\Delta T$  diario promedio de 3°C).

En la habitación van de los 26,43°C a los 29,44°C, con un ( $\Delta T$  diario promedio de 1,5°C).

Al igual que en el caso bajo la copa de los árboles, las temperaturas interiores oscilan debido al uso de aire acondicionado. Prueba de esto es la temperatura mínima interior de 26,50°, dada a las 14 horas (ver día 20 de Diciembre en *Figura V.35*). Las temperaturas exteriores oscilan entre 20,40°C durante la noche y alcanzan los 33°C como máxima entre las 15 y las 16hs.

## OTOÑO

- Mediciones completas: del 29/3/2012 a 12/4/2012
- Período seleccionado: del 6/4/2012 a 12/4/2012



*Figura IV.36.* Temperatura exterior e interiores en otoño de la vivienda liviana sobre la copa

En otoño las temperaturas absolutas exteriores se encuentran entre 11°C y 28,90°C, con un  $\Delta T$  de 10,50°C diario promedio.

Las temperaturas interiores absolutas se encuentran en el estar entre 26,14°C y 32,76°C ( $\Delta T$  diario promedio de 3°C) y en la habitación entre 25,50°C y 29,2°C ( $\Delta T$  diario promedio de 2°C).

En ambos ambientes se sobrepasa el rango de confort sugerido para verano (de 20°C a 27°C). De igual manera, se observa el uso de aire acondicionado en el estar a partir del mediodía.

## INVIERNO

- Mediciones completas: del 13/7/2012 a 21/8/2012
- Período seleccionado: del 22/7/2012 a 28/7/2012

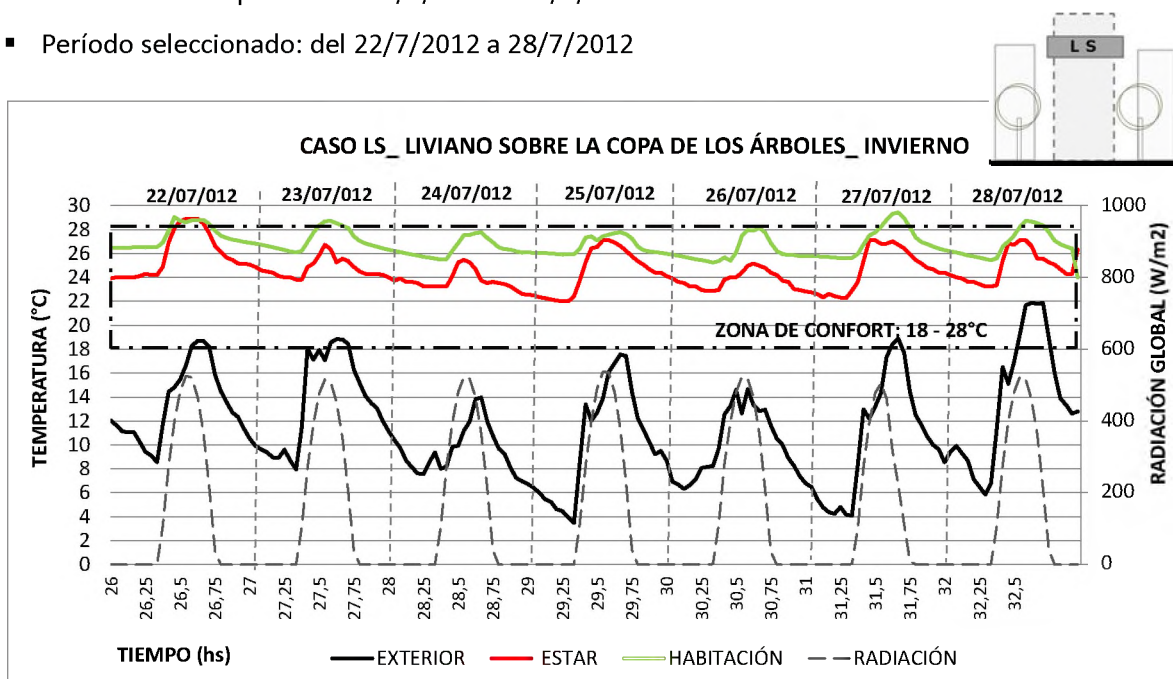


Figura IV.37. Temperatura exterior e interiores en invierno de la vivienda liviana sobre la copa

En invierno las temperaturas absolutas exteriores van de los 3,80°C a 22,10°C ( $\Delta T$  de 12°C promedio).

Las temperaturas interiores sobrepasan el máximo de 25°C sugerido para invierno, si bien se encuentran dentro del rango máximo de 28°C.

En el estar resultan de 22,90°C en las mínimas absolutas y las máximas absolutas alcanzan los 28,90° ( $\Delta T$  promedio diario de 2,50°C), mientras que en la habitación son mayores y van de los 24°C los 29,40°C, con un  $\Delta T$  promedio diario de 1,8°C.

## PRIMAVERA

- Mediciones completas: del 18/10/2012 a 19/11/2012
- Período seleccionado: del 26/10/2012 a 1/11/2012

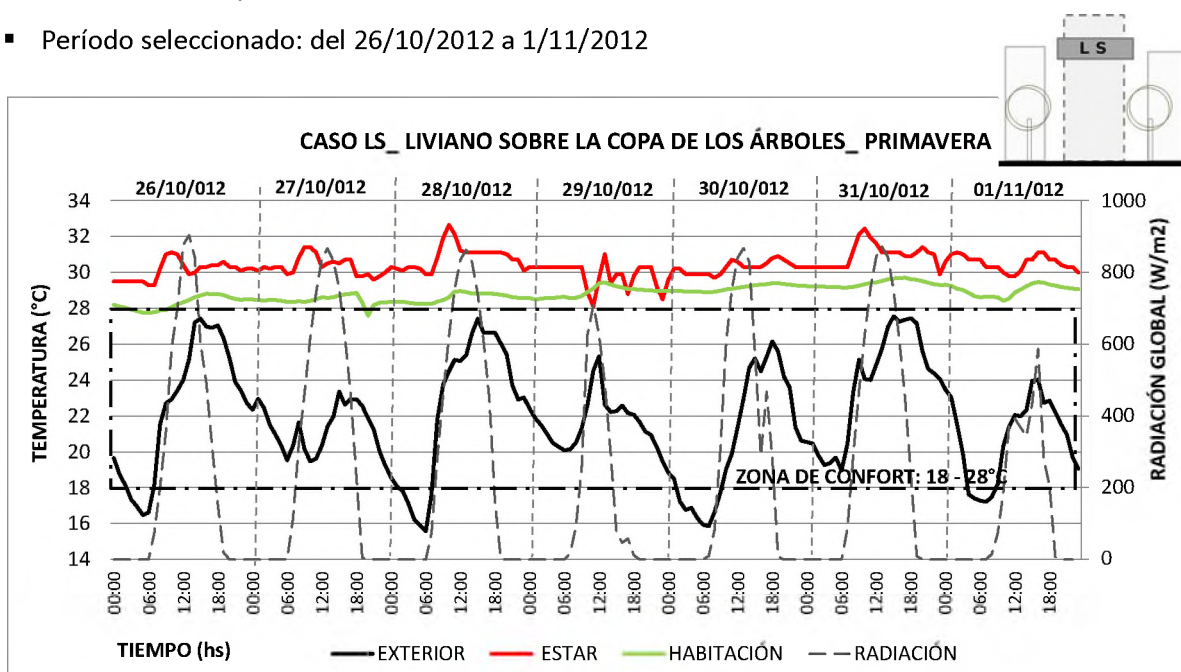


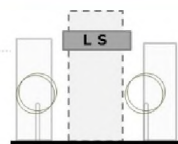
Figura IV.38. Temperatura exterior e interiores en primavera de la vivienda liviana sobre la copa

Por último, en primavera la temperatura exterior oscila entre 15,50°C y 27,50°C, con un  $\Delta T$  de 8°C diario promedio.

Las temperaturas interiores sobrepasan el rango de confort: en el estar las temperaturas absolutas se encuentran entre 28,11°C y 33,65°C ( $\Delta T$  diario promedio de 3,40°C), observando el uso de medios mecánicos de enfriamiento.

En la habitación, al igual que en el caso bajo la copa, el ambiente se mantiene cerrado durante el día y no se ventila durante la noche, por lo que las temperaturas se mantienen estables, entre 27,60°C y 29,70°C, con un  $\Delta T$  diario promedio de 1°C.

## IV.3.3.2.2. AUDITORÍAS ENERGÉTICAS



- *Electricidad*

El mayor consumo se da en los tres primeros bimestres (periodo de diciembre a mayo) en donde se mantiene en una media de 600kWh. El bimestre de menor consumo es el de los meses de invierno (junio y julio) con 20kWh, mientras que en los dos bimestres restantes es del orden de los 230 kWh. El incremento en los meses de verano se debe al uso de medios mecánicos de enfriamiento, equivalentes en cantidad y capacidad de refrigeración al caso anterior- bajo la copa.

- Consumo anual: 2283kWh
- Consumo anual por m<sup>2</sup>: 23kWh/m<sup>2</sup>

- *Gas natural*

El período de mayor consumo es el de los meses junio y julio, con un valor 3056 kWh. Luego en los dos bimestres de estación fría los consumos se mantienen en una media de 1000 kWh, y del periodo que va de octubre a marzo el consumo es el menor, con un promedio de 140 kWh. Al igual que el caso bajo la copa. La vivienda cuenta con calefacción por losa radiante, cuyo uso, junto con un mayor consumo de agua caliente, es la causa del aumento en el consumo de gas natural de un 95% en el invierno.

- Consumo anual: 5389 kWh
- Consumo anual por m<sup>2</sup>: 44 kWh/m<sup>2</sup>

La Figura IV.39 muestra los consumos bimestrales para electricidad y gas en kWh.

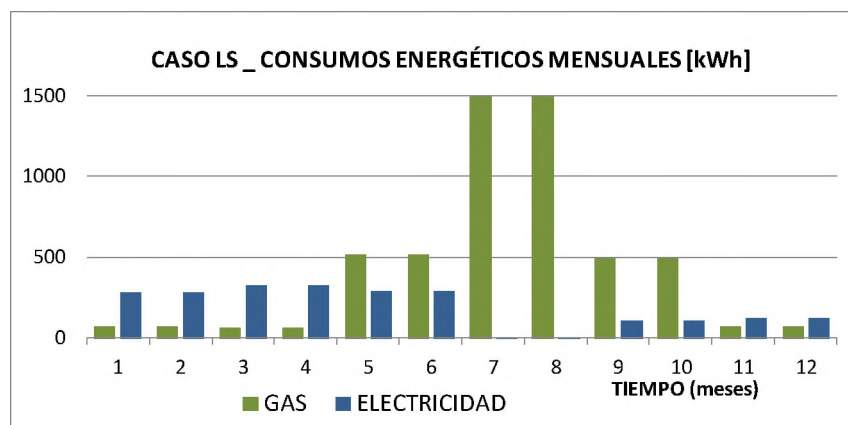


Figura IV.39. Consumos mensuales de la vivienda liviana sobre la copa de los árboles

#### IV.3.3.2.2. VALORACIÓN DE USO, OCUPACIÓN DE LOS CASOS Y PERCEPCIÓN DE CONFORT

En la vivienda liviana sobre la copa (LS) reside una persona de género femenino, quien trabaja en horario de comercio de lunes a sábado.

En invierno, la usuaria expresa confort (0 en escala ASHRAE) en un día nublado con una humedad relativa del 34%, temperatura exterior de 12°C, temperatura de aire interior de 22,70°C y temperatura de globo negro de 23,10°C. Y recalca que los días de alta heliofanía la posibilidad de tener acceso pleno a radiación permite una temperatura aún más confortable (ver *Figura IV.37*, día 25 de julio a las 12hs).

En cuanto al verano en un día con una radiación global de 1270 W/m<sup>2</sup> y una temperatura exterior de 34°C la temperatura del aire interior resultaba entre 32,50°C y 32,90°C y la temperatura radiante del orden de los 33,35°C y 33,70°C, con la influencia del uso de aire acondicionado. Respecto a la percepción de confort en verano el usuario califica al departamento como muy cálido (+3 según escala ASHRAE) y comenta que resulta imprescindible el uso de enfriamiento mecánico. En cuanto al control ambiental durante el día se bajan las cortinas (de seda engomada en el estar), y en la noche el usuario indica que ocasionalmente se abren todas las ventanas, recalcando que las corrientes de aire son muy fuertes. (Sin embargo, las temperaturas auditadas no demuestran descensos significativos en las horas de la noche).

Cabe aclarar el hecho de que esta persona vivió anteriormente en el mismo edificio en un departamento equivalente en orientación y superficie en el segundo nivel. Respecto a esto destaca que la vivienda anterior era más confortable en verano dado que notaba la influencia de la sombra de la copa de los árboles, pero de todas maneras el uso de aire acondicionado era muy necesario. En cuanto a la calefacción indica que el departamento del nivel inferior era más cálido en invierno, por lo cual se usaba menos aún el sistema de losa radiante. Manifiesta un alto grado de satisfacción respecto a la vista con la que cuenta actualmente, y en ese sentido prefiere el departamento del nivel superior.

En la *Tabla IV.10* se presentan los datos de temperatura de aire y los parámetros ambientales obtenidos durante las entrevistas.

| DEPTO | ESTACIÓN | DÍA        | TEMP. EXTERIOR | HS.   | TEMP. AIRE | TEMP. GLOBO NEGRO | RH INTERIOR | RADIACIÓN GLOBAL      | INFILTR. AIRE | CONFORT |
|-------|----------|------------|----------------|-------|------------|-------------------|-------------|-----------------------|---------------|---------|
| LS    | INVIERNO | 04/07/013  | 12             | 15:35 | 21,70      | 23,55             | 33 a 34%    | 400 W/m <sup>2</sup>  | 0.01m/s       | 0       |
|       |          |            |                | 15:40 | 22,66      | 21,93             |             |                       |               |         |
|       |          |            |                | 15:45 | 23,04      | 23,29             |             |                       |               |         |
|       |          |            |                | 15:50 | 23,42      | 23,55             |             |                       |               |         |
|       | VERANO   | 29/12/2013 | 34°C           | 13:05 | 32,54      | 33,35             | 30%         | 1250 W/m <sup>2</sup> | 0.01m/s       | + 3     |
|       |          |            |                | 13:10 | 32,77      | 33,51             |             |                       |               |         |
|       |          |            |                | 13:15 | 32,92      | 33,68             |             |                       |               |         |
|       |          |            |                | 13:20 | 32,95      | 33,68             |             |                       |               |         |

*Tabla IV.10.* Parámetros térmicos, ambientales y de confort del caso liviano sobre la copa de los árboles

#### IV.3.4. DIAGNÓSTICO COMPARATIVO DE CASOS EN ESTUDIO EN RELACIÓN A LA INFLUENCIA DEL USUARIO

##### IV.3.4.1. ALTURA

*a- Caso másico: MB – MS*



**Verano:** las viviendas bajo y sobre la copa de los árboles presentan temperaturas similares, con diferencias que varían entre 0,10°C y 0,80°C. Si bien en el caso bajo la copa las temperaturas interiores son moderadas por la sobre arrojada por la copa de los árboles, la similitud en los dos casos se debe al uso de las viviendas: el caso MS al tener un uso discontinuo, mantiene cerradas cortinas y persianas durante el día, lo cual controla la incidencia de radiación, mientras que en el caso MB la vivienda permanece abierta (persianas y cortinas) gran parte del día. Respecto a las temperaturas mínimas, el caso bajo la copa cuenta con temperaturas hasta 4°C más bajas respecto al caso sobre la copa. Esto se debe al mayor uso de aire acondicionado en el caso inferior, situación que se refleja en los consumos energéticos: la vivienda MB consume un 50% más que la MS.

**Estaciones intermedias:** en otoño el comportamiento de las dos viviendas es muy similar, con diferencias menores a los 0,35°C. En primavera las temperaturas son superiores en el caso sobre la copa (MS) con diferencias de hasta 1°C. En este caso, en donde la influencia de medios mecánicos de climatización es mínima, se infiere que las diferencias se deben a la moderación micro-climática de la arboleda urbana que incide en las temperaturas del caso bajo la copa.

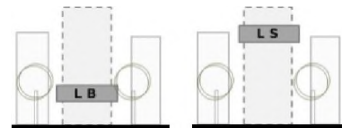
**Invierno:** las temperaturas del caso inferior (MB) son mayores a las del caso superior (MS) hasta 6,70°C en el caso de la máxima absoluta. El motivo de tales diferencias es el mayor uso de calefacción en la vivienda bajo el estrato, lo cual se observa en los consumos energéticos: el caso superior consume un 30% de lo que consume el caso inferior.

Respecto al rango de confort en las cuatros estaciones, en los dos departamentos las temperaturas lo exceden en el verano, mientras que en otoño, invierno y primavera se encuentran dentro de los 18°C a 28°C.

Se observa que la principal causa de las diferencias térmicas y energéticas reside en el comportamiento del usuario. El habitante del departamento bajo el estrato -de un mayor rango etario- permanece más tiempo en el mismo y requiere de mayores gastos energéticos para sentirse en confort. Esta situación se da sobre todo en invierno, dado que clasifica al departamento como fresco (-1 en escala ASHRAE) mientras en la vivienda superior se sienten en confort.

Por este motivo en el próximo capítulo (*Capítulo V*) se evalúan mediante simulación las diferencias en altura aislando las incidencias de los usuarios, con el fin de obtener un diagnóstico de la diferenciación micro-climática en altura que genera la arboleda urbana.

b- Caso liviano: LB – LS



**Verano:** ambas viviendas cuentan con un  $\Delta T$  exterior – interior similar y mínimas diferencias en los requerimientos energéticos para climatización: el caso inferior (LB) consume un 8% más que el caso superior (LS). Se observa que la tipología del edificio de *Torre retirada*, no aprovecha en los primeros niveles la protección a la radiación de la arboleda urbana, por lo que la situación en los niveles bajos y superiores resulta similar. En cuanto a la percepción de confort ambos usuarios consideran a la vivienda muy calurosa y se sienten en discomfort.

Por otra parte, se advierte la carencia de uso de medidas bioclimáticas por parte de los usuarios, como es el caso de la ventilación nocturna. Esto puede deberse, entre otros aspectos, a la habituación que produce la necesidad de utilizar medios mecánicos de enfriamiento durante el día, lo cual hace que la no apertura de ventanas se tome como modalidad de uso.

**Estaciones intermedias:** tanto en otoño como en primavera las temperaturas resultan superiores en el caso sobre la copa (LS) en el orden de los 3°C. Esta diferencia se debe a un mayor uso de sistemas de enfriamiento en el caso inferior, el mismo consume un 57% más que el caso superior.

**Invierno:** tanto las temperaturas máximas absolutas como las temperaturas diurnas son mayores en el caso superior (LS) -con diferencias de hasta 1,60°C-, mientras que las mínimas absolutas y medias nocturnas son mayores en el caso inferior (LB) -con diferencias de hasta 1,30°C. Relacionando esto con los consumos energéticos, se observa que el caso sobre la copa (LS) consume un 12 % más que el caso bajo la copa (LB) y tal incremento en el consumo del caso superior se refleja en las temperaturas diurnas y no así en las nocturnas. En cuanto a la percepción de confort, ambos usuarios consideran a la vivienda confortable en invierno, situación que se corresponde con las mediciones registradas.

En cuanto al rango de confort, se observa que ambos departamentos sobrepasan la temperatura máxima de confort de 28°C sugerida por Givoni en todas las estaciones, inclusive en máximas puntuales en invierno. En verano las máximas interiores alcanzan los 32°C, incluso si se evidencia un uso intensivo del aire acondicionado.

#### IV.3.4.2. MATERIALIDAD

c- *Bajo la copa de los árboles: MB – LB*



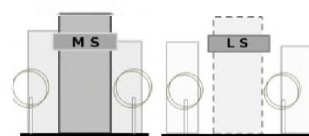
**Verano:** La comparación en tecnología de envolvente en las viviendas ubicadas bajo la copa de los árboles advierte que las temperaturas del caso liviano (LB) resultan superiores en el estar, con diferencias de 1,40°C en las máximas y de hasta 4°C en la mínima absoluta. En las habitaciones, en cambio, las temperaturas son superiores en el caso másico (MB), en el orden de 1°C. Esto se debe a una combinación de situaciones: por un lado, en el caso liviano los habitantes consideran al departamento muy cálido, por lo que los consumos energéticos para enfriamiento resultan un 90% mayor que en el caso másico, en donde el usuario lo encuentran confortable. Y por otro lado se observa que las condiciones físicas y de exposición de la envolvente liviana no resultan suficientes para igualar las temperaturas del caso másico en el estar, mientras que en la habitación el uso de aire acondicionado implica temperaturas menores en la vivienda liviana.

**Estaciones intermedias:** el caso liviano presenta en todos los casos temperaturas mayores que el caso másico. Las diferencias alcanzan en primavera los 6,30°C en las máximas absolutas, y esto teniendo en cuenta que los usuarios de la vivienda liviana indican el uso de medios mecánicos de enfriamiento en esta estación.

**Invierno:** las temperaturas son superiores en el caso liviano, llegando en la habitación a diferencias de 7,30°C en las mínimas absolutas. Sin embargo, ambos casos sobrepasan el rango de confort de 25°C sugerido por Givoni atendiendo a expectativas de confort. Asimismo, los consumos energéticos para calefacción son superiores en el caso másico, en un 25 %.

Esta situación se explica debido a dos razones: por un lado, en el caso liviano las temperaturas son elevadas durante el día debido a la mayor ganancia directa que ingresa por envoltente vidriada, sumado al uso de calefacción por losa radiante. Y por otro lado, debido a la influencia del usuario: el habitante del caso MB pertenece a otro rango etario y sus expectativas de confort, así como el tiempo de permanencia y uso de su vivienda, difieren del resto de los usuarios. Si bien las entrevistas se realizaron el mismo día, (temperatura exterior de 20°C y heliofanía relativa del orden del 50%), el usuario del caso másico considera que el departamento es fresco en invierno, mientras que en el liviano lo encuentran confortable. Esto genera el mayor consumo en el caso másico, que si bien cuenta con una envoltente con mayor cantidad de inercia térmica y menores superficies transparentes, el uso de calefacción implica que alcance las temperaturas del departamento liviano.

d- Sobre la copa de los árboles: MS – LS

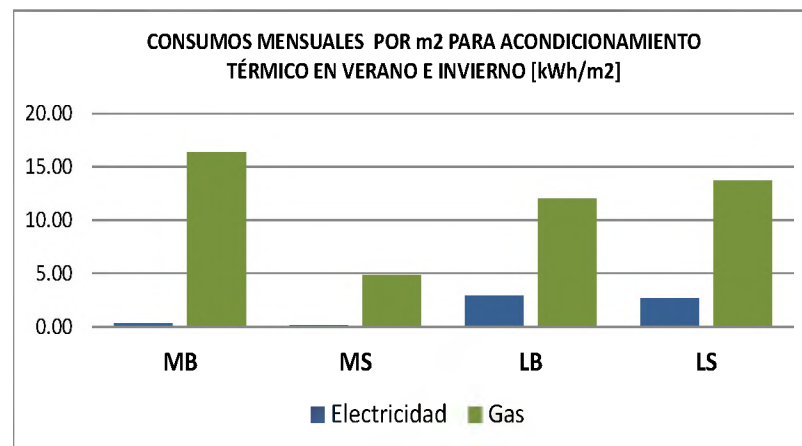


**Verano:** el caso liviano (LS) presenta temperaturas mayores respecto al caso másico (MS) en el estar del orden de 2,80°C en las máximas absolutas y de 1,80°C en la media diurna. Respecto a la percepción térmica el usuario del caso liviano no se encuentra en confort, considerando a la vivienda muy cálida (+3 en escala ASHRAE), mientras que en el caso másico la consideran en situación de confort (0). Asimismo, el departamento liviano consume un 95% de lo que consume el másico.

**Estaciones intermedias:** el caso liviano cuenta con temperaturas superiores en todos los casos, con máximas diferencias de hasta 8°C.

**Invierno:** las diferencias también demuestran temperaturas superiores en el caso liviano del orden de los 8°C en las máximas absolutas de ambos ambientes. Asimismo, el consumo energético resulta un 65 % superior en el departamento liviano. Respecto a la percepción térmica, la respuesta de los usuarios refuerzan lo observado: en verano el usuario del caso liviano no se encuentra en confort: considera a la vivienda muy cálida, mientras que en el caso másico la consideran en situación de confort. En el caso del invierno, las entrevistas se realizaron en ambos casos un día nublado con una temperatura exterior de 12°C, y tanto los usuarios del caso másico como los del liviano expresaron sensación de confort.

En la *Figura IV.40* se presentan los consumos energéticos mensuales por m<sup>2</sup> para cada unidad de vivienda para acondicionamiento térmico en verano (electricidad) y en invierno (gas natural).



*Figura IV.40. Consumos mensuales para acondicionamiento térmico en los casos de estudio*

En relación a los consumos energéticos cabe hacer una aclaración respecto a las viviendas del edificio liviano: tanto en el departamento bajo como sobre la copa de los árboles, sorprende que en invierno el consumo de gas resulte mayor a los requerimientos para enfriamiento, siendo que los usuarios indicaron que prácticamente no encendían la calefacción central en invierno y si señalaron el uso constante de aire acondicionado en verano, e inclusive en primavera y otoño. Esto se explica debido a que en verano el aire acondicionado se enciende en las horas de permanencia de los habitantes en la vivienda y luego se apaga; mientras que en invierno el uso de calefacción central en este tipo de edificios es constante, aunque sea mínima la temperatura fijada y los usuarios perciban correctamente que las temperaturas interiores de confort existentes se lograrían sin el uso de calefacción.

Tal situación es consecuencia del subsidio económico que ejerce el estado sobre el gas natural, que no permite que la población de clase media alta y los mismos organismos del estado perciban claramente la compleja situación de disponibilidad y uso desmedido del recurso.

Artículos a nivel nacional explican y se refieren a esta problemática afirmando que los consumos residenciales de gas natural tienen una gran variación en sus demandas en función de la temperatura, y estas demandas presentan picos de consumos muy grandes, pero de corta duración. A medida que la temperatura exterior disminuye, el consumo aumenta, y una vez que toda la calefacción existente en la residencia se ha encendido, el consumo de gas tiende a estabilizarse en su valor máximo. Este es un dato de mucha relevancia en el sistema argentino: los consumos específicos residenciales tienen una dependencia muy regular con la temperatura, y son independientes del tiempo y del contexto económico (Gil, 2006).

#### IV.4. REFLEXIONES DEL CAPÍTULO IV

La selección de los casos a diagnosticar constó en la clasificación de tres escalas de interacción: entorno, edificios y unidad de vivienda. Los edificios seleccionados se encuentran en la Zona Central de Mendoza, área con mayor densidad edilicia en altura en la ciudad. Se seleccionan dos casos representativos en cuanto a la materialidad -másica y liviana-, orientados al Norte y frente a plazas y a canales viales forestados con moreras a fines de contar con equivalentes condiciones exteriores.

La distinción de materialidad entre los casos de estudio se realiza en función de valorar el porcentaje de envolvente opaca y transparente expuesta, y en función de la masa por unidad de superficie interior, con diferencias en este sentido del orden del 40%.

Las mediciones realizadas muestran comportamientos térmicos y energéticos que varían principalmente en función del uso y la materialidad. Los resultados demuestran mayores diferencias térmicas en los niveles superiores de edificios de distintas tecnologías de envolvente, expuestas a un mayor intercambio convectivo y radiativo de energías.

Se observa que la envolvente liviana analizada (columnas de hormigón armado recubiertas en vidrio laminado de 6mm) en climas con condiciones térmicas extremas, no garantiza las condiciones de confort interior debido a sus escasas prestaciones como moderador climático. A causa de las ganancias internas y de la ganancia solar directa, a veces se hace necesario utilizar los sistemas de enfriamiento en invierno. En estos casos, la ganancia a través del vidrio significaría recargar estos sistemas. En consecuencia las condiciones de confort se intentan alcanzar mediante energía auxiliar, que se traducen en consumos mayores respecto a los espacios interiores de envolvente másica en el orden del 90% en verano y 60% en invierno.

Asimismo, se advierte una situación general de las unidades de vivienda en propiedad horizontal, en donde (salvo en los niveles extremos) la envolvente de pisos y techos no está expuesta y el carácter compacto de estas hace que se reduzca la superficie de envolvente exterior y así disminuyen las pérdidas a través de los elementos constructivos. A más compacidad menos contacto con las condiciones climáticas exteriores y menos pérdidas de energía, pero también disminuye la posibilidad de ventilación (situación no deseada en verano) y de captación de radiación solar (situación no deseada en invierno). Es por esto que es preciso establecer un balance entre las necesidades de refrigeración y las de calefacción.

El diagnóstico de casos esclarece que las auditorías en condiciones normales de funcionamiento de las viviendas, se ven afectadas por dos circunstancias: por un lado las variaciones que provocan los usuarios mediante la gestión de la envolvente, y por otro lado y en mayor medida, el uso de sistemas mecánicos de acondicionamiento. Por esto, se considera muy valioso contar con el complemento de las entrevistas, para poder identificar y esclarecer las variables subjetivas y realizar un análisis que permita extraer conclusiones extrapolables a otros casos similares.

Sin embargo, las costumbres del usuario no siempre son propicias o coherentes con el uso ideal de las cosas: al no provocar recursos pasivos de acondicionamiento térmico, como por ejemplo ventilación nocturna en verano, genera que las temperaturas mínimas interiores se alejen de las exteriores. Tal motivo evidencia la importancia fundamental de usuarios activos frente a estrategias de diseño pasivas.

Los resultados obtenidos demuestran que si bien las mediciones dependen de numerosas circunstancias y variables, las mismas sirven para ajustar el método mediante simulaciones y luego evaluar y experimentar alternativas de mejoras, tema que se aborda en el capítulo siguiente.

## IV.5. REFERENCIAS AL CAPÍTULO IV

- BALCOMB, J.D., BARLEY, D., MCFARLAND, R., PERRY, J., WRAY, W., NOLL, S. (1982). *Passive Solar Design Handbook Vol 1,2 y 3*. United States Department of Energy. Estados Unidos de América.
- BAREA, G., GANEM, C., ESTEVES, A. (2008) Valoración de las posibilidades energéticas de los edificios. La relación envolvente-orientación. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 12*. Impreso en la Argentina. N° pág.: 49-55.
- CARLI, C. (1993). *Los patios, los tiempos, las casas: Santa Fe*. Universidad del Litoral.
- CANTÓN, M.A., CORTEGOSO, J.L., DE ROSA, C. (1994). Solar permeability of urban trees in cities of western Argentina. *Energy and Buildings* 20. N° pág.219-230.
- COMMISSION OF EUROPEAN COUNTRIES (1999). *A green Vitruvius, Principles and Practice of Sustainable Architectural Design*. London: Ed. James and James.
- DUFFIE, J. y BECKMAN, W. (1991). *Solar Engineering of Thermal Processes*. Nueva York. Ed. John Wiley & Sons.
- ESTEVES, A. GELARDI, D. (2003). Docencia en Arquitectura Sustentable: Programa de Optimización de Proyectos de Arquitectura basado en el balance térmico. *Avances en Energías Renovables y Medioambiente*, 7, N° 2, 10.31-10.34.
- GANEM, C. (2006) *Rehabilitación ambiental de la envolvente de viviendas. El caso de Mendoza*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Catalunya. Barcelona. España.
- GIL, S. (2006) Gas Natural en la Argentina: presente y futuro. *Revista Ciencia Hoy*. N°pág. 26-36.
- GROSSI GALLEGOS, H., NOLLMAN, U., LOPARDO, R. y ATIENZA, G. (1983). Evaluación preliminar del recurso solar en Argentina. 8° *Actas de ASADES*. pp. 179-194.
- LONGOBARDI y HANCOCK, M. (2000). *Field Trip Strategies*. Proceedings of TIA.Oxford.
- MARINCIC I., OCHOA, J.M., DEL RIO, J. (2012) Confort térmico adaptativo dependiente de la temperatura y la humedad. *ACE: Arquitectura, Ciu.dad y Entorno* (en línea). Año 7. 20 Octubre, pp 27-46.
- MOLINA Y VEDIA, J., SAN JUAN, G. (2008). *Sustentabilidad ambiental. Conceptualización*. Ficha Teórica N°1. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de La Plata.
- MUNICIPALIDAD DE MENDOZA (2010) Ordenanza 3788/10.Mendoza, Argentina.

Normas IRAM 11.549 (2002). *Aislamiento térmico de edificios*. Tercera edición 2002-04-12

OLGYAY, V. (1998). *Arquitectura y Clima*. Barcelona, Ed. Gustavo Gili.

RIBOT CATALÁ, C., FERNANDEZ-TENLLADO, G., GARCÍA, D. (2000). Investigación cualitativa de atención primaria. Una experiencia con entrevistas abiertas. *Atención Primaria*. Vol. 25. Num 5, pp 343-348.

SAMAJA, J. (1993). *Epistemología y Metodología. Elementos para una teoría de la investigación científica*. Buenos Aires: Editorial Universitaria de Buenos Aires.

## **V. EVALUACIÓN Y PROPUESTAS DE DISEÑO Y MATERIALIDAD**

“Las respuestas de diseño deben ser verificadas según su localización, en referencia al clima del lugar, las condiciones del sol, su materialidad y las variantes autóctonas”

(San Juan y Rojas, 2007)

### V.1. METODOLOGÍA

Se trabaja con procedimientos de simulación mediante el programa Energy Plus. Según la definición de Niklaus Kohler y Uta Hassler (2002), se utilizaron dos aproximaciones complementarias entre sí:

**A – EX POST:** el pasado conocido es simulado para validar un modelo. En esta etapa se realizan dos análisis:

Una vez obtenido el diagnóstico térmico de la realidad a través de las mediciones *in situ* de condiciones interiores (*Capítulo IV*) se validan los modelos generados mediante programas de simulación, teniendo en cuenta las incidencias en el uso por parte de los habitantes.

Respecto a las tipologías morfológicas de los casos en estudio caben aclarar los siguientes aspectos: el edificio másico pertenece a la tipología de *Torre sin retiros* de las líneas divisorias de edificación. Si bien esta tipología no se encuentra en vigencia según la normativa actual (ver *Capítulo III*), el edificio se encuentra sobre la línea de edificación (sin retiros) por lo que la situación del departamento ubicado bajo la copa de los árboles se beneficia del acondicionamiento micro-climático de la arboleda urbana, consintiendo así una circunstancia equivalente a lo ocurrido en el Basamento. Asimismo, para contemplar la condición expuesta en la torre se modifica la morfología del edificio a la tipología de *Basamento y Torre* (ver *Figura V.1*).

En cuanto al edificio liviano, el mismo corresponde a la tipología de *Torre retirada*, por lo que la vivienda del nivel inferior no aprovecha los beneficios micro-climáticos que aporta la copa de los árboles debido al retiro frontal obligatorio. Asimismo, las envolventes laterales (Este y Oeste) se encuentran expuestas al clima exterior, a diferencia de lo que sucede en el Basamento, en donde no existe exposición de dichas envolventes por las edificaciones colindantes. En consecuencia, se modifica la morfología del edificio a la tipología de *Basamento y torrea* fines de atender a la diferenciación en altura que delimita la arboleda urbana.

La *Figura V.1* ejemplifica gráficamente lo expuesto para el caso másico y para el liviano.

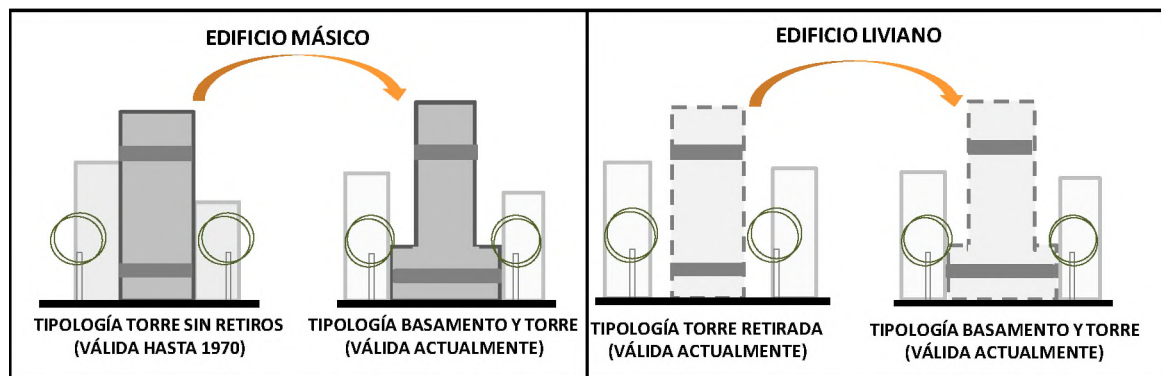


Figura V.1. Variaciones en las tipologías morfológicas de los casos en estudio

Con el fin de evaluar las diferencias en relación a la orientación, altura y materialidad de la envolvente sin la influencia del usuario, se simulan los casos aislando dichas incidencias. Se realizan las siguientes comparaciones:

- **Orientación:**
  - a- Verano: *MS - LS*
  - b- Invierno: *MS - LS*
- **Materialidad:**
  - c- Viviendas Bajo la copa de los árboles: *MB - LB*
  - d- Viviendas Sobre la copa de los árboles: *MS - LS*
- **Altura:**
  - e- Viviendas del Caso Másiko: *MB - MS*
  - f- Viviendas del Caso Liviano: *LB - LS*

**B – EX ANTE:** se plantea una propuesta de modificación de la realidad, la misma es simulada en base al pasado conocido (modelo validado), para obtener información acerca del posible comportamiento futuro del sistema.

Se evalúan en primer lugar las estrategias de materialidad (opaca y transparente) con el fin de seleccionar las variables constructivas convenientes y comparar los casos mejorados con las unidades de vivienda reales auditadas.

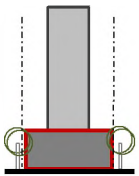
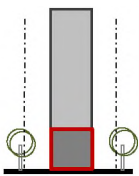
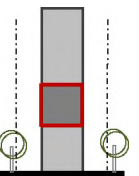
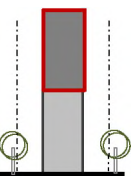
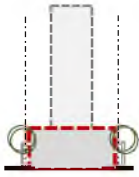
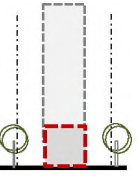
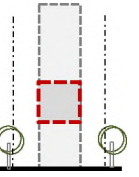
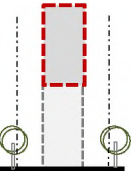
En segundo lugar, con el objetivo de analizar la respuesta integral del edificio y tener un panorama claro de las diferencias termo-energéticas interiores en niveles equivalentes, se amplía número de casos abarcado en el diagnóstico de casos (*Capítulo IV*) y se evalúan en ambos edificios -másico y liviano- diferentes niveles de análisis en relación a las tipologías morfológicas (ver *Figura V.2*). Asimismo, se valoran las estrategias de control climáticas, en las cuales si interviene el usuario mediante el uso apropiado de los sistemas de protección solar y ventilación natural en verano y ganancia directa en invierno. Los casos a analizar son los siguientes:

- **Tipología de BASAMENTO Y TORRE**

- Bajo la copa de los arboles (1° nivel)

- **Tipología de TORRE RETIRADA<sup>5</sup>**

- Nivel bajo (1° nivel)
- Nivel medio (5° nivel)
- Nivel alto (16° nivel)

| TIPOLOGÍAS       | BASAMENTO Y TORRE                                                                   | TORRE RETIRADA                                                                      |                                                                                      |                                                                                       |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                  | NIVEL DE BASAMENTO                                                                  | NIVEL BAJO (1° nivel)                                                               | NIVEL MEDIO (5° nivel)                                                               | NIVEL ALTO (16° nivel)                                                                |
| EDIFICIO MÁSICO  |  |  |  |  |
| EDIFICIO LIVIANO |  |  |  |  |

*Figura V.2. Niveles de análisis en las tipologías morfológicas en estudio*

<sup>5</sup> El primer nivel (1°) de la tipología de *Torre retirada* no cuenta con la protección de la arboleda urbana debido al retiro frontal obligatorio. Los niveles 5° y 16° -sobre la copa de los árboles- resultan equivalentes en ambas tipologías al no contar con edificaciones colindantes debido a la obligatoriedad de retiros laterales y posteriores en las torres. Es decir, que sus condiciones térmicas interiores no se verían afectadas en relación a la diferenciación tipológica.

**V.1.1.1. SOFTWARE DE SIMULACIÓN TERMO-ENERGÉTICA DE VALIDACIÓN EN LABORATORIO**

Se utiliza el software *Energy Plus*, versión 7.0. Este programa de simulación térmica y energética de edificios ha sido desarrollado por DOE (Department of Energy, Estados Unidos, 2009), a partir de códigos de BLAST y DOE2 (Scarduelli et al, 2009). Trabaja en régimen dinámico y permite interrelacionar las prestaciones de los sistemas energéticos con las características de materialidad de la envolvente del edificio. El programa, entre las numerosas posibilidades que ofrece, calcula el comportamiento térmico transitorio de un edificio en base a los datos climáticos, uso, materiales, geometría, equipamiento, etcétera; y permite el cálculo combinado de temperatura y humedad. Asimismo simula cargas de ventilación, calefacción, iluminación natural y artificial, cargas internas e instalaciones de climatización, temperaturas internas de cada espacio, temperatura operativa, superficial y radiante media, entre otras.

Con las variables climáticas medidas en el período seleccionado, se conforma el archivo de clima requerido para la simulación de los modelos. Los datos necesarios para realizar el archivo son: Radiación Global sobre superficie horizontal, Radiación difusa sobre superficie horizontal, Radiación directa normal al haz, Temperatura de bulbo seco exterior, Humedad relativa exterior, velocidad y dirección de vientos. La radiación directa al haz y difusa sobre plano horizontal se calculan por medio de un módulo de cálculo anexo al SIMEDIF (Flores, et al. 2000) ingresando la radiación global sobre superficie horizontal y los datos geográficos del lugar.

Se realizan dos archivos climáticos, presentados en el *Anexo 5*: uno, para la condición dada sobre la copa de los árboles, que contiene las mediciones realizadas de temperaturas y radiación solar global. A fines de contemplar la situación bajo la copa de los árboles, se realiza un segundo archivo climático en el cual se modifica la radiación incidente bajo la arboleda urbana. Para ello se tienen en cuenta los estudios realizados sobre el grado de permeabilidad de árboles en ciudades del centro oeste de Argentina por Canton et. al (1993). Dicha permeabilidad a la radiación global al mediodía solar correspondiente a la arboleda urbana existente en el caso de estudio (Morus Alba) es del 34,3% en primavera, 31,4% en verano, 38,7% en otoño y del 66,4% en invierno. En la *Tabla V.1* se muestran los porcentajes de permeabilidad para las tres especies arbóreas de la ciudad.

| ESPECIES | PERMEABILIDAD MEDIA (%) |        |       |          |
|----------|-------------------------|--------|-------|----------|
|          | PRIMAVERA               | VERANO | OTOÑO | INVIERNO |
| PLÁTANO  | 60.0                    | 9.8    | 23.9  | 41.1     |
| MORERAS  | 34.3                    | 31.4   | 38.7  | 66.4     |
| FRESNOS  | 20.9                    | 16.2   | 68.5  | 70.5     |

*Tabla V.1.* Valores de la permeabilidad estacional de las tres especies arbóreas existentes en Mendoza (Canton et. al, 1993)

En cuanto a la realización de los modelos geométricos de los edificios se llevó a cabo mediante el programa *Open Studio Plug-in* para *Google Sketch Up Versión 8*. A partir de este programa se ingresaron los datos geométricos en el software *Energy Plus*.

Para el ingreso de los datos constructivos en *IDF editor*, el programa distingue diferentes tipos de superficies:

a- Superficies del edificio: muros, techos, pisos, ventanas, puertas

b- Superficies de sombras: sombras del entorno (*Site Shading*) y sombras del edificio (*Building Shading*)

Las superficies del edificio requieren el ingreso de materiales másicos - tipo de rugosidad, espesor, conductividad, densidad y calor específico- y no másicos –transmitancia y reflectancia solar y visible y emisividad infraroja. En el *Anexo 6* se presentan imágenes de los modelos y las tablas que muestran los valores y componentes de los materiales másicos (base de datos de materiales del programa de simulación SIMEDIF para WINDOW) y translúcidos (base de datos de materiales del programa de simulación ENERGY PLUS).

**V.1.1. AJUSTE DE LOS MODELOS CONTEMPLANDO LA INCIDENCIA DEL USUARIO**

Las estaciones elegidas para la validación de los modelos se diferencian por la materialidad de los edificios en estudio, con el fin de aislar los aportes de calefacción o enfriamiento por medios mecánicos comúnmente utilizados, resultando:

\_ **Edificio másico:** las unidades de vivienda se validan en otoño, coincidente con el período de 7 días previamente analizado en el *Capítulo IV*, entre el 6 y el 11-04-2012.

\_ **Edificio liviano:** en este caso la validación se efectúa en la época de invierno, debido al uso moderado de calefacción en esta estación, siendo que en las tres restantes se observa el uso de aire acondicionado. El periodo de 7 días se corresponde con los días evaluados anteriormente: del 22 al 28-07-2012.

Las simulaciones se lanzan 10 días antes de la fecha seleccionada, en los cuales las temperaturas son estables. Esto es debido a que resulta importante que el modelo físico entre en régimen antes de la fecha a evaluar.

Los ajustes realizados constaron en:

- Se utilizó el modelo de Infiltraciones de “Área Eficaz de Fuga” (*Effective Leakage Area*). En una zona termal la infiltración es generalmente causada por la apertura y cierre de las puertas exteriores, las grietas alrededor de las ventanas, e incluso en muy pequeñas cantidades a través de los elementos de construcción. Este modelo se basa en el trabajo de Sherman y Grimsrud (1980) y está indicado para edificios de tipo residencial. Para la utilización del modelo el programa solicita el uso de horarios (*Schedules*) para cada zona en análisis.
- Se incorporó la cantidad de personas (*People*) por zona, determinando con los usos de horarios el tiempo de ocupación.
- Las superficies de sombras se ingresan como sombras del edificio (*Building Shading*) para los elementos de protección solar, tales como balcones y persianas.

- EDIFICIO MÁSCO

El modelo simulado se ajustó hasta llegar a diferencias menores a 0,50°C en relación a los datos medidos para el caso bajo la copa (Figura V.3), y menores a 1°C para el caso sobre la copa (Figura V.4). El análisis comparativo entre temperaturas medidas y simuladas advierte oscilaciones en las medidas debido a la influencia del usuario (apertura de ventanas, cierre de persianas) y valores más estables en el caso de las simuladas. En la Figura V.5 se presenta la correlación entre la temperatura medida y la simulada de las dos viviendas del caso másico.

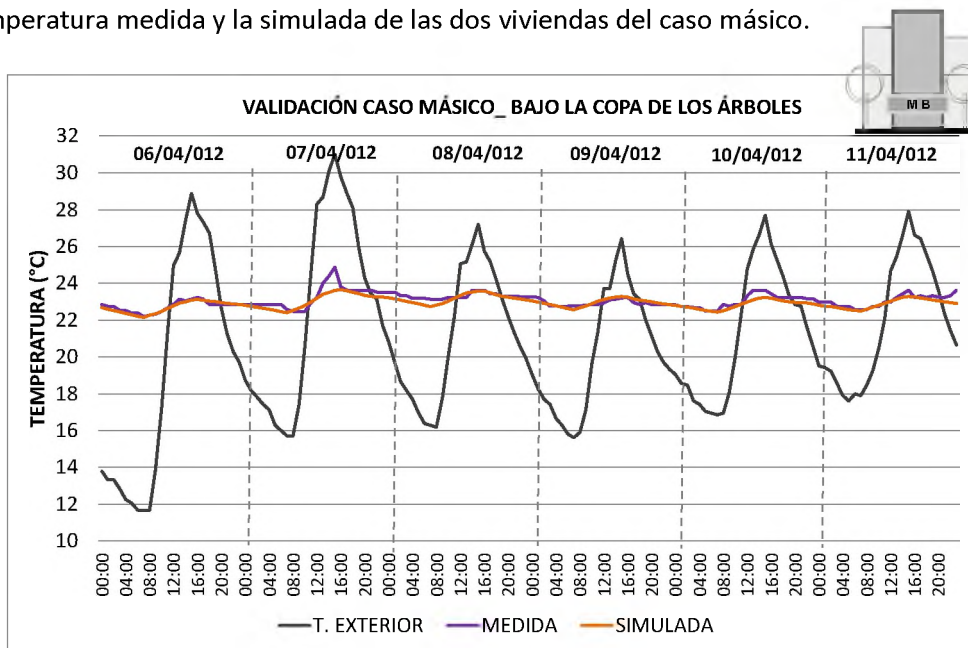


Figura V.3. Ajuste y validación del caso másico bajo la copa en Energy Plus

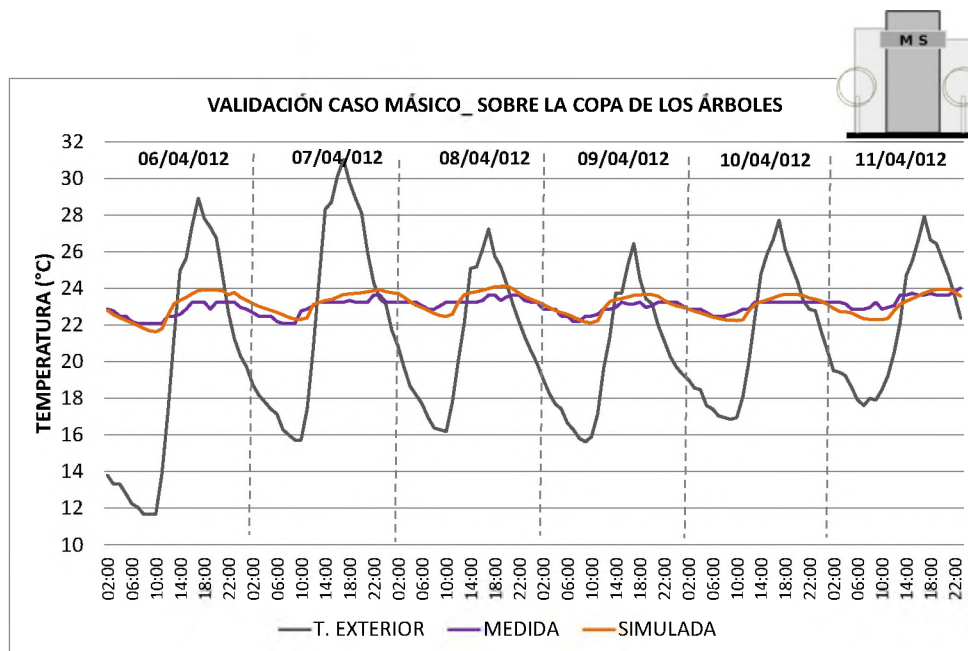


Figura V.4. Ajuste y validación del caso másico sobre la copa en Energy Plus

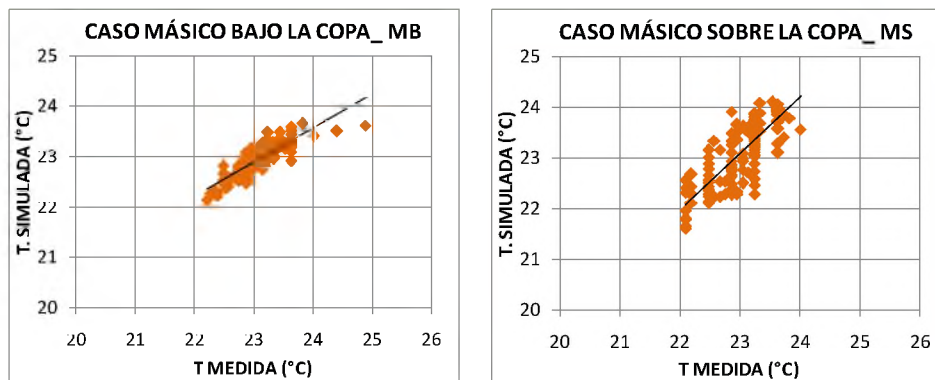


Figura V.5. Correlación temperatura medida y simulada de las dos viviendas del caso másko

- EDIFICIO LIVIANO

El modelo liviano simulado se ajustó en el caso del nivel bajo la copa de los árboles hasta llegar a diferencias menores a  $0,90^{\circ}\text{C}$  en relación a los datos medidos (Figura V.6). En el nivel sobre la copa (Figura V.7) las diferencias en las máximas son menores a  $0,80^{\circ}\text{C}$  y en las mínimas a partir del cuarto día las diferencias alcanzan  $1,80^{\circ}\text{C}$ , diferencia que se considera aceptable a los fines del presente trabajo, y que puede deberse a algún aporte de medios mecánicos de climatización. En la Figura V.8 se presenta la correlación entre la temperatura medida y la simulada de las dos viviendas del caso liviano.

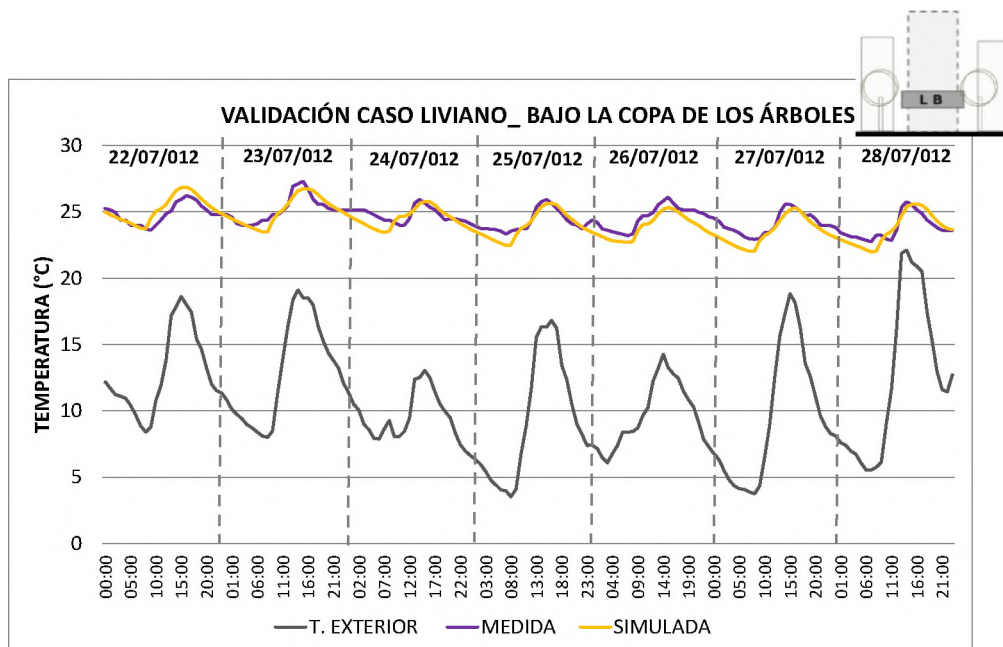


Figura V.6. Ajuste y validación del caso liviano bajo la copa en Energy Plus

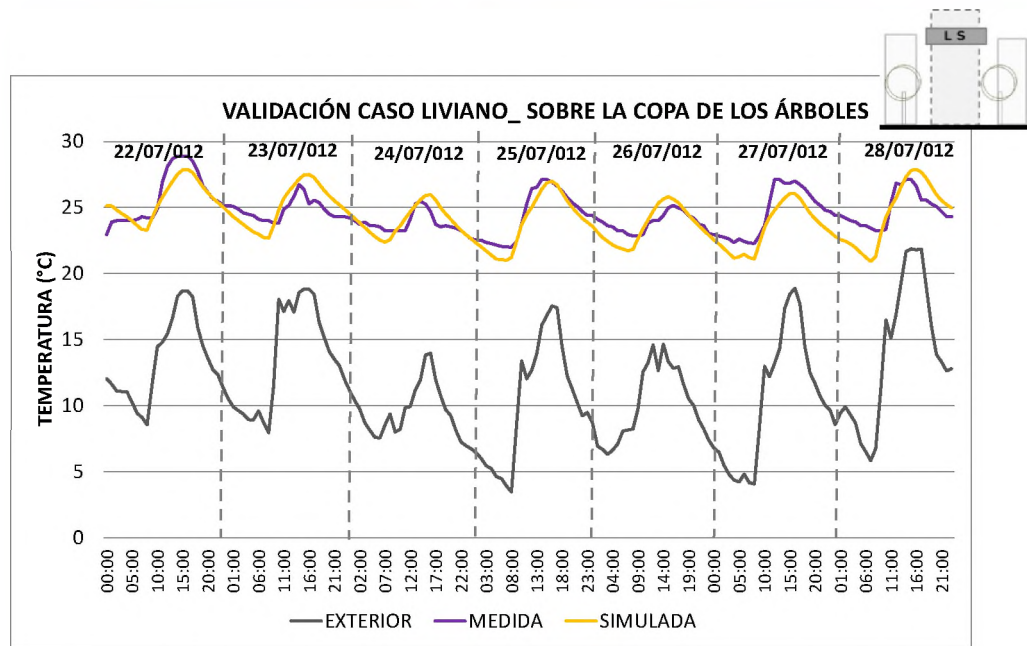


Figura V.7. Ajuste y validación del caso liviano sobre la copa en *Energy Plus*

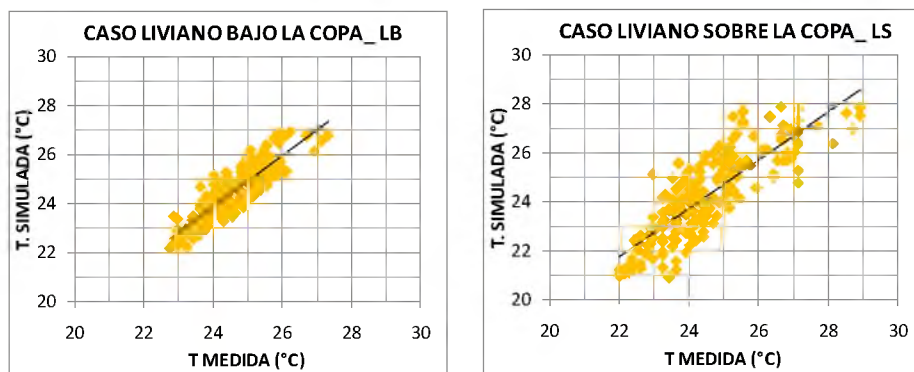


Figura V.8. Correlación temperatura medida y simulada de las dos viviendas del caso liviano

## V.2. COMPARACIÓN DE CASOS SIN LA INCIDENCIA DEL USUARIO

En la metodología (*ex post*) se ajustaron y validaron los modelos de simulación dinámica de las viviendas auditadas, contemplando la incidencia de los usuarios. La segunda etapa, desarrollada a continuación, consta en evaluar diferencias relacionadas a los aspectos propios de los edificios (orientación, altura y materialidad) aislando las influencias en el uso.

### V.2.1. ORIENTACIÓN

Se rotan los edificios en estudio a fines de obtener las temperaturas interiores en todas las orientaciones para los niveles superiores de los casos evaluados. En las *Figura V.9* y *Figura V.10* se pueden ver los resultados para un día de verano y de invierno respectivamente. Se observa que las diferencias de los comportamientos térmicos según la orientación son acordes a la altitud solar correspondiente a la ubicación regional.

En el **caso másico** en verano las máximas temperaturas registradas se dan cuando el edificio está orientado al Oeste (máxima de 31°C en la tarde) y al Este (máxima de 30,90°C en la mañana); mientras que cuando se orienta al Norte las temperaturas alcanzan máximas de 29,80°C y al Sur de 29,50°C. En invierno, la fachada Norte es la que cuenta con mayores temperaturas (máxima 19,60°C), siendo estas hasta 3,50°C mayores respecto a la orientación Sur.

En el **edificio liviano** las mayores temperaturas se dan al Este (máxima de 35,50°C en la mañana) y al Oeste (máxima de 33,80°C en la tarde); mientras que en el Norte la máxima es de 31,60°C y en el Sur de 30,40°C. En invierno, la orientación Norte resulta la más favorable, mostrando temperaturas dentro de los rangos de confort (entre 20,70°C y 26,60°C). En este caso las temperaturas interiores son hasta 10°C mayores que al Sur.

En cuanto a la diferenciación de los edificios evaluados se puede observar que el caso liviano muestra una mayor sensibilidad en relación a la variación en las orientaciones, mostrando rangos mayores de temperaturas interiores respecto al caso másico (ver *Figuras V.9* y *V.10*).

Por otro lado, en la toma de partido del proyecto resulta importante tener en cuenta que los edificios con mayores superficies de envolvente liviana son mayormente susceptibles en invierno a las variaciones de orientación (los resultados muestran que en el caso liviano cuenta con temperaturas al Norte hasta 10°C mayores que las del Sur, mientras en el edificio másico esta

diferencia es de 3,50°C). Por lo que resulta importante en este tipo de materialidad priorizar la orientación Norte siempre que sea posible.

Los resultados evaluados en los niveles superiores de edificios en altura confirman que la orientación Norte resulta la más favorable a nivel de climatización pasiva, con potenciales posibilidades de mejoras en esta orientación.

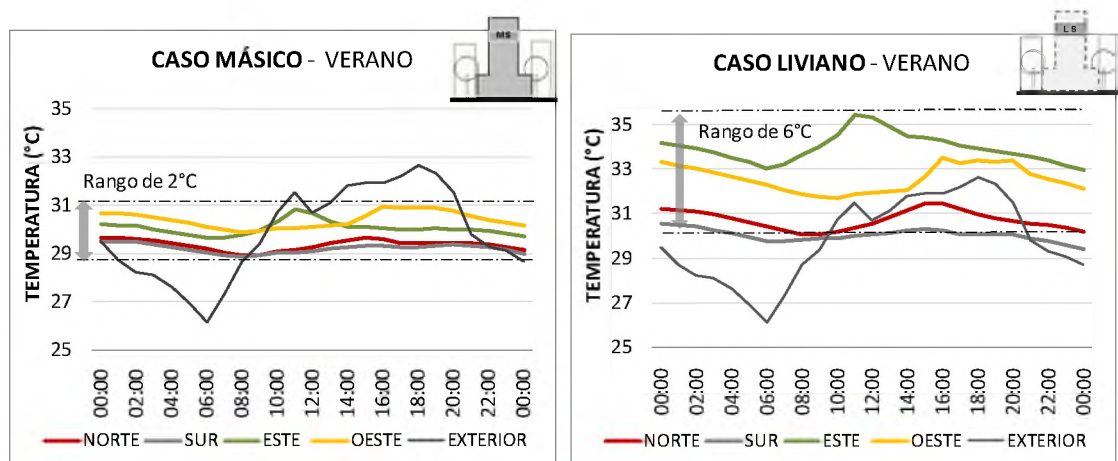


Figura V.9. Temperaturas para un día de verano de los edificios en estudio en todas las orientaciones

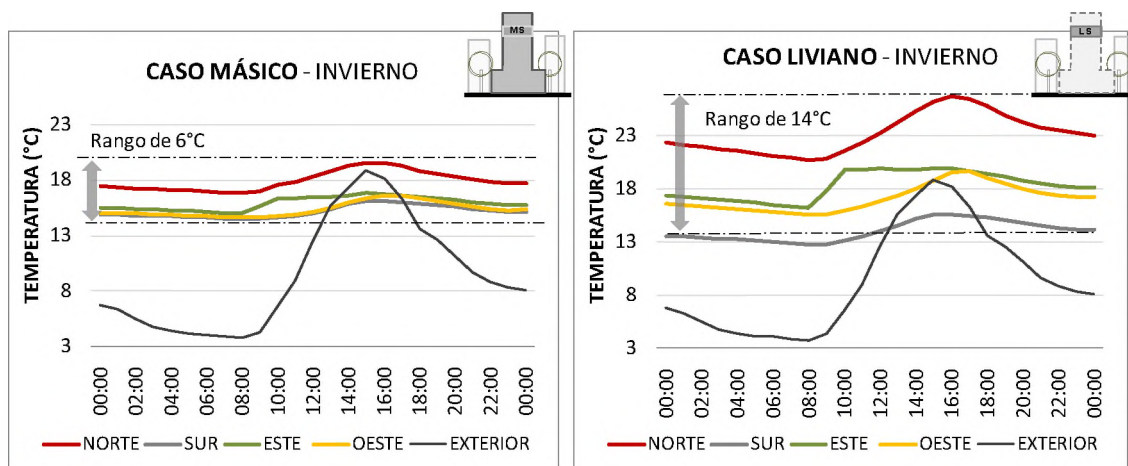


Figura V.10. Temperaturas para un día de invierno de los edificios en estudio en todas las orientaciones

## V.2.2. ALTURA

*a- Caso másico: MB – MS*



**Verano:** la vivienda bajo la copa presenta temperaturas interiores menores al departamento del nivel superior, en el orden de los 5°C tanto para los valores medios diurnos y nocturnos, como para las máximas y mínimas absolutas (ver *Tabla V.2*). Las diferencias térmicas entre los dos casos advierten que la moderación en las temperaturas interiores del nivel inferior se deba a la protección a la radiación solar que brinda la arboleda urbana.

**Estaciones intermedias:** tanto en primavera como en otoño la vivienda sobre la copa de los árboles cuenta con temperaturas superiores. Las diferencias en primavera son semejantes en las medias diurnas y nocturnas, así como en las máximas y mínimas absolutas, del orden de los 2°C. En otoño las diferencias medias diurnas y nocturnas se encuentran en los 3°C; en la máxima absoluta es de 2,30°C y en la mínima absoluta alcanza los 3,70°C.

**Invierno:** en el nivel superior se presentan temperaturas interiores más bajas, con diferencias del orden de 1,50°C, similares en las medias, mínimas y máximas. Esto se debe a que la vivienda ubicada en el basamento, cuenta con menores superficies expuestas debido a la protección de las edificaciones colindantes, exponiendo su fachada al Norte. Mientras que el departamento sobre la copa de los árboles expone su envolvente a las temperaturas exteriores de invierno hacia el Norte, Este y Oeste.

En la *Tabla V.2* se pueden ver las temperaturas medias diurnas y nocturnas y las máximas y mínimas absolutas por caso en todas las estaciones, junto a las diferencias térmicas correspondientes entre el caso sobre y bajo la copa.

|           | CASO MÁSIKO                                 |                |               |               |              |                |               |               |                                |                |               |               |
|-----------|---------------------------------------------|----------------|---------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------------|--------------------------------|----------------|---------------|---------------|
|           | TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y MEDIAS (°C) |                |               |               |              |                |               |               | DIFERENCIAS TÉRMICAS (MS - MB) |                |               |               |
|           | MB                                          |                |               |               | MS           |                |               |               |                                |                |               |               |
| PERIODO   | media diurna                                | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta | media diurna | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta | media diurna                   | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta |
| verano    | 26.2                                        | 25.9           | 26.4          | 25.5          | 31.0         | 30.8           | 31.4          | 30.2          | 4.8                            | 4.9            | 5.0           | 4.7           |
| primavera | 20.7                                        | 20.2           | 21.1          | 19.9          | 22.7         | 22.5           | 23.2          | 22.0          | 2.0                            | 2.3            | 2.1           | 2.1           |
| otoño     | 19.4                                        | 18.6           | 20.5          | 18.1          | 22.2         | 21.9           | 22.8          | 21.8          | 2.8                            | 3.3            | 2.3           | 3.7           |
| invierno  | 18.9                                        | 18.0           | 20.5          | 17.5          | 17.7         | 16.7           | 18.9          | 16.7          | -1.7                           | -1.8           | -1.6          | -1.4          |

*Tabla V.2.* Temperaturas medias diurnas y nocturnas; y máximas y mínimas absolutas del edificio másico

b- Caso liviano: LB – LS



**Verano:** la vivienda bajo la copa presenta temperaturas interiores menores al departamento del nivel superior, en el orden de los 4,40°C en las medias diurnas y de 3,60°C en las medias nocturnas, mientras que las diferencias absolutas se encuentran en los 4,60°C en las máximas y en 3,20°C en las mínimas. Tales diferencias evidencian la protección a la radiación y su consecuente moderación climática dada por la arboleda urbana.

**Estaciones intermedias:** la vivienda sobre la copa de los árboles cuenta con temperaturas superiores: las diferencias en primavera son del orden de los 2°C en las temperaturas diurnas y 1°C en las nocturnas; y en las temperaturas absolutas la diferencia es de 2,60°C en la máxima, mientras que en la mínima es de 0,40°C. En otoño son de 1,60°C en las medias diurnas y de 1,10°C en las medias nocturnas, y en las máximas y mínimas absolutas son de 1,70°C y 0,40°C respectivamente.

**Invierno:** en este caso la vivienda del nivel superior cuenta con temperaturas más extremas que la vivienda del basamento, es decir, mayores temperaturas en las máximas (0,60°C) y menores en las mínimas (0,40°C). Las diferencias absolutas se encuentran en 1,10°C en las máximas y 0,70°C en las mínimas (ver *Tabla V.3*). Esto se debe a que durante la noche el departamento inferior cuenta con la protección de las edificaciones colindantes dada en el basamento. Y durante el día las temperaturas son mayores en el nivel superior debido a una mayor ganancia directa dada por la mayor exposición a la radiación.

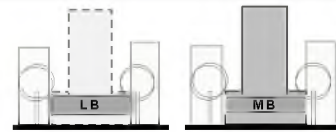
En la *Tabla V.3* se presentan las temperaturas medias diurnas y nocturnas y las máximas y mínimas absolutas por caso en todas las estaciones, junto a las diferencias térmicas entre el caso sobre y bajo la copa.

|           | CASO LIVIANO                                |                |               |               |              |                |               |               |                                |                |               |               |
|-----------|---------------------------------------------|----------------|---------------|---------------|--------------|----------------|---------------|---------------|--------------------------------|----------------|---------------|---------------|
|           | TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y MEDIAS (°C) |                |               |               |              |                |               |               | DIFERENCIAS TERMICAS (LS - LB) |                |               |               |
|           | LB                                          |                |               |               | LS           |                |               |               |                                |                |               |               |
| PERIODO   | media diurna                                | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta | media diurna | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta | media diurna                   | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta |
| verano    | 29.9                                        | 29.5           | 30.4          | 28.9          | 34.3         | 33.1           | 35.0          | 32.1          | 4.40                           | 3.60           | 4.60          | 3.20          |
| primavera | 23.0                                        | 22.3           | 23.5          | 21.9          | 25.0         | 23.3           | 26.1          | 22.3          | 2.00                           | 1.00           | 2.60          | 0.40          |
| otoño     | 25.2                                        | 24.5           | 25.8          | 23.6          | 26.8         | 25.6           | 27.5          | 24.0          | 1.60                           | 1.10           | 1.70          | 0.40          |
| invierno  | 23.2                                        | 22.2           | 24.5          | 21.4          | 23.8         | 21.8           | 25.6          | 20.7          | 0.60                           | -0.40          | 1.10          | -0.70         |

*Tabla V.3.* Temperaturas medias diurnas y nocturnas; y máximas y mínimas absolutas del edificio liviano

## V.2.3. MATERIALIDAD

c- *Bajo la copa de los árboles: MB – LB*



**Verano:** la vivienda del edificio liviano presenta temperaturas interiores mayores al departamento del edificio másico, en el orden de los 3,50°C en las medias, y de 4°C en la máxima absoluta. Es decir que aislando la influencia del usuario y de sistemas de climatización, las diferencias en el nivel de basamento evidencian las falencias de la envolvente del caso liviano, implicando temperaturas interiores que alcanzan los 30°C a pesar de la moderación de la radiación dada por la arboleda.

**Estaciones intermedias:** el caso liviano cuenta con temperaturas superiores en otoño y en primavera. En otoño las diferencias tanto en las medias diurnas y nocturnas como en los valores absolutos se encuentran en el orden de 5,50°C. En primavera son del orden de los 2,50°C para todos los casos.

**Invierno:** en la vivienda liviana las temperaturas son mayores en el orden de los 4°C tanto para las temperaturas medias diurnas y nocturnas, como para las máximas y mínimas absolutas. Esto se debe al porcentaje más elevado de envolvente vidriada del caso liviano, que hace que durante el día se eleven las temperaturas por ganancia directa, y durante la noche, el calor absorbido por la masa de los muros de 0,40 m de espesor se propague en parte hacia el interior.

En la *Tabla V.4* se presentan las temperaturas medias diurnas y nocturnas y las máximas y mínimas absolutas por caso en todas las estaciones, junto a las diferencias térmicas entre los casos liviano y másico bajo la copa.

|           | BAJO LA COPA DE LOS ÁRBOLES                 |                |               |               |                   |                |               |               |                                |                |               |               |
|-----------|---------------------------------------------|----------------|---------------|---------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|--------------------------------|----------------|---------------|---------------|
|           | TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y MEDIAS (°C) |                |               |               |                   |                |               |               | DIFERENCIAS TERMICAS (LB - MB) |                |               |               |
|           | CASO MÁSICO (MB)                            |                |               |               | CASO LIVIANO (LB) |                |               |               |                                |                |               |               |
| PERIODO   | media diurna                                | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta | media diurna      | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta | media diurna                   | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta |
| verano    | 26.2                                        | 25.9           | 26.4          | 25.5          | 29.9              | 29.5           | 30.4          | 28.9          | 3.7                            | 3.6            | 4.0           | 3.4           |
| primavera | 20.7                                        | 20.2           | 21.1          | 19.9          | 23.0              | 22.3           | 23.5          | 21.9          | 2.3                            | 2.1            | 2.4           | 2.0           |
| otoño     | 19.4                                        | 18.6           | 20.5          | 18.1          | 25.2              | 24.5           | 25.8          | 23.6          | 5.8                            | 5.9            | 5.3           | 5.5           |
| invierno  | 18.9                                        | 18.0           | 20.5          | 17.5          | 23.2              | 22.2           | 24.5          | 21.4          | 4.3                            | 4.2            | 4.0           | 3.9           |

*Tabla V.4.* Temperaturas medias diurnas y nocturnas; y máximas y mínimas de los casos bajo la copa

d- Sobre la copa de los árboles: MS – LS



**Verano:** la vivienda del edificio liviano cuenta con mayores temperaturas del orden de los 3°C en las temperaturas diurnas medias y en la máxima absoluta, mientras que en las medias nocturnas y mínima absoluta la diferencia es del orden de los 2°C. Se observa en este caso (ver *Tabla V.5*) que en ambos departamentos las temperaturas exceden los 30°C sobrepasando los rangos de confort.

**Estaciones intermedias:** tanto en otoño como en primavera el caso liviano cuenta con temperaturas superiores. Las diferencias en otoño son del orden de 4,70°C y en las temperaturas diurnas medias y en la máxima absoluta, en la media nocturna es de 3,70°C y en la mínima absoluta es de 2,20°C. En primavera las diferencias en las medias diurnas son del orden de 2,30°C y en la media nocturna de 0,80°C, mientras que en las máximas y mínimas absolutas son de 2,90°C y 0,30°C respectivamente.

**Invierno:** en el caso liviano las temperaturas son más extremas y más elevadas que en el caso másico. Las diferencias térmicas son de 6,10°C en las medias diurnas y de 5,10°C en las medias nocturnas; y en las máximas y mínimas absolutas son de 6,70°C y 4°C respectivamente. Se observan mayores amplitudes térmicas interiores ( $\Delta T$ ) en la vivienda liviana (de 4°C) que en la másica (del orden de 2°C).

En la *Tabla V.5* se presentan las temperaturas medias diurnas y nocturnas y las máximas y mínimas absolutas por caso en todas las estaciones, junto a las diferencias térmicas entre los casos liviano y másico sobre la copa.

|           | SOBRE LA COPA DE LOS ÁRBOLES                |                |               |               |                   |                |               |               |                                |                |               |               |
|-----------|---------------------------------------------|----------------|---------------|---------------|-------------------|----------------|---------------|---------------|--------------------------------|----------------|---------------|---------------|
|           | TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y MEDIAS (°C) |                |               |               |                   |                |               |               | DIFERENCIAS TERMICAS (LS - MS) |                |               |               |
|           | CASO MÁSICO (MS)                            |                |               |               | CASO LIVIANO (LS) |                |               |               |                                |                |               |               |
| PERIODO   | media diurna                                | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta | media diurna      | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta | media diurna                   | media nocturna | max. absoluta | mín. absoluta |
| verano    | 31.0                                        | 30.8           | 31.4          | 30.2          | 34.3              | 33.1           | 35.0          | 32.1          | 3.3                            | 2.3            | 3.6           | 1.9           |
| primavera | 22.7                                        | 22.5           | 23.2          | 22.0          | 25.0              | 23.3           | 26.1          | 22.3          | 2.3                            | 0.8            | 2.9           | 0.3           |
| otoño     | 22.2                                        | 21.9           | 22.8          | 21.8          | 26.8              | 25.6           | 27.5          | 24.0          | 4.6                            | 3.7            | 4.7           | 2.2           |
| invierno  | 17.7                                        | 16.7           | 18.9          | 16.7          | 23.8              | 21.8           | 25.6          | 20.7          | 6.1                            | 5.1            | 6.7           | 4.0           |

*Tabla V.5.* Temperaturas medias diurnas y nocturnas; y máximas y mínimas de los casos sobre la copa

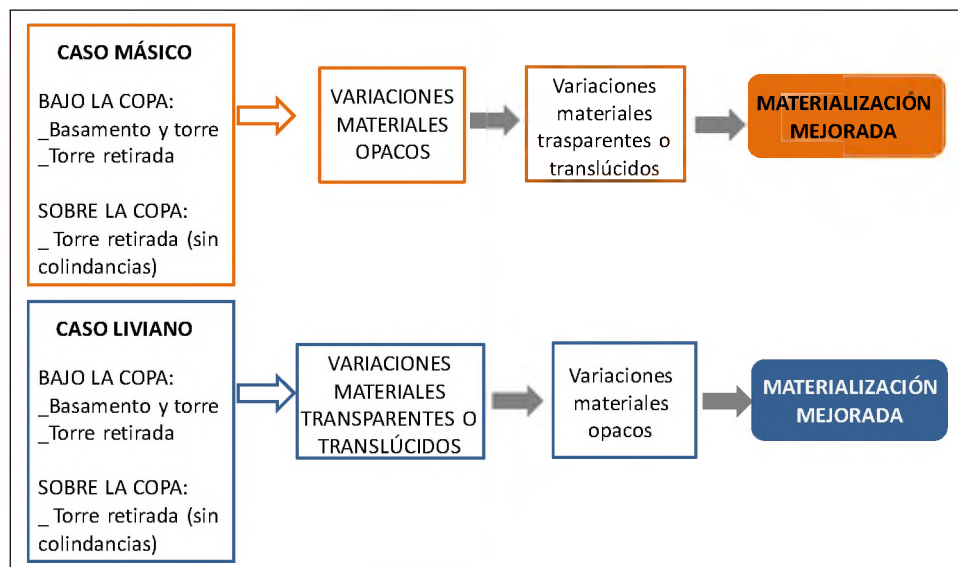
### V.3. ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE PROPUESTAS

#### V.3.1. MATERIALIDAD

La metodología (*ex ante*) consta en aplicar modificaciones en la materialización de los dos casos de estudio –de imagen másica y liviana- en las unidades de vivienda posicionadas bajo y sobre la copa de los árboles, considerando las dos variantes de tipologías morfológicas: torre retirada y basamento y torre.

Cabe aclarar que si bien la ciudad de Mendoza presenta una condición climática en donde la condición másica de una construcción resulta favorable para su comportamiento térmico, la presente investigación pretende aportar estrategias de aplicación que contemplen la situación actual tendiente a la imagen liviana o transparente. Es por esto que se consideran los dos casos de estudio -másico y liviano-, con el fin de mejorar aspectos de su materialización sin transformar la esencia que los define como tales, es decir, respetando su imagen (másica o liviana).

La modificación en la materialidad se realiza en función de tener en cuenta la predominante en cada edificio, es decir, en el caso másico en primer lugar se modifican los elementos opacos y en el liviano los transparentes, y se identifican las combinaciones de materialidad con mejores resultados. En la *Figura V.11* se presenta el esquema de análisis.



*Figura V.11.* Esquemas de las variaciones en la materialidad de los casos en estudio

Por otro lado, a fines de calcular las mejoras en los consumos energéticos para climatización se seleccionan las variables de salida del programa *Energy Plus* que calculan las cargas de energía para calefacción y para enfriamiento (*Ideal Loads Air Heating Energy*, *Ideal Loads Air Total Cooling Energy*). Para realizar el cálculo de cargas energéticas el programa permite definir termostatos. Los mismos se programan manteniendo temperaturas de calefacción de 20°C y de refrigeración de 25°C.

Con el objetivo de simular los casos de análisis con distintas propiedades tecnológicas y constructivas de materiales, se modifican las propiedades de las superficies vidriadas y de los muros exteriores de las viviendas. Para el cálculo de resistencias y transmitancias térmicas de los materiales se utilizan las fórmulas 1 y 2 (Normas IRAM 11.608):

$$R = e / \lambda \quad (1)$$

$$K = 1/R \quad (2)$$

Dónde:

$e$  = espesor del material (m)

$\lambda$  = conductancia térmica del material (W/m.K)

A continuación se clasifican los materiales en función de diferenciar la opacidad o transparencia de los mismos.

La **materialidad opaca** se trabaja considerando como estrategias de control climática a la aplicación de sistemas de inercia térmica en la envolvente (recomendadas para climas con oscilación térmica en latitudes medianas o bajas).

En la ciudad de Mendoza, al ser una zona sísmica, resultan necesarios en la construcción materiales portantes, y por ende másicos. Estos materiales, se caracterizan por su opacidad y por su tipo de construcción “húmeda”. El hormigón armado es el principal elemento estructural, y los elementos de cerramiento mayormente difundidos a nivel local son: el ladrillo de barro cocido, el ladrillo cerámico hueco y el bloque de hormigón.

Tales materiales pueden aumentar su capacidad másica y de inercia térmica mediante el uso de materiales aislantes. Los más utilizados en el contexto de estudios son: poliestireno expandido, poliuretano expandido, lana mineral y fibra de vidrio.

En la *Tabla V.7* se pueden ver las propiedades físicas de los materiales opacos y aislantes seleccionados.

Asimismo, la creciente búsqueda de una imagen liviana en las construcciones, ha dado como resultado edificios en altura que incorporan en la envolvente materiales transparentes o translúcidos junto a otros de alta inercia térmica. Sin embargo, muchas veces las respuestas térmicas y energéticas resultan perjudiciales, tal como se puede ver en el caso liviano diagnosticado en el *Capítulo IV*.

Las normas argentinas, específicamente la serie IRAM 11600, trata el tema de la calidad térmica de los edificios construidos en territorio nacional y del consumo energético de ellos, estableciendo los métodos de cálculo y los valores mínimos de sus condiciones higrotérmicas.

La Norma 11605 (IRAM, 1996) otorga tres niveles de transmitancia que corresponden a un grado decreciente de la calidad térmica tanto en los paramentos verticales como en las cubiertas, siendo: Nivel A, recomendado; Nivel B, medio y Nivel C, mínimo. Para Mendoza (zona bio-ambiental IVa, IRAM 11603) los valores máximos de transmitancia térmica de los muros para condiciones de invierno es de  $0,36 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (Nivel A, recomendado), de  $0,99 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (Nivel B, medio) y de  $1,75 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (Nivel C, mínimo). Para condiciones de verano es de  $0,50 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (Nivel A),  $1,25 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (Nivel B) y  $2,00 \text{ W/m}^2\text{°C}$  (Nivel C).

El Nivel A estima un importante espesor de aislación a incorporar en el paramento, esto dificulta la implementación desde el aspecto práctico y económico. Debido a estas consideraciones sobre el uso de la norma 11605, el trabajo de Mercado et al (2010), propone un cuarto nivel (*Figura V.12*) orientado a unificar tres aspectos en cuanto a la incorporación de aislación térmica: el térmico, el práctico y el económico.

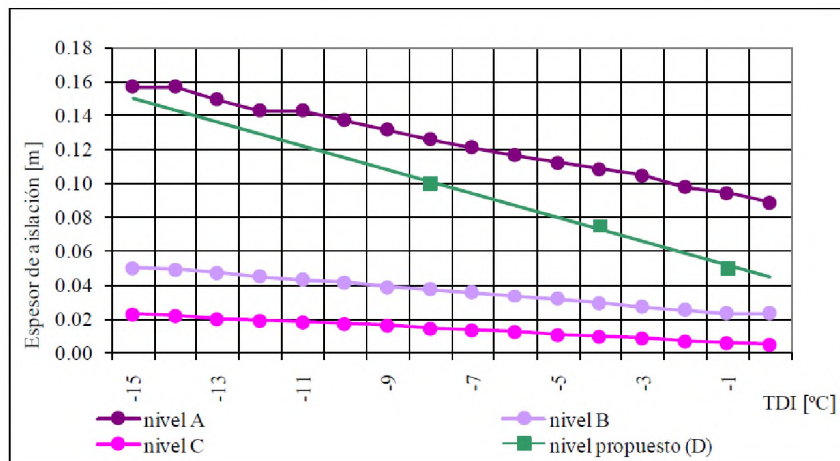


Figura V.12. Espesores de aislación térmica para cumplimentar con los diferentes niveles de transmitancia establecidos por la Norma IRAM 11605 más un cuarto nivel propuesto por Mercado y Esteves (Gráfico: Mercado et al, 2010)

La temperatura mínima exterior de diseño para Mendoza es de  $-1^{\circ}\text{C}$ , por lo que se toma como material aislante al poliuretano expandido por ser uno de los materiales más utilizados actualmente en la práctica constructiva y presentar el mejor comportamiento en construcciones másicas (Cabezas et al, 2010). Se proponen dos espesores de aislación: de 0,05m a fines de cumplir con el cuarto nivel D propuesto por Mercado y Esteves (2004), y de 0,10m para cumplir con un nivel A según las Normas IRAM.

A fines de poder considerar otras posibilidades de aislación se presenta en la *Tabla V.6* el material seleccionado para el estudio (en naranja) junto las equivalencias en cuanto al espesor y resistencia de los diferentes materiales utilizados en el mercado local:

| AISLANTE               | Espesor (m) | Resistencia ( $\text{m}^2\text{C}/\text{W}$ ) |
|------------------------|-------------|-----------------------------------------------|
| Poliuretano expandido  | 0.05        | 2.4                                           |
| Poliestireno expandido | 0.075       | 2.5                                           |
| Lana mineral           | 0.075       | 2.4                                           |
| Fibra de vidrio        | 0.1         | 2.5                                           |
| Corcho en planchas     | 0.1         | 2.6                                           |

Tabla V.6. Resistencia térmica de materiales aislantes en el mercado local

Respecto a los **materiales transparentes o traslúcidos** se seleccionan vidrios difundidos en el contexto de análisis.

Se ha utilizado la información de las características físicas de los vidrios de VASA, que trabaja bajo el estándar de *Pilkington* con cristales: incoloro, bronce, gris, verde, o combinaciones incoloras y de color. Los vidrios seleccionados son: doble vidriado hermético con cámara de aire de 12mm incoloros y de color verde, azul y gris reflectivo.

Se presenta en la *Tabla V.7* la clasificación de los materiales opacos y transparentes o traslúcidos seleccionados para el análisis junto a sus propiedades físicas.

| MATERIALES OPACOS                                  |                          |                          |                                      |
|----------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------------------|
|                                                    | Conductividad<br>(W/m°C) | Densidad<br>(W/m°C)      | Calor específico<br>(J/Kg°C)         |
| H°A° in situ                                       | 1.70                     | 2200                     | 780                                  |
| Ladrillo común (0.25 x 0.12 x 0.05 m)              | 0.72                     | 1797                     | 919                                  |
| Ladrillo cerámico hueco (0.12 x 0.18 x 0.25 m)     | 0.41                     | 1000                     | 600                                  |
| Bloques de H°A°                                    | 0.50                     | 1200                     | 1000                                 |
| MATERIALES AISLANTES                               |                          |                          |                                      |
|                                                    | Transmitancia (W/m2 °C)  |                          |                                      |
| Poliestireno expandido 5 cm                        | 0.40                     |                          |                                      |
| Poliestireno expandido 10 cm                       | 0.60                     |                          |                                      |
| MATERIALES TRANSPARENTES O TRANSLÚCIDOS            |                          |                          |                                      |
|                                                    | Factor Solar             | Coeficiente de<br>Sombra | Coef. transmisión<br>térmica (W/m2K) |
| DVH 6mm con cámara de aire 12mm_ incoloro          | 0.70                     | 0.81                     | 2.80                                 |
| DVH 6mm verde (int incoloro - ext color)           | 0.50                     | 0.58                     | 2.80                                 |
| DVH 6mm gris reflectivo (int incoloro - ext color) | 0.33                     | 0.38                     | 2.80                                 |
| DVH 6mm azul (int baja emisividad - ext color)     | 0.35                     | 0.40                     | 1.80                                 |

*Tabla V.7.* Propiedades físicas de los materiales seleccionados para el análisis

## V.3.1.1.MATERIALIDAD OPACA

Se evalúan los comportamientos térmicos interiores en envoltentes no auditadas en el caso másico: ladrillo cerámico hueco, ladrillo macizo y bloques de H° con aislaciones de 0,10 y 0,05m; y se define la masa dada por unidad de superficie interior junto a los coeficientes de transmitancia.

En la *Tabla V.8* se puede ver que la masa total varía de  $0,29\text{m}^3$  a  $0,33\text{m}^3$ ; la masa en la envoltente expuesta varía de  $0,08\text{m}^3$  a  $0,13\text{m}^3$  por unidad de superficie habitable, y los coeficientes  $K$  van de  $1,36\text{ W/m}^2\text{°C}$  a  $0,37\text{ W/m}^2\text{°C}$ .

| MASA POR UNIDAD DE SUP. HABITABLE (m3) |                     | MATERIALIDAD OPACA                              | K<br>(W/m <sup>2</sup> °C) | Referencias |
|----------------------------------------|---------------------|-------------------------------------------------|----------------------------|-------------|
| TOTAL                                  | ENVOLVENTE EXPUESTA |                                                 |                            |             |
| 0.29                                   | 0.10                | Ladrillo cerámico hueco sin aislación           | 1.36                       | LC          |
| 0.30                                   | 0.11                | Ladrillo cerámico hueco con 0.05 poliuret. exp. | 0.69                       | LC_5        |
| 0.32                                   | 0.13                | Ladrillo cerámico hueco con 0.10 poliuret. exp. | 0.37                       | LC_10       |
| 0.31                                   | 0.08                | Ladrillo macizo con 0.05 poliuret. exp.         | 0.78                       | LM_5        |
| 0.33                                   | 0.10                | Ladrillo macizo con 0.10 poliuret. exp.         | 0.44                       | LM_10       |
| 0.31                                   | 0.10                | Bloque de H° con 0.05 poliuret. exp.            | 0.73                       | BH°_5       |
| 0.30                                   | 0.11                | Bloque de H° con 0.10 poliuret. exp.            | 0.43                       | BH°_10      |

*Tabla V.8.* Materialidad opaca evaluada en el edificio másico

Los resultados térmicos de las variaciones de materialidad para verano e invierno en cada tipología morfológica indican:

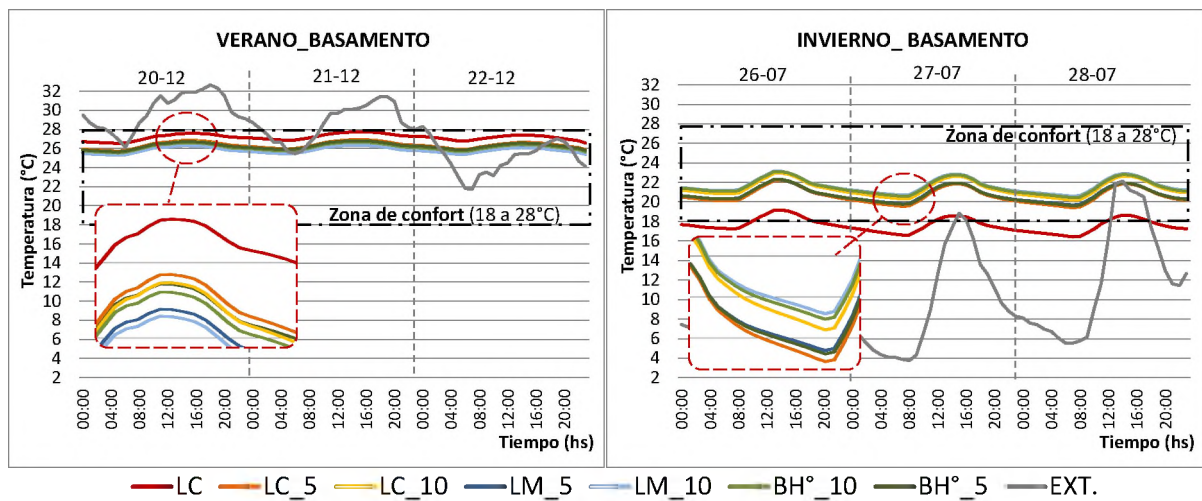
En verano la incorporación de materiales másicos con menores coeficientes de transmitancia implica mejoras térmicas de hasta  $1,50\text{°C}$ . El material con el que se dan las menores temperaturas es el ladrillo macizo con aislación de 0,10m (poliuretano expandido) ( $K=0,44\text{ W/m}^2\text{°C}$  y  $0,44\text{m}^3$  de masa por unidad de superficie interior), con reducciones de  $1,50\text{°C}$ .

En invierno se observan considerables beneficios térmicos, con variaciones de hasta  $5\text{°C}$  que están asociadas al material que posee mayor cantidad de metros cúbicos de masa por unidad de superficie interior (bloque de H° con aislación de 0,10m,  $K=0,44\text{ W/m}^2\text{°C}$ ).

En cuanto a las amplitudes térmicas, estas resultan equivalentes tanto en invierno como en verano en todos los niveles.

Se observa que si bien, en la mayoría de los casos los mejores resultados se obtienen con ladrillo macizo con aislación de 0,10m de espesor, estos resultados difieren muy poco respecto a la incorporación de la misma aislación de 0,05m de espesor: las diferencias son del orden de 0,50° en el verano y de 0,80°C en el invierno. Por esta razón se selecciona para el edificio másico la opción de 0,05 m de espesor como caso óptimo para continuar con los análisis del trabajo. Cabe aclarar que el espesor sugerido en la aislación de muros es coincidente con lo evaluado en estudios térmicos y económicos de la incorporación de aislación en la envolvente edilicia en Mendoza (Mercado y Esteves, 2010).

En la *Figura V.13* pueden verse los comportamientos térmicos para verano e invierno en el del Basamento (bajo la copa) y en la *Figura V.14* en la Torre (sobre la copa).



*Figura V.13.* Temperaturas de las diferentes materialidades en verano e invierno en el Basamento

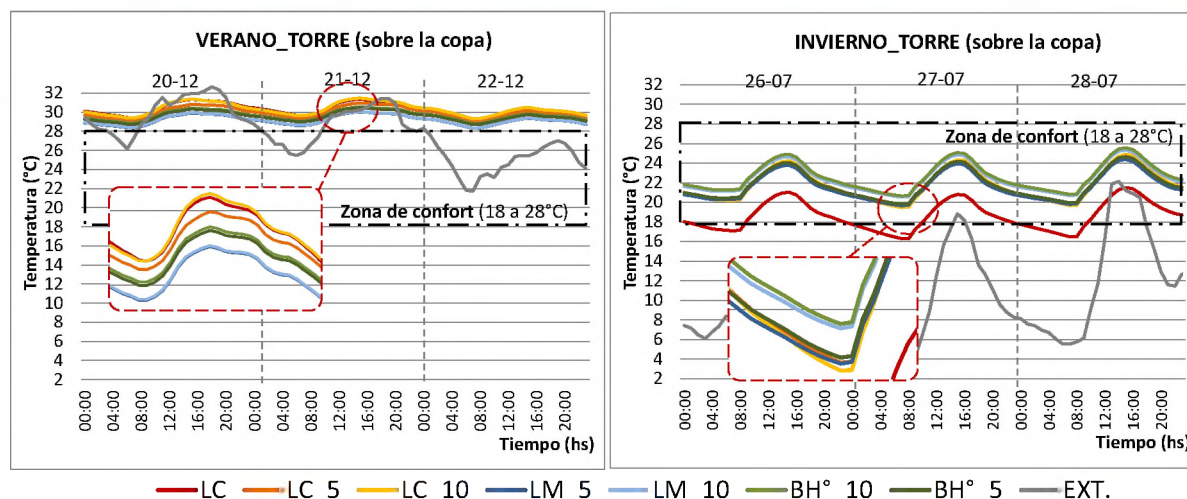


Figura V.14. Temperaturas de las diferentes materialidades en verano e invierno en la Torre

Respecto a la materialidad opaca del edificio liviano se continúa trabajando con la envolvente existente -H°A° de 0,40 m de espesor- dado que tanto la incorporación de aislación en la envolvente, como la modificación en la materialidad de la misma, provoca mejoras mínimas, del orden de 0,10°C en verano y de 1°C en invierno. En el *Anexo 7* se presentan las curvas de temperaturas y el análisis respectivo de las variaciones en la materialidad.

### V.3.1.2. MATERIALES TRANSPARENTES O TRANSLÚCIDOS

Se analiza el comportamiento térmico interior y las ganancias y pérdidas energéticas por ventana para verano e invierno en cada tipología morfológica, -bajo y sobre la copa de los árboles- variando los elementos transparentes o translúcidos. Los casos de análisis son los siguientes:

- i. Vidrio simple laminado (caso existente)
- ii. DVH\_ vidrio interior y exterior incoloro
- iii. DVH\_ vidrio interior incoloro, vidrio exterior verde
- iv. DVH\_ vidrio interior incoloro, vidrio exterior gris reflectivo
- v. DVH\_ vidrio interior incoloro baja emisividad, vidrio exterior azul

En verano los resultados advierten reducciones de temperatura con la incorporación de DVH entre 0,80°C a 2,80°C en el Basamento (ver Figuras V.15) y entre 1°C a 4°C en la Torre (ver Figura V.17). Respecto a los rangos de confort se observa que en el Basamento es posible alcanzar

temperaturas de confort con los DVH verde, azul de baja emisividad y gris reflectivo, pero en los casos de la tipología en Torre las temperaturas sobrepasan hasta en 8°C al rango de confort.

En invierno (ver *Figuras V.16 y V.18*) las temperaturas más altas se advierten con el DVH incoloro. Los DVH de color presentan temperaturas menores al incoloro del orden de 4°C, debido a que las ganancias son de hasta un 80% inferior a las del vidrio sin color. Sin embargo, a pesar de tales disminuciones, se observa que en todos los casos incorporando doble vidriado hermético las temperaturas interiores se mantienen dentro del rango de confort sin el uso de acondicionamiento térmico artificial.

En base a determinar en el caso de edificios livianos como estación más crítica al verano, los mejores resultados, es decir, las temperaturas más bajas, se dan con el doble vidriado hermético de color gris reflectivo. Sin embargo, la utilización en fachadas ampliamente vidriadas de vidrios reflectivos, en una ciudad de clima luminoso como es Mendoza (Pattini, 1996), pone en peligro el confort lumínico a nivel urbano por potencial riesgo de deslumbramiento. Por tal razón se selecciona el vidrio que le sigue en eficiencia, el DVH azul con baja emisividad, como material transparente para continuar con el análisis previsto.

Se presentan las curvas de temperaturas para verano e invierno de los vidrios analizados y los gráficos de ganancias y pérdidas energéticas por vidrio (W/h). Para el caso del Basamento (bajo la copa) en las *Figuras V.15 y V.16* y para la Torre retirada (sobre la copa) en las *Figuras V.17 y V.18*.

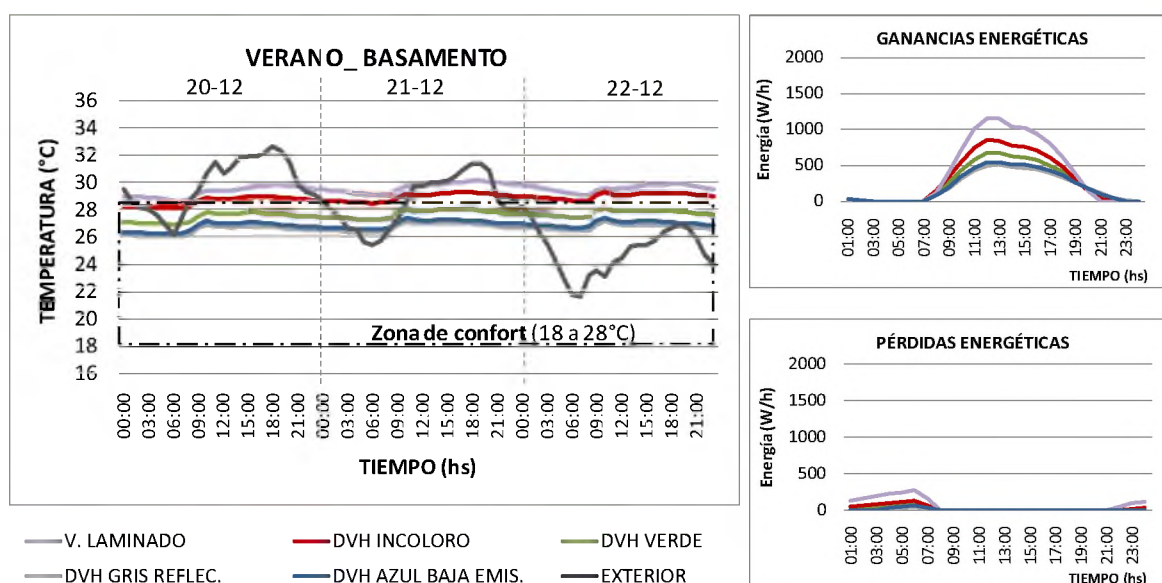


Figura V.15. Temperaturas interiores y ganancias y pérdidas energéticas de los vidrios evaluados en verano en el Basamento

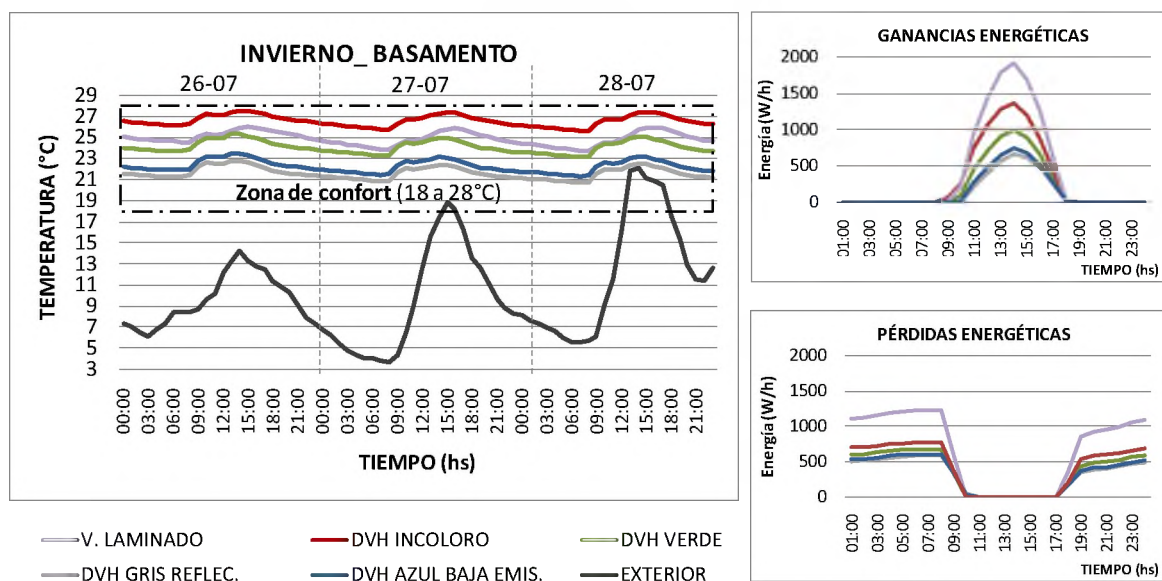


Figura V.16. Temperaturas interiores y ganancias y pérdidas energéticas de los vidrios evaluados en invierno en el Basamento

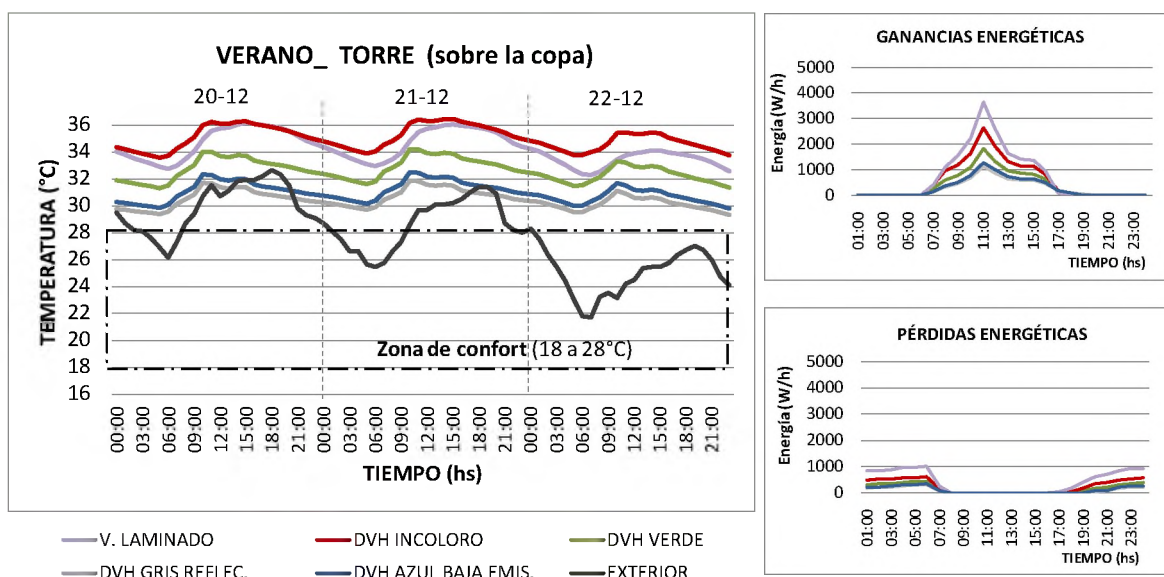


Figura V.17. Temperaturas interiores y ganancias y pérdidas energéticas de los vidrios evaluados en verano en la Torre

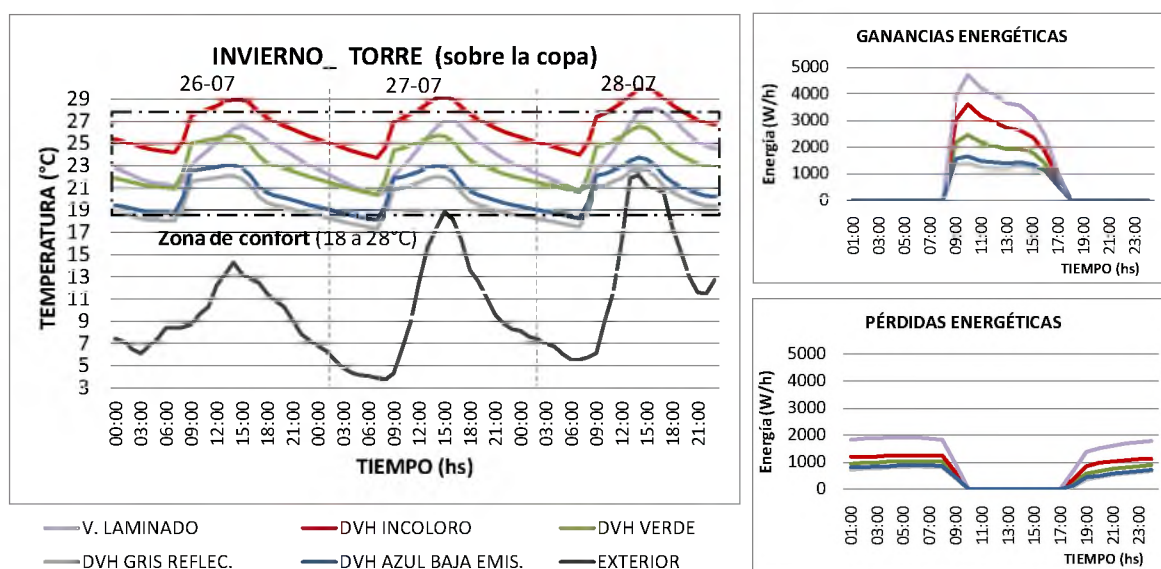


Figura V.18. Temperaturas interiores y ganancias y pérdidas energéticas de los vidrios evaluados en invierno en la Torre

### V.3.2. COMPARACIÓN DE VIVIENDAS EXISTENTES Y MEJORADAS

Se comparan los resultados térmicos de las auditorías realizadas (*Capítulo IV*) con las mejoras de la materialidad aislando la incidencia del usuario y sin la influencia de medios mecánicos de climatización.

Asimismo, para poder obtener los consumos de los casos mejorados, el análisis se complementa con simulaciones de los requerimientos energéticos con termostatos de 20°C y 25°C para invierno y verano respectivamente.

#### V.3.2.1. EDIFICIO MÁSSICO

- *Envolverte opaca:*
  - Ladrillo macizo (0,25 m) con aislamiento de poliuretano expandido (0,05 m)
  - $K=0,78 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- *Envolverte trasparente:*
  - DVH (6 mm) con cara interior de baja emisividad
  - $K=1,80 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

**Bajo la copa** en verano el caso mejorado logra disminuciones de 3,50°C promedio respecto a las temperaturas reales auditadas, encontrándose dentro del rango de confort. Respecto a los consumos para enfriamiento, la materialidad de la envolverte mejorada no implica requerimientos energéticos.

En invierno, con las mejoras propuestas, las temperaturas simuladas resultan menores a las reales en el orden de 2°C para la habitación y 7°C para el estar. En este caso (materialidad mejorada) la vivienda alcanzaría temperaturas interiores de 20°C con un consumo de 260 kWh mensuales en comparación con los 2000 kWh que consume el caso real, es decir, las disminuciones energéticas serían del orden del 87% (ver *Figura V.19* y *Tabla V.9*).

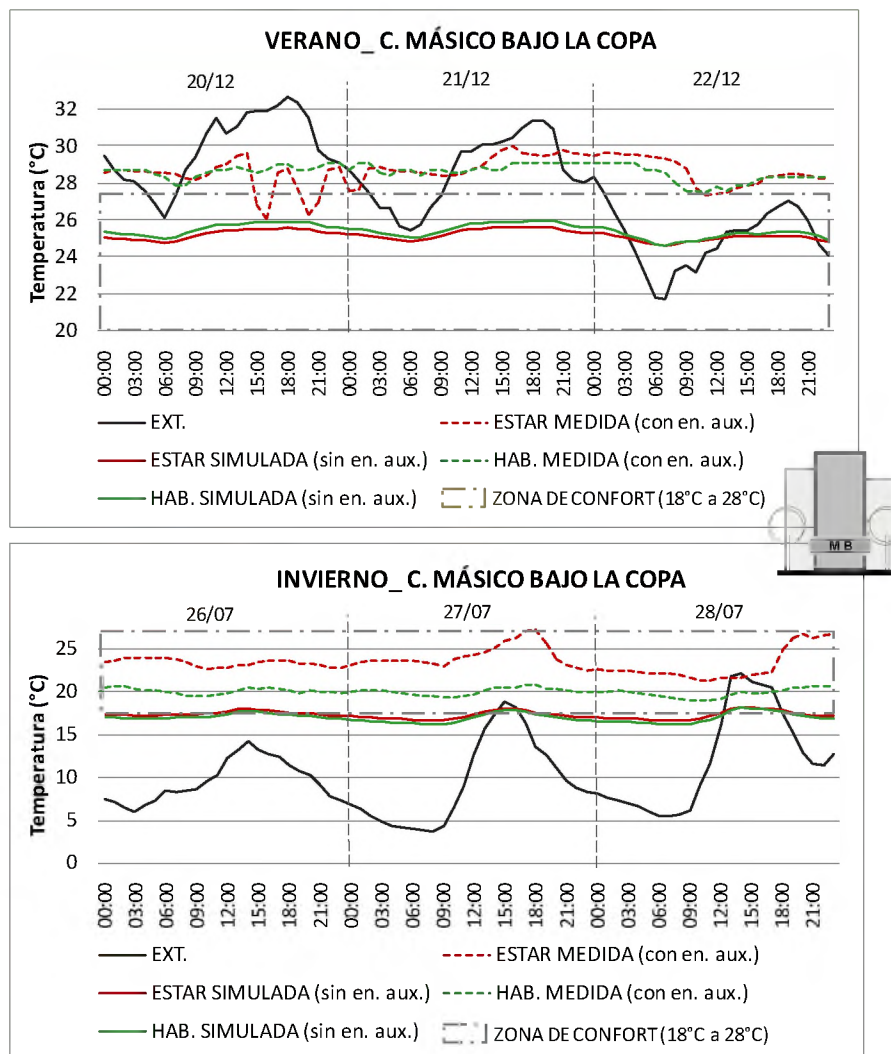
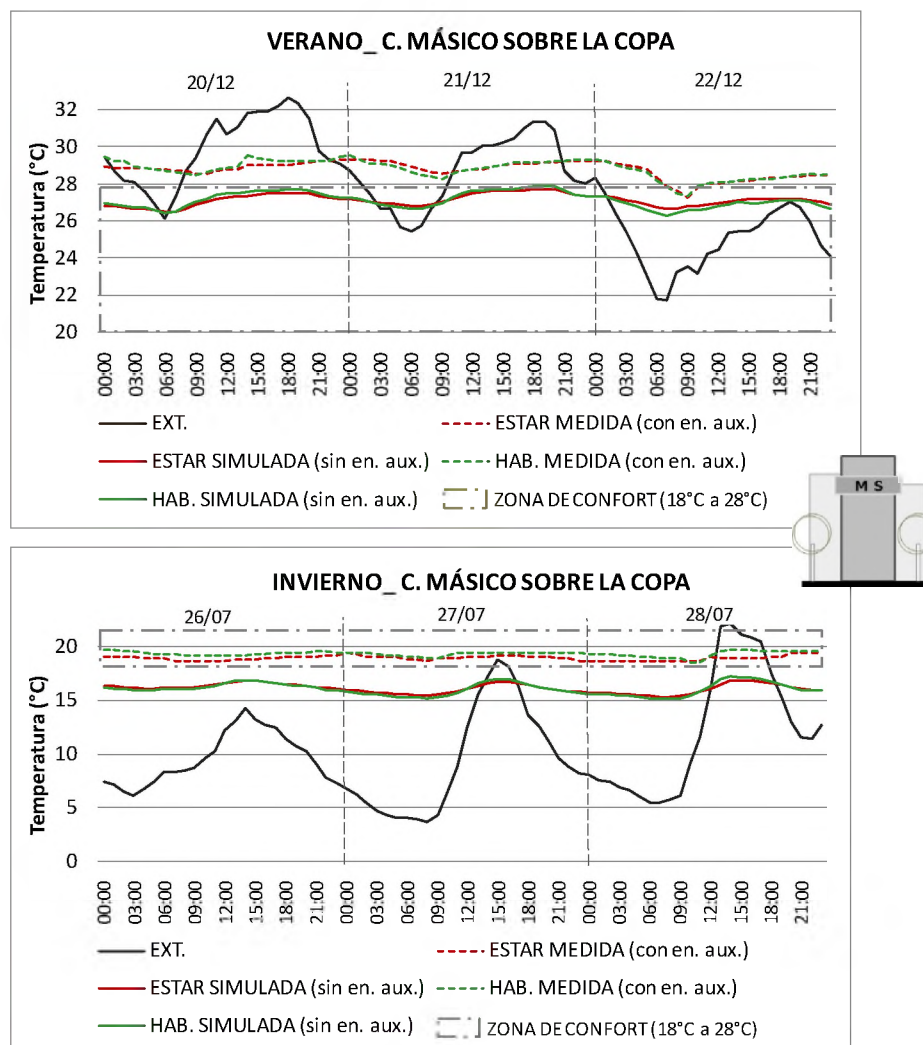


Figura V.19. Mejoras térmicas interiores mediante la modificación de la materialidad de la envolvente del caso másico bajo la copa

**Sobre la copa** en verano el caso mejorado presenta temperaturas interiores 2°C menores a las reales auditadas. Teniendo en cuenta que el caso existente cuenta con un consumo energético para climatización de 38 kWh mensuales, el caso mejorado alcanzaría temperaturas de confort (28°C) con un 75% menos de consumos energéticos.

En invierno con las mejoras propuestas las temperaturas simuladas resultan menores a las reales en el orden de los 2°C en las máximas y 3,50°C en las mínimas, por lo que no alcanzan a encontrarse dentro de los rangos de confort. Sin embargo, para alcanzar temperaturas interiores de 20°C, el caso mejorado requiere de 336 kWh mensuales, mientras que el caso existente

consume 595 Kwh mensuales logrando una temperatura media de 19°C, es decir, las disminuciones energéticas serían del orden del 44% (ver *Figura V.20* y *Tabla V.9*).



*Figura V.20.* Mejoras térmicas interiores mediante la modificación de la materialidad de la envolvente del caso másico bajo la copa

### V.3.2.2.EDIFICIO LIVIANO

- *Envolvente opaca:*
  - $H^{\circ}A^{\circ}(0,40 \text{ m})$
  - $K= 2,54 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- *Envolvente transparente:*
  - DVH (6 mm) con cara interior de baja emisividad
  - $K=1,80 \text{ W/m}^2 \text{ }^{\circ}\text{C}$

**Bajo la copa** en verano el caso mejorado logra temperaturas similares y hasta 2°C menores (en las máximas del estar) respecto al caso existente, prácticamente sin el uso de medios mecánicos de enfriamiento. Las disminuciones energéticas obtenidas son del orden del 93%.

En invierno con las mejoras propuestas las temperaturas simuladas resultan menores a las reales en el orden de los 2°C promedio en el estar y 4°C en la habitación. De todas maneras el caso simulado logra temperaturas de confort (mayores a 20°C), por lo que las disminuciones energéticas resultan del 99% (ver *Figura V.21* y *Tabla V.9*).

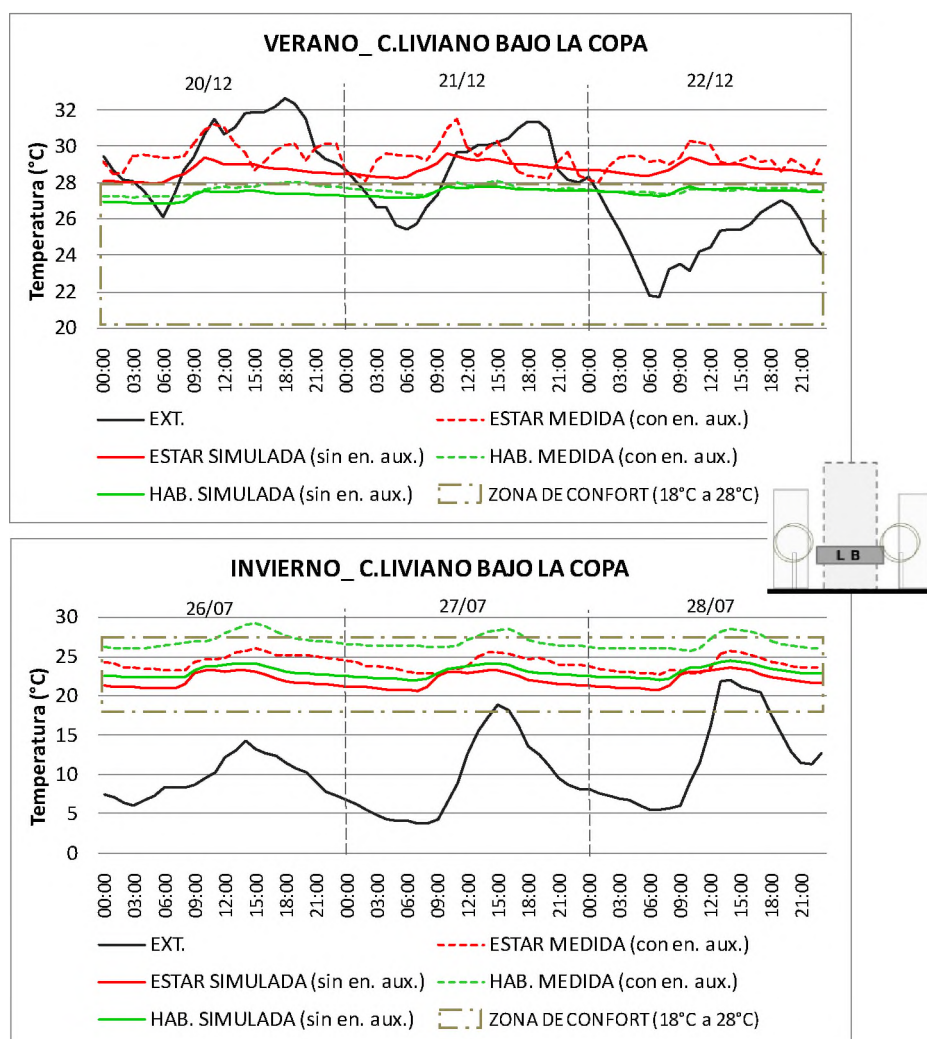


Figura V.21. Mejoras térmicas interiores mediante la modificación de la materialidad de la envolvente del caso liviano bajo la copa

**Sobre la copa** en verano el caso mejorado cuenta con temperaturas interiores por encima de las medidas 1°C en promedio para el estar y 1,5°C promedio para la habitación. Sin embargo, el caso existente cuenta con un consumo energético para enfriamiento de 265 kWh mensuales sobrepasando el rango de confort, mientras que el caso mejorado muestra consumos de 65 Kwh mensuales logrando una temperatura media de 25°C, es decir que se logran disminuciones energéticas del orden del 75%.

En invierno, si bien el caso mejorado cuenta con temperaturas del orden de los 3°C menores al caso existente, las mejoras en la materialidad implican temperaturas de confort (mayores a 20°C), con disminuciones energéticas del 93% (ver Figura V.22 y Tabla V.9).

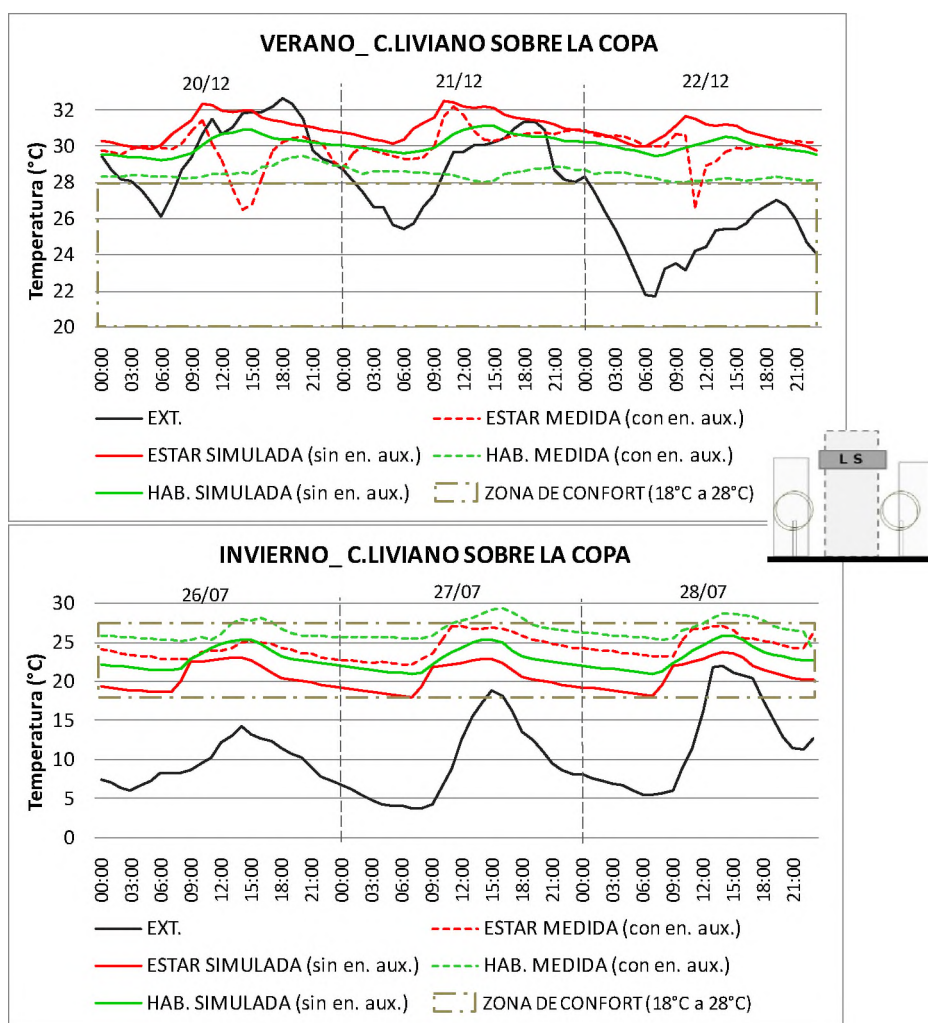


Figura V.22. Mejoras térmicas interiores mediante la modificación de la materialidad de la envolvente del caso liviano sobre la copa

En la Figura V.23 se presentan los consumos mensuales simulados para climatización (kWh) con termostatos fijos de 25°C en verano y 20°C en invierno, en comparación con los reales relevados. Y en la Tabla V.9 se muestran dichos consumos junto a las disminuciones energéticas obtenidas en porcentajes (%).

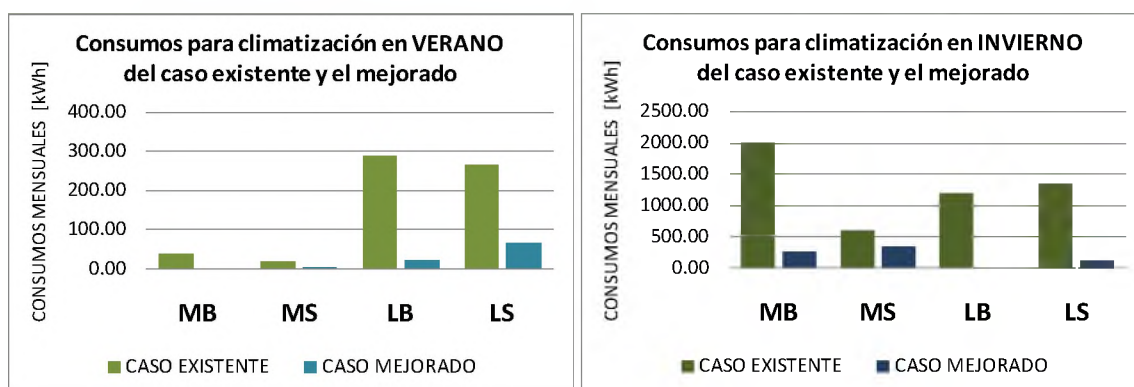


Figura V.23. Consumos mensuales para climatización para invierno (gas) y verano (electricidad) en los casos másico y liviano existentes y mejorados

| CONSUMOS MENSUALES CASOS REALES Y MEJORADOS |                 |                |                   |                 |                |                   |
|---------------------------------------------|-----------------|----------------|-------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| Casos                                       | VERANO          |                |                   | INVIERNO        |                |                   |
|                                             | Existente [kWh] | Mejorado [kWh] | Disminuciones [%] | Existente [kWh] | Mejorado [kWh] | Disminuciones [%] |
| MB                                          | 37.83           | 0.00           | 100               | 1994.76         | 259.04         | 87                |
| MS                                          | 16.25           | 3.54           | 75                | 595.08          | 336.14         | 44                |
| LB                                          | 287.00          | 20.38          | 93                | 1181.25         | 0.12           | 99                |
| LS                                          | 265.00          | 65.55          | 75                | 1344.60         | 97.08          | 93                |

Tabla V.9. Comparación de consumos mensuales para climatización y porcentaje de reducción para invierno (gas) y verano (electricidad) en los casos másico y liviano existentes y mejorados

#### V.4. APLICACIÓN DE PROPUESTAS EN CASOS NUEVOS

Se evalúa la situación termo-energética de los casos con materialidad mejorada, sin la influencia del usuario, en las tipologías de *Basamento* y de *Torre retirada* en los niveles determinados en la metodología del presente capítulo: nivel de basamento, nivel bajo (1°), medio (5°) y alto (16°).

Respecto a las temperaturas exteriores cabe aclarar que en las figuras presentadas se realiza un promedio de referencia de las temperaturas utilizadas para cada nivel a fines de simplificar la lectura gráfica de los datos.

A fines de entender las diferencias por altura que resultan mediante el programa *Energy Plus* se simulan los coeficientes convectivos de las superficies exteriores de la envolvente (*Surface Exterior Convection Coefficient*). Para calcular el coeficiente de transferencia de calor exterior el simulador tiene en cuenta la rugosidad superficial de los materiales y la velocidad del viento, a partir de la siguiente ecuación:

$$h = D + EV_z + FV_z$$

Dónde:

$h$  = coeficiente de transferencia de calor

$V_z$  = velocidad del viento local calculado a la altura del centro de gravedad de superficie

$D, E, F$  = coeficientes de rugosidad del material<sup>6</sup>.

Las Figuras V.24 y V.25, muestran los coeficientes convectivos resultantes para las superficies expuestas al Norte en verano e invierno, para el caso másico y liviano. Los resultados demuestran que a medida que aumenta la altura, aumentan los coeficientes convectivos de la envolvente. Es decir, que mientras mayor convección haya en la superficie exterior de la envolvente, mayor será el grado de similitud de la temperatura interior respecto a la exterior, por ende los

---

<sup>6</sup>La correlación de rugosidad se toma de las Normas ASHRAE (ASHRAE, 1989)

departamentos que se encuentren a una altura superior a 30 metros del nivel de suelo contarán con temperaturas interiores más altas en verano y más bajas en invierno.

Asimismo, se observan mayores diferencias entre los niveles en verano respecto a las diferencias dadas en invierno. Las viviendas de los niveles inferiores (1° nivel) cuentan en verano con coeficientes entre un 40% y un 50% más bajos que los de los superiores (nivel 16). Mientras que en invierno las diferencias entre el 1° y el 16° nivel resultan del orden del 25% al 35%. Estas diferencias en las estaciones resultan acorde a la situación térmica de los espacios que se analizan a continuación. Las temperaturas interiores muestran mayores diferencias entre niveles en el verano (del orden del 20%) respecto a las del invierno (del orden del 10%).

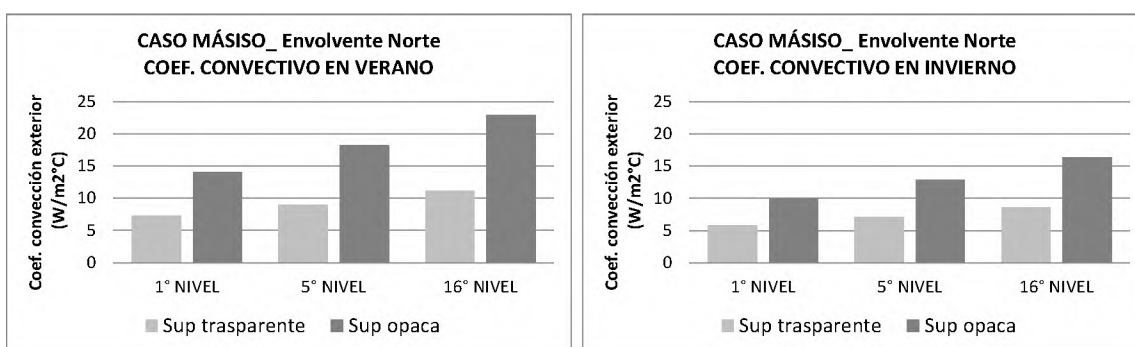


Figura V.24. Coeficientes convectivos para superficies expuestas al Norte en edificios máxicos

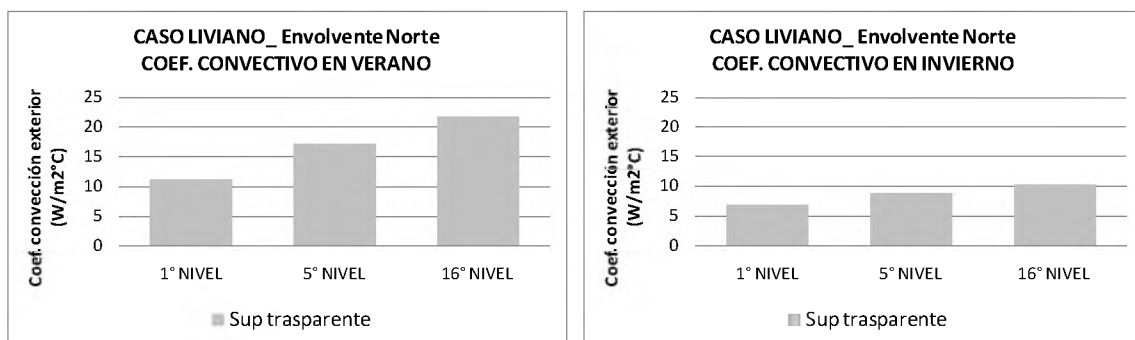


Figura V.25. Coeficientes convectivos para superficies expuestas al Norte en edificios livianos

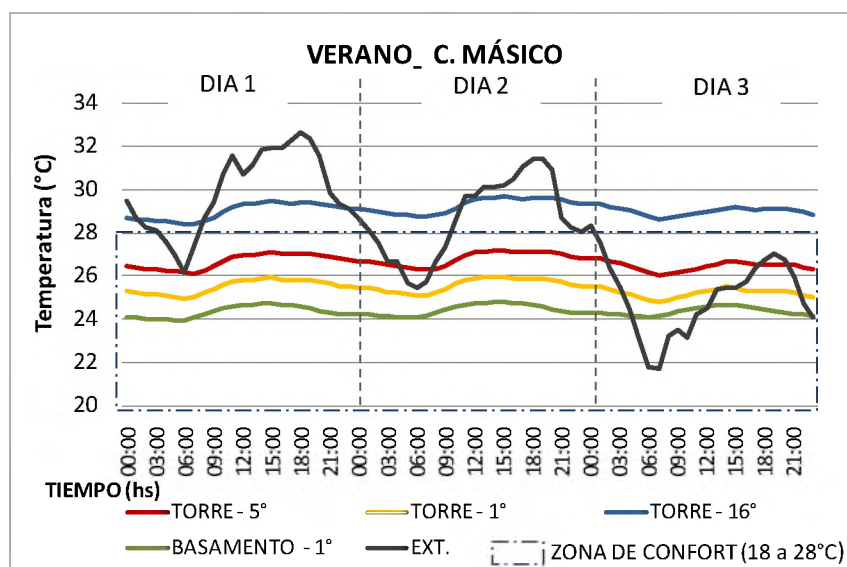
#### V.4.1. ALTURA

##### *a- CASO MÁSIKO:*

La comparación por nivel advierte en verano (*Figura V.26*) que las temperaturas más bajas corresponden a la vivienda bajo la copa de los árboles ubicada en el Basamento, en un rango que se encuentra entre los 23,80°C y 24,70°C. Se observa en la tipología de Torre retirada, que si bien todos los casos consienten un acceso pleno a la radiación, la exposición al intercambio convectivo resulta diferente por nivel, ascendiendo en relación al aumento de altura. El 1° nivel cuenta con temperaturas entre 24,80°C y 26°C, el 5° nivel entre 26°C y 27,20°C, y la unidad de vivienda del nivel 16, es el único caso en el que las temperaturas sobrepasan el rango de confort: estas se encuentran entre los 28,30°C y los 29,70°C. Se observa que la media de las temperaturas aumenta 2°C en función de la altura.

Las curvas de cada caso resultan muy similares: las amplitudes térmicas diarias coinciden en las unidades de vivienda de la tipología de Torre retirada ( $\Delta T$  diario promedio del orden de 1°C), mientras que en el caso bajo la protección de la arboleda las variaciones diarias son menores ( $\Delta T$  diario promedio de 0,70°C).

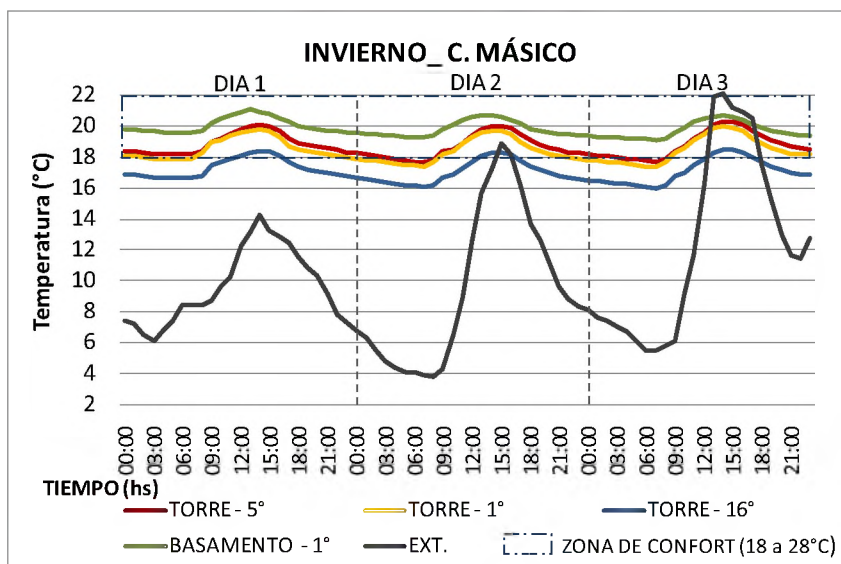
Los resultados demuestran la moderación micro-climática de la arboleda urbana que incide en las temperaturas interiores del Basamento, con diferencias del orden de los 5°C respecto a las viviendas de los niveles superiores.



*Figura V.26. Comportamientos térmicos de verano en unidades de vivienda a diferentes alturas en edificios másicos*

En invierno (*Figura V.27*) las mayores temperaturas se dan en la tipología de Basamento, en un rango de 19,10°C a 21°C debido a que las construcciones colindantes al Este y Oeste evitan las pérdidas térmicas. Luego, en orden descendente los departamentos del 5to nivel y 1er nivel de la tipología de Torre retirada se comportan de manera similar, con diferencias del orden de 0,50°C en rangos de temperaturas entre 17,50°C y 20,30°C. Por último, en el nivel superior (16) se presentan las temperaturas más bajas, con un rango de 16°C a 18,50°C.

En cuanto a las amplitudes térmicas diarias: en las unidades de vivienda de la tipología de Torre retirada son equivalentes -del orden de 2,50°C-, mientras que en el caso del Basamento son menores,  $\Delta T$  de 1,50°C diario promedio.



*Figura V.27.* Comportamientos térmicos de invierno en unidades de vivienda a diferentes alturas en edificios másicos

Asimismo, se simulan los requerimientos energéticos mensuales para enfriamiento (en verano) y calefacción (en invierno) con temperaturas constantes de 25°C y 20°C respectivamente.

En la *Figura V.28* se pueden ver los resultados, que muestran en verano requerimientos energéticos acordes a las temperaturas resultantes: el nivel 16 es el que mayores valores presenta, de 250 kWh mensuales, el del 5° nivel requiere 113 kWh, el del 1° nivel 8 kWh, mientras que en el Basamento no se requieren consumos para enfriamiento.

En invierno, para mantener una temperatura constante de 20°C, el caso que mayores consumos presenta es el del 16° nivel, con 322 kWh mensuales, luego el del nivel 5 con 263 kWh, y el

departamento del 1° nivel requiere 180 kWh. Por último, la vivienda de la tipología de Basamento los requerimientos energéticos disminuyen a 14 kWh mensuales.

Se observan mayores consumos en invierno que en verano. Las diferencias porcentuales entre ambas estaciones son en el Basamento del en el orden de 100%, y en la Torre del 95% en el 1° nivel, 65% en el 5° nivel, y del 5% en el nivel 16.

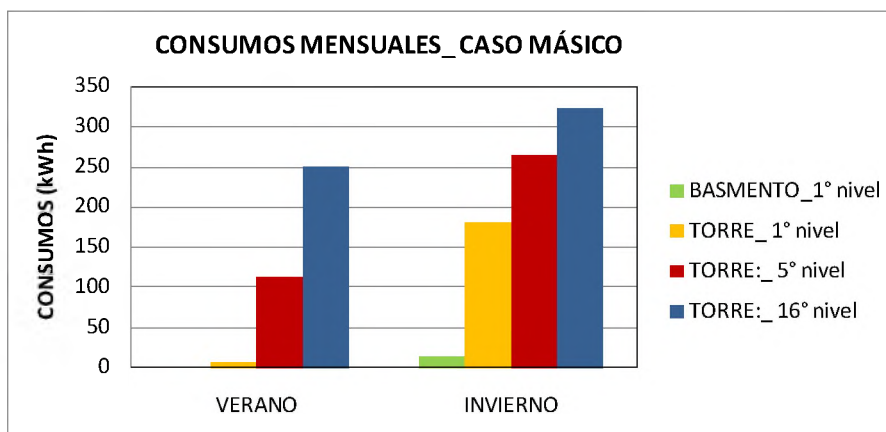


Figura V.28. Consumos mensuales para climatización en unidades de vivienda a diferentes alturas en edificios másicos

#### b- CASO LIVIANO:

Se puede ver en verano (Figura V.29) que el caso con temperaturas más altas es el 1° nivel de la tipología de Torre retirada con valores que se encuentran entre los 33,50°C y 30,20°C. Esto es debido a que la vivienda se encuentra sobre el nivel de planta baja (en la Figura V.25 se puede ver que las temperaturas de planta baja -en línea de puntos gris- alcanzan los 37°C), que cuenta con una envolvente transparente expuesta al Norte del 100% y al Este y Oeste en un 40%, por lo que el efecto conductivo de la planta baja hace que las temperaturas del 1° nivel resulten superiores al resto de los casos analizados.

En orden ascendente, continúa el nivel 16, con temperaturas 0,80°C menores al 1° nivel; luego el 5° nivel en un rango entre los 27,90°C y 29,60°C, y por último las temperaturas más bajas corresponden a la vivienda del Basamento, con valores entre los 26,50°C y los 27,80°C.

En todos los niveles de análisis las temperaturas máximas interiores se dan a las 10 hs, mientras que las máximas exteriores se registran a las 14hs. Esto se debe a la incidencia de la radiación solar en las horas de la mañana en espacios interiores con exposición de las superficies

transparentes al Nor-Este. En cuanto a las temperaturas mínimas interiores en todos los casos se dan entre las 5 y 6 de la mañana, lo cual coincide con las exteriores.

En cuanto a las amplitudes térmicas diarias los casos difieren: las temperaturas más extremas se dan en igual medida en los niveles 1 y 16 ( $\Delta T$  diario promedio de  $2,30^{\circ}\text{C}$ ), mientras que en el 5° nivel el  $\Delta T$  diario promedio es de  $1,20^{\circ}\text{C}$  y en el caso del Basamento de  $0,80^{\circ}\text{C}$ .

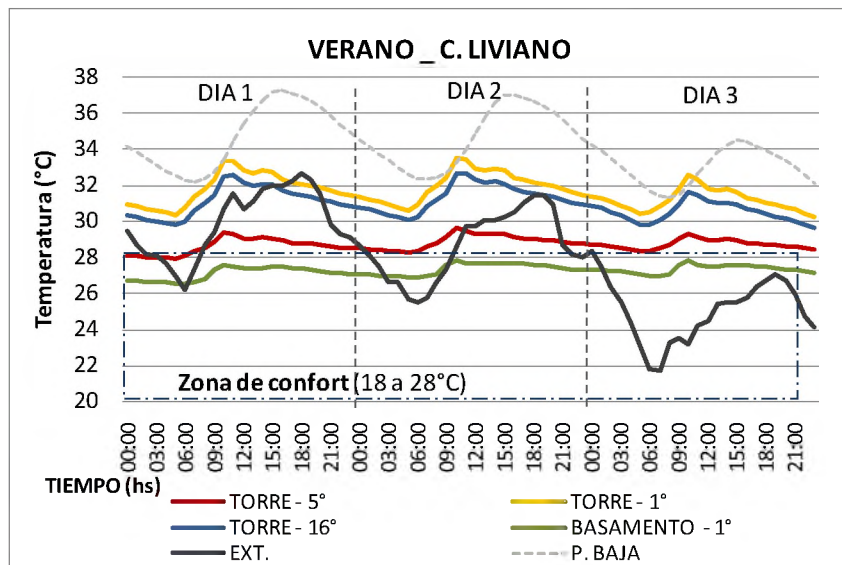


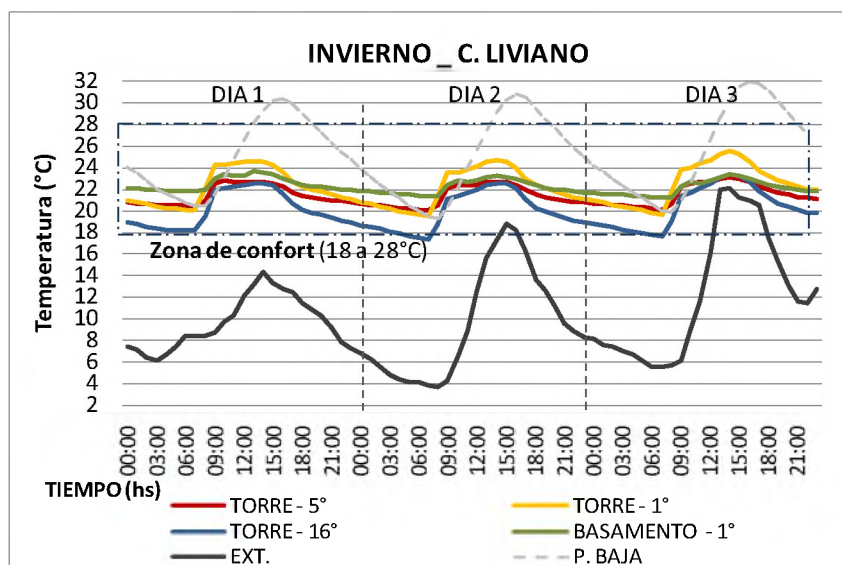
Figura V.29. Comportamientos térmicos de verano en unidades de vivienda a diferentes alturas en edificios livianos

En **invierno** (Figura V.30) todos los casos se encuentran dentro del rango de confort (entre  $18^{\circ}\text{C}$  y  $28^{\circ}\text{C}$ ), y a diferencia del verano, las curvas se entrecruzan. Las diferencias de temperatura entre casos advierte que las temperaturas más elevadas se dan en el 1° nivel de la tipología de Torre retirada, en un rango de  $25,40^{\circ}\text{C}$  a  $19,50^{\circ}\text{C}$ ; mientras que las temperaturas más bajas se dan en el nivel 16, entre  $17,40^{\circ}\text{C}$  y  $23,40^{\circ}\text{C}$ . Ambos casos son los que mayores amplitudes térmicas diarias presentan,  $\Delta T$  diario promedio de  $4,30^{\circ}\text{C}$ .

El Basamento cuenta con temperaturas entre  $23,30^{\circ}\text{C}$  y  $21,20^{\circ}\text{C}$ ; y el caso del 5° nivel entre  $22,90^{\circ}\text{C}$  y  $20,10^{\circ}\text{C}$ . Ambos departamentos son los que presentan temperaturas más estables (menor amplitud térmica diaria) en el orden de los  $2^{\circ}\text{C}$ .

Las mayores temperaturas en el caso del 1° nivel, se deben al efecto conductivo de la planta baja, en donde las temperaturas alcanzan los  $30^{\circ}\text{C}$  debido al efecto invernadero, es decir que la ganancia directa dada por la cantidad de superficie vidriada de la planta baja (línea de puntos gris

en *Figura V.26*) hace que las temperaturas del 1° nivel resulten superiores al resto de los casos analizados.



*Figura V.30.* Comportamientos térmicos de invierno en unidades de vivienda a diferentes alturas en edificios livianos

Se simulan los requerimientos energéticos mensuales para enfriamiento (en verano) y calefacción (en invierno) con temperaturas constantes de 25°C y 20°C respectivamente.

Los resultados muestran (*Figura V.31*) que en verano, para mantener una temperatura de 25°C, la vivienda con más requerimientos energéticos es la del 1° nivel de la tipología en Torre, del orden de los 316 kWh. Luego, la vivienda del nivel 16 con 290 kWh, la del nivel 5 con consumos de 279 kWh mensuales y por último la vivienda del Basamento con 103 kWh mensuales.

Mientras que en invierno, para mantener una temperatura constante de 20°C el departamento del nivel 16 requiere 122 kWh mensuales, el del 1° nivel, 105 kWh, y el del 1° nivel 79 kWh. En cuanto al departamento ubicado en el Basamento, la estabilidad en las temperaturas, hace que no requiera de medios mecánicos de climatización en invierno.

Los resultados muestran mayores consumos en verano que en invierno, con diferencias porcentuales en el Basamento del orden del 100%, y en la Torre del 67% en el 1° nivel, del 73% en el 5° nivel y del 55% en el nivel 16.

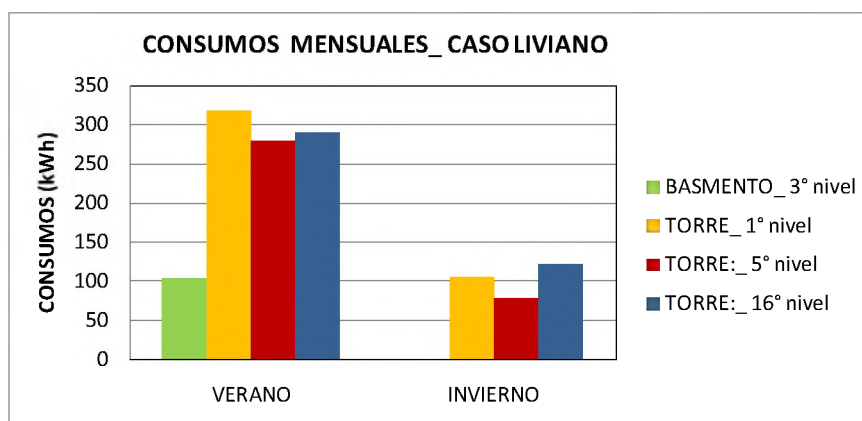


Figura V.31. Consumos mensuales para climatización en unidades de vivienda a diferentes alturas en edificios livianos

#### V.4.2. MATERIALIDAD

Se observa que las mejoras en los aspectos materiales de los edificios en estudio no atenúan las diferencias entre los casos másico y liviano, encontrando mayores temperaturas en el edificio liviano, con diferencias de hasta 6°C.

En la *Tabla V.10* se pueden ver las temperaturas máximas, mínimas y medias de cada unidad de vivienda en los diferentes niveles analizados para las tipologías en estudio en verano e invierno.

En verano las diferencias medias en el Basamento son del orden de los 3°C. En la tipología de Torre retirada, las mayores diferencias -del orden de los 6°C- se observan en el 1° nivel debido a la incidencia conductiva de la plata baja vidriada del edificio liviano; mientras que en el nivel medio (5°) y en el nivel superior (16°) las diferencias medias se encuentran en los 2°C.

En cuanto al invierno las diferencias en el Basamento son de 2,50°C, en el 1° nivel del la Torre del orden de 4°C, en el nivel medio (5°) de 2,50°C y en el nivel superior (16°) de 3°C.

| TEMPERATURAS MÁXIMAS, MÍNIMAS Y MEDIAS [°C] OBTENIDAS POR NIVELES EN LAS TIPOLOGÍAS EDILICIAS MÁSCA Y LIVIANA |                                                                                                         |          |                                                                                                 |          |                                                                                                   |          |                                                                                                   |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| TIPOLOGÍAS                                                                                                    | BASAMENTO Y TORRE                                                                                       |          | TORRE RETIRADA                                                                                  |          |                                                                                                   |          |                                                                                                   |          |
| NIVELES                                                                                                       | NIVEL DE BASAMENTO<br> |          | NIVEL BAJO<br> |          | NIVEL MEDIO<br> |          | NIVEL ALTO<br> |          |
| ESTACIÓN                                                                                                      | Verano                                                                                                  | Invierno | Verano                                                                                          | Invierno | Verano                                                                                            | Invierno | Verano                                                                                            | Invierno |
| EDIFICIO MÁSCO                                                                                                |                                                                                                         |          |                                                                                                 |          |                                                                                                   |          |                                                                                                   |          |
| Temp. Máxima [°C]                                                                                             | 24.80                                                                                                   | 21.10    | 26.00                                                                                           | 20.00    | 27.20                                                                                             | 20.30    | 29.70                                                                                             | 18.50    |
| Temp. Mínima [°C]                                                                                             | 23.80                                                                                                   | 19.10    | 24.80                                                                                           | 17.30    | 26.00                                                                                             | 17.60    | 28.30                                                                                             | 16.00    |
| Tem. Media [°C]                                                                                               | 24.30                                                                                                   | 19.80    | 25.40                                                                                           | 18.40    | 26.60                                                                                             | 18.70    | 29.00                                                                                             | 17.10    |
| EDIFICIO LIVIANO                                                                                              |                                                                                                         |          |                                                                                                 |          |                                                                                                   |          |                                                                                                   |          |
| Temp. Máxima [°C]                                                                                             | 27.80                                                                                                   | 23.30    | 33.50                                                                                           | 25.40    | 29.60                                                                                             | 22.90    | 32.60                                                                                             | 23.40    |
| Temp. Mínima [°C]                                                                                             | 26.50                                                                                                   | 21.20    | 30.20                                                                                           | 19.50    | 27.90                                                                                             | 20.10    | 29.60                                                                                             | 17.40    |
| Tem. Media [°C]                                                                                               | 27.20                                                                                                   | 22.20    | 31.60                                                                                           | 22.20    | 28.70                                                                                             | 21.40    | 30.90                                                                                             | 20.00    |

Tabla V.10. Temperaturas interiores máximas, mínimas y medias en verano e invierno en unidades de vivienda a diferentes alturas en edificios másicos y livianos

Respecto a la comparación energética en la *Figura V.32* se muestra los consumos requeridos por nivel en los casos másico y liviano. Las diferencias por cada caso advierten en verano consumos mayores en el liviano del orden del 97% para el 1° nivel, del 61% para el 5° y del 10% para el nivel 16. Mientras que en invierno los consumos resultan mayores en el másico en el orden del 42% para el 1° nivel, del 75% para el 5° y del 53% para el nivel 16.

La gran diferencia del 1° nivel (tanto en lo térmico como en lo energético, de casi el 100% en verano) se debe a lo comentado anteriormente respecto a la influencia conductiva de la planta baja vidriada del edificio liviano. En relación a los niveles medios y altos (5 y 16), ha de notarse que las diferencias entre los dos tipos de materialidad van disminuyendo a medida que los edificios crecen en altura y llegan a resultar mayormente parejos en el nivel superior (ver recuadro rojo en *Figura V.32*).

Es decir, que la condición extrema dada sobre la copa de los árboles, a alturas mayores a los 10 niveles (hasta el año 2000 en Mendoza no se construían alturas mayores) implica un acercamiento de las respuestas térmicas de edificios másicos y livianos.

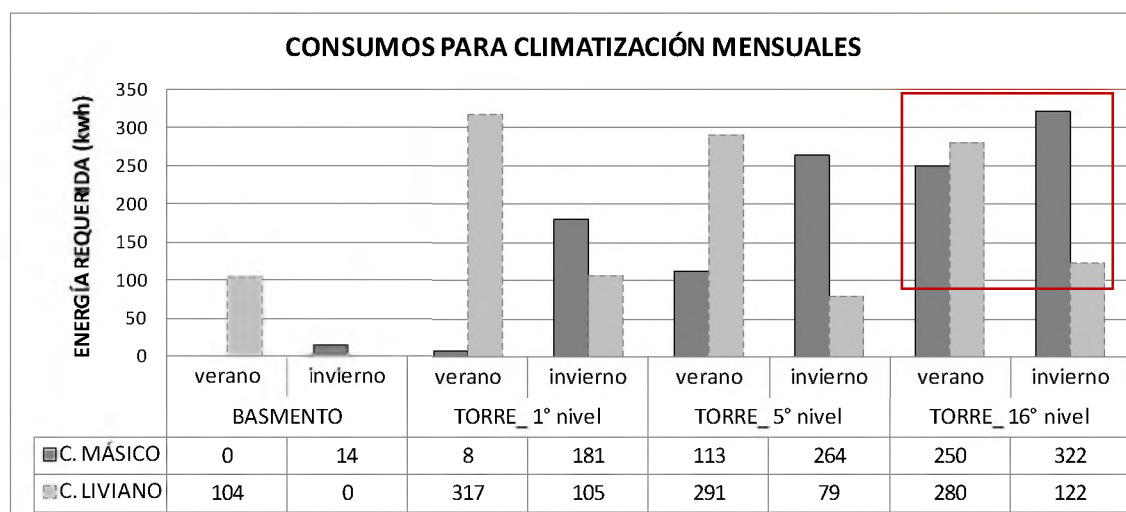


Figura V.32. Comparación de consumos mensuales para climatización en verano e invierno

#### V.4.3. ESTRATEGIAS DE CONTROL CLIMÁTICO

La segunda etapa de la metodología (ex ante) consta en evaluar las siguientes estrategias de control climático:

- i. **Elementos de control solar:** en todas las tipologías y niveles de estudio.

Asimismo en los casos de materialidad mejorada que se alejan en mayor medida de los rangos de confort se evalúan:

- ii. **Ventilación natural en verano:**

Edificio liviano: niveles 1° y 16°

Edificio másico: nivel 16°

- iii. **Ganancia solar directa en invierno:**

Edificio másico: nivel 16°

#### V.4.3.1. ELEMENTOS DE CONTROL SOLAR

Es sabido que las ganancias solares son un beneficio importante durante la estación invernal, no así en la época de verano, ya que sumado a las ganancias internas se producen sobrecalentamientos en el interior de los edificios provocando incomodidad a los usuarios. Por lo tanto, es esencial disponer protecciones solares que permitan evitar las ganancias excesivas por radiación solar y el consecuente sobrecalentamiento.

Los elementos de control solar se refieren en el presente trabajo a los sistemas opacos que se diseñan y construyen incorporados exteriormente a la piel del edificio, para interceptar toda la radiación directa y una parte considerable de la radiación difusa no deseada. Su función es regular el paso de dicha radiación a través de las partes transparentes de las edificaciones, y al encontrarse delante de la ventana disipan en el aire exterior la porción de energía que reciben. En diferentes latitudes y orientaciones el tamaño va a variar dependiendo del ángulo del sol.

Si estos dispositivos se formulan de acuerdo con la cambiante trayectoria solar estacional, se puede lograr el sombreado en la época de verano y soleamiento durante el invierno. Para lograr esto, es decir, para obtener un equilibrio del confort interno relativamente constante, deberá atenderse cuidadosamente a la localización, latitud y orientación, ya que todos estos factores juegan un papel en la formulación de un dispositivo efectivo y eficiente (Morillón Gálvez y Mejía Domínguez, 2004).

Con el fin de clasificar las protecciones se toman dos de las categorías planteadas por Baker (1993) en relación a los elementos rígidos y flexibles. Se distinguen elementos horizontales, verticales o una combinación de ambos.

Los elementos horizontales rígidos pueden ser balcones o aleros. Se trata de dispositivos que sobresalen de la parte superior de la ventana y obstruyen la componente vertical de la radiación solar. Se caracterizan según su ángulo de protección, formado por el plano horizontal en la base de la ventana y una línea imaginaria que une la parte más sobresaliente del balcón (o alero) con el punto más bajo de la ventana (*Figura V.33*).

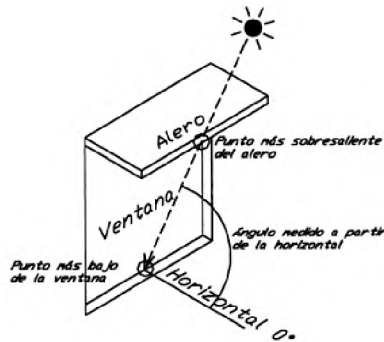


Figura V.33. Imagen extraída de “Modelo para diseño y evaluación del control solar en edificios” (Morillón Gálvez y Mejía Domínguez, 2004)

El estudio se enfoca en la incidencia de los balcones, debido a que en los edificios en altura se constituyen como una prolongación a modo de expansión, siendo espacios intermedios entre el ambiente interior y el exterior, resultando un nexo entre los mismos.

Los parasoles son dispositivos arquitectónicos que tienen el rol de controlar la radiación solar incidente hacia un espacio interior o intermedio, con el propósito de lograr un micro clima adecuado a las exigencias, fundamentalmente térmica y lumínica. Son dispositivos que varían su diseño en relación a la orientación solar, el cual puede convertirse en un elemento compositivo superficial sobre fachadas o ser un elemento arquitectónico conformador de espacios (Molina y Vedia el al, 2008).

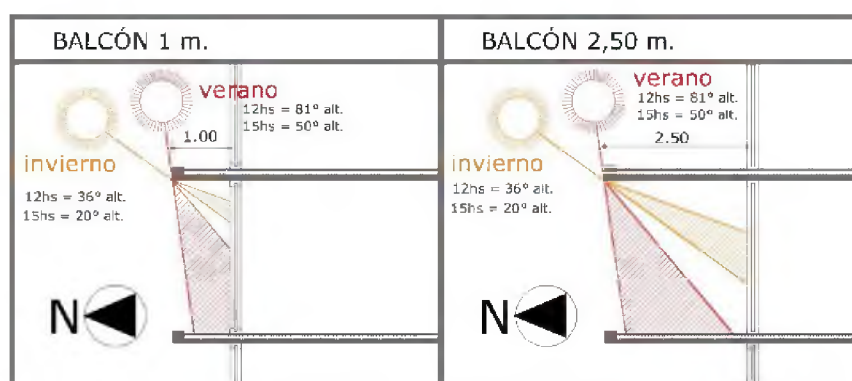
Las celosías se refieren a dispositivos formados por elementos fijos o móviles incorporados en el exterior del edificio, de disposición paralela a la fachada, y a una distancia variable de la misma. Pueden tener efectos también sobre la iluminación natural interior y la ventilación (ver imagen correspondiente en *Tabla V.11*).

En cuanto a los elementos flexibles se trata de los sistemas verticales u oblicuos que pueden cambiar su acción ambiental fácilmente dependiendo de las circunstancias climáticas (Serra Florensa, 1991). Obstruyen total o parcialmente la radiación directa y difusa y permiten la ventilación natural. Pueden ser plegadizos, corredizos, arrollables; y los materiales suelen ser lienzos textiles, sintéticos, aislantes o reflexivos.

## ELEMENTOS RÍGIDOS

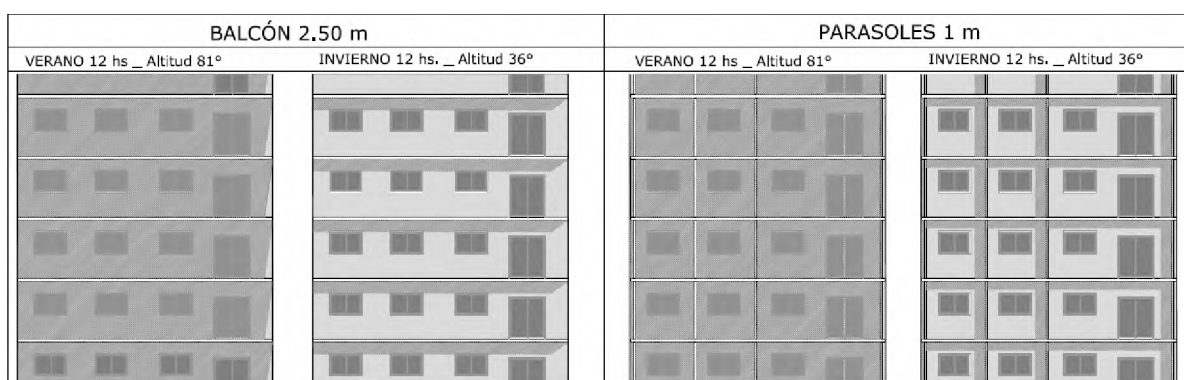
En función de comprender los intervalos de protección o sombreado, y de determinar las longitudes apropiadas, se analiza la inclinación de los rayos solares normales a la fachada para la ciudad de Mendoza, en las horas críticas diurnas (de 12hs a 15hs) y en relación a la variabilidad de dimensiones de los balcones.

En la *Figura V.34* se presentan los esquemas de la incidencia solar con protecciones horizontales: balcones de 1 m de profundidad (casos existentes) y de 2,50 m de profundidad (longitud óptima determinada).



*Figura V.34.* Incidencia solar en balcones de diferentes dimensiones orientados al Norte para verano e invierno

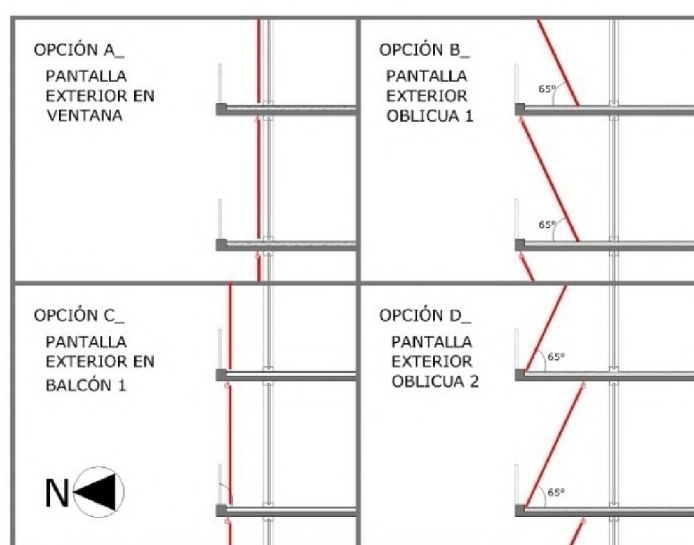
En la *Figura V.35* se muestran las sombras arrojadas en la fachada con el balcón de longitud definida (2,50 m) y con elementos verticales y horizontales de 1 m de profundidad para verano e invierno a las 12 hs.



*Figura V.35.* Sombras arrojadas en fachadas de edificios en altura con balcones y parasoles de diferentes dimensiones al mediodía del verano e invierno

## ELEMENTOS FLEXIBLES

Con el fin de determinar la mejor opción en relación al grado de protección solar se simulan diferentes alternativas de ubicación y posición de las pantallas flexibles aplicadas en edificios en altura. En la *Figura V.36* se presentan los gráficos de las distintas alternativas: A) pantalla exterior sobre el vidrio; B) pantalla exterior oblicua con inclinación hacia el interior; C) pantalla exterior separada del vidrio, sobre el fin del balcón; y D) pantalla exterior oblicua con inclinación hacia el exterior. Los resultados indican un mejor comportamiento térmico con el caso C, con diferencias menores: de 0,1°C respecto a los otros casos.



*Figura V.36.* Alternativas de disposición de pantallas flexibles en edificios en altura

En la *Tabla V.11* se muestran imágenes de los elementos a evaluar de protecciones compatibles con la tipología arquitectónica. Respecto a los elementos verticales se puede observar que se diferencian según la materialidad del edificio: para los edificios másicos se incorporan parasoles; y para los livianos celosías con cierto grado de transparencia dada la compatibilidad en la expresión arquitectónica (los parasoles le quitarían a este tipo de edificios la imagen liviana y transparente deseada).

| ELEMENTOS DE PROTECCIÓN COMPATIBLES CON LA TIPOLOGÍA ARQUITECTÓNICA |                                                                                     |                                                                                      |
|---------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                     | EDIFICIO IMAGEN MÁSCA                                                               | EDIFICIO IMAGEN LIVIANA                                                              |
| HORIZONTALES<br>RÍGIDOS                                             | BALCONES                                                                            | BALCONES                                                                             |
|                                                                     |    |    |
| VERTICALES Y<br>HORIZONTALES<br>RÍGIDOS                             | PARASOLES                                                                           | CELOSÍAS                                                                             |
|                                                                     |    |    |
| VERTICALES<br>FLEXIBLES                                             | PANTALLAS                                                                           | PANTALLAS                                                                            |
|                                                                     |  |  |

Tabla V.11. Elementos de protección solar compatibles con la tipología arquitectónica

Se simulan en los casos másico y liviano los comportamientos térmicos y los consumos energéticos en verano teniendo en cuenta una temperatura constante de 25°C mediante la aplicación de elementos rígidos y flexibles materializados con los dispositivos de sombra (*Building Shading*) del programa *Energy Plus*. Asimismo se calculan las reducciones energéticas en términos porcentuales (%) diferenciando el Basamento y los niveles en altura en la Torre: bajo, medio y alto.

#### V.4.3.1.1. EDIFICIOS MÁSCOS

La incorporación de elementos de protección rígidas (balcones o parasoles) en el **Basamento** produce reducciones térmicas máximas del orden de 0,50°C, mientras que el uso de elementos flexibles (pantallas verticales cerradas al 100%) disminuye las temperaturas interiores diurnas en el orden de los 0,20°C. Es decir que se obtienen reducciones totales de 0,70°C como máximo en el Basamento.

En cuanto a los aspectos energéticos en el Basamento, los resultados advierten en el caso sin protecciones, requerimientos para enfriamiento muy bajos (del orden de 0,10kWh/m<sup>2</sup>), por lo que mediante la incorporación de elementos de control solar no se requieren consumos para climatización.

En las viviendas de la tipología de **Torre retirada** las mayores reducciones, del orden de 1,50°C, se dan con parasoles y pantallas flexibles, mientras que con balcones y pantallas las reducciones son de hasta 1,20°C. Sin embargo, las disminuciones producidas por los elementos de control en el nivel superior (nivel 16) no son suficientes para que las temperaturas interiores se encuentren dentro del rango de confort en verano, por lo que resulta necesario implementar sistemas de refrescamiento pasivo, tema que se analiza en el próximo apartado.

En cuanto a las reducciones energéticas, con balcones de 2,5 m y pantallas verticales estas son del orden del 57% en el nivel bajo, del 62% para el nivel medio y 26% en el nivel alto. Mientras que con parasoles verticales y horizontales (1m) y pantallas flexibles estas son del 50% en el nivel bajo, 58% en el medio y 20% en el nivel alto. Se observa como en el nivel superior las disminuciones son menores que en el resto de los casos.

En la *Tabla V.12* se presentan los consumos requeridos para enfriamiento para los casos sin protección, con balcones y parasoles; y los porcentajes de ahorro energético con la incorporación de pantallas flexibles.

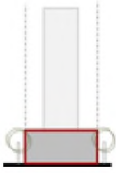
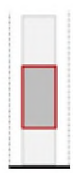
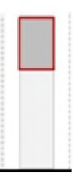
| EDIFICIOS MÁSCOS            |                                 |                                                                                   |                                                                                   |                                                                                     |                                                                                     |
|-----------------------------|---------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| TIPOLOGÍAS EDILICIAS        |                                 | BASAMENTO Y TORRE                                                                 | TORRE RETIRADA                                                                    |                                                                                     |                                                                                     |
| ELEMENTOS DE PROTECCIÓN     |                                 |  |  |  |  |
|                             |                                 | NIVEL DE BASAMENTO                                                                | NIVEL BAJO                                                                        | NIVEL MEDIO                                                                         | NIVEL ALTO                                                                          |
| CONSUMOS POR m <sup>2</sup> | SIN PROTECCIÓN                  | 0.10 kWh/m <sup>2</sup>                                                           | 0.80 kWh/m <sup>2</sup>                                                           | 2.30 kWh/m <sup>2</sup>                                                             | 4.60 kWh/m <sup>2</sup>                                                             |
|                             | BALCONES                        | 0.00 kWh/m <sup>2</sup>                                                           | 0.40 kWh/m <sup>2</sup>                                                           | 1.50 kWh/m <sup>2</sup>                                                             | 3.90 kWh/m <sup>2</sup>                                                             |
|                             | PARASOLES                       | 0.00 kWh/m <sup>2</sup>                                                           | 0.30 kWh/m <sup>2</sup>                                                           | 1.20 kWh/m <sup>2</sup>                                                             | 3.60 kWh/m <sup>2</sup>                                                             |
| AHORRO ENERGÉTICO (%)       | BALCONES + PANTALLAS FLEXIBLES  | 100%                                                                              | 65%                                                                               | 49%                                                                                 | 30%                                                                                 |
|                             | PARASOLES + PANTALLAS FLEXIBLES | 100%                                                                              | 75%                                                                               | 60%                                                                                 | 34%                                                                                 |

Tabla V.12. Consumos y ahorros energéticos en verano mediante la incorporación de elementos de protección solar en edificios máscos

#### V.4.3.1.2. EDIFICIOS LIVIANOS

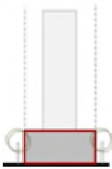
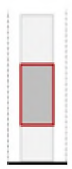
En el **Basamento** las reducciones térmicas en verano con balcones son de hasta de 0,80°C y con celosías de 0,50°C. La incorporación de pantallas verticales flexibles cerradas al 100% disminuye las temperaturas interiores diurnas en el orden de los 0,20°C.

En cuanto a los aspectos energéticos, en el caso sin protecciones los requerimientos para enfriamiento son de 2,70kWh/m<sup>2</sup>. Mediante la incorporación de balcones los consumos son de 2 kWh/m<sup>2</sup> y la combinación con elementos flexibles (pantallas) implica reducciones energéticas del 33%. Con celosías el consumo es de 2,10 kWh/m<sup>2</sup> y los ahorros del 22%.

En la tipología de **Torre retirada** las disminuciones térmicas son de hasta 3,50°C con balcones y pantallas y de hasta 3,20°C con celosías. Los resultados advierten que las temperaturas interiores en la torre, si bien disminuyen en consideración mediante el uso de elementos de control, sobrepasan hasta 5°C los rangos de confort para Mendoza (de 18 a 28°C), por lo que también resulta necesario implementar sistemas de refrescamiento pasivo.

En cuanto a las reducciones energéticas, con balcones de 2,5 m y pantallas verticales estas son del orden del 46% en el nivel bajo, del 47% para el nivel medio y 49% en el nivel alto. Mientras que con celosías estas son del 23% en el nivel bajo y 25% en los niveles medio y alto

En la *Tabla V.13* se presentan los consumos requeridos para enfriamiento para los casos sin protección, con balcones y celosías; y los porcentajes de ahorro energético con la incorporación de pantallas flexibles en el caso de contar con balcones.

| EDIFICIOS LIVIANOS          |                                |                                                                                    |                                                                                    |                                                                                     |                                                                                      |
|-----------------------------|--------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| TIPOLOGÍAS EDILICIAS        |                                | BASAMENTO Y TORRE                                                                  | TORRE RETIRADA                                                                     |                                                                                     |                                                                                      |
| ELEMENTOS DE PROTECCIÓN     |                                |  |  |  |  |
|                             |                                | NIVEL DE BASAMENTO                                                                 | NIVEL BAJO                                                                         | NIVEL MEDIO                                                                         | NIVEL ALTO                                                                           |
| CONSUMOS POR m <sup>2</sup> | SIN PROTECCIÓN                 | 2.70 kWh/m <sup>2</sup>                                                            | 11.70 kWh/m <sup>2</sup>                                                           | 8.90 kWh/m <sup>2</sup>                                                             | 10.90 kWh/m <sup>2</sup>                                                             |
|                             | BALCONES                       | 2.00 kWh/m <sup>2</sup>                                                            | 8.00 kWh/m <sup>2</sup>                                                            | 6.00 kWh/m <sup>2</sup>                                                             | 7.20 kWh/m <sup>2</sup>                                                              |
|                             | CELOSÍAS                       | 2.10 kWh/m <sup>2</sup>                                                            | 9.00 kWh/m <sup>2</sup>                                                            | 6.50 kWh/m <sup>2</sup>                                                             | 8.10 kWh/m <sup>2</sup>                                                              |
| AHORRO ENERGÉTICO (%)       | BALCONES + PANTALLAS FLEXIBLES | 40%                                                                                | 46%                                                                                | 47%                                                                                 | 49%                                                                                  |
|                             | CELOSÍAS                       | 22%                                                                                | 23%                                                                                | 26%                                                                                 | 25%                                                                                  |

*Tabla V.13.* Consumos y ahorros energéticos en verano mediante la incorporación de elementos de protección solar en edificios livianos

#### V.4.3.2. VENTILACIÓN NATURAL

El objeto del análisis es evaluar la incidencia en las condiciones térmicas interiores en verano mediante el uso apropiado por parte de los usuarios de las estrategias de refrescamiento pasivo (ventilación natural nocturna), aplicada en los casos de materialidad mejorada que no alcanzan rangos de confort: nivel **16° del caso másico** y niveles **1° y 16° del edificio liviano**.

Se tienen en cuenta las siguientes estrategias:

- Ventilación nocturna, sin aporte de sistemas de control de radiación
- Ventilación nocturna, mediante el uso de pantallas flexibles cerradas al 100%
- Ventilación nocturna, mediante el uso de pantallas flexibles cerradas al 50%

Se utiliza el modelo de E+: *Zone Ventilation: Wind and Stack with Open Area*, modelo diseñado para cálculos de ventilación simplificados, que utiliza una tasa de flujo de la ventilación natural controlada aplicado a la zona de abertura definida por el usuario y a través de la especificación de la temperatura mínima y máxima exterior. Se programa a través de los usos (*Schedules*) los horarios -hora a hora- en los cuales se producirá la ventilación. La ecuación utilizada para calcular la tasa de ventilación accionado por el viento es:

$$Q_w = C_w A_{\text{opening}} F_{\text{schedule}} V$$

Dónde:

$Q_w$  = caudal volumétrico de aire impulsado por el viento [ $\text{m}^3 / \text{s}$ ]

$C_w$  = eficacia de apertura (sin dimensiones)

$A_{\text{opening}}$  = área de apertura [ $\text{m}^2$ ]

$F_{\text{schedule}}$  = fracción de área abierta (valor programación definida por el usuario, sin dimensiones)

$V$  = velocidad del viento local [ $\text{m} / \text{s}$ ]

Se evalúan estrategias de ventilación, programadas desde las 24hs hasta las 7am, combinadas con elementos de control solar (pantallas flexibles cerradas al 50% y al 100%).

## V.4.3.2.1. EDIFICIOS MÁSICOS Y LIVIANOS

Se observa en todos los casos que las temperaturas interiores disminuyen en los horarios nocturnos en los que se produce la apertura de ventanas hasta coincidir con las exteriores. Estas son mayores a 20°C, por lo que se encuentran dentro del rango de confort. En cuanto a las temperaturas interiores diurnas, disminuyen debido al enfriamiento nocturno, en relación a la materialidad de los edificios en estudio:

En el **edificio másico** (Figura V.37) los resultados térmicos indican disminuciones diurnas máximas promedio de 0,80°C para el caso sin protección, de 0,90°C con pantallas cerradas al 50% y de 1°C cuando las pantallas están cerradas al 100% (ver Tabla V.14). Se observa que cuando se aplica sólo ventilación -sin protección- las disminuciones son semejantes a cuando a la ventilación se le suman las pantallas, con diferencias menores a 0,20°C. Las reducciones nocturnas varían en relación a la temperatura exterior, siendo en este caso de 3,80°C en promedio.

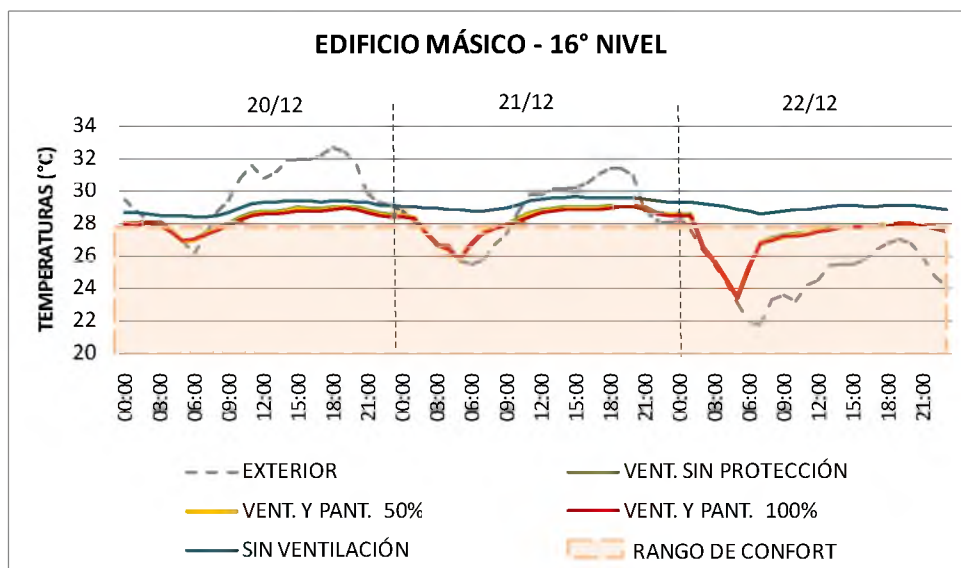
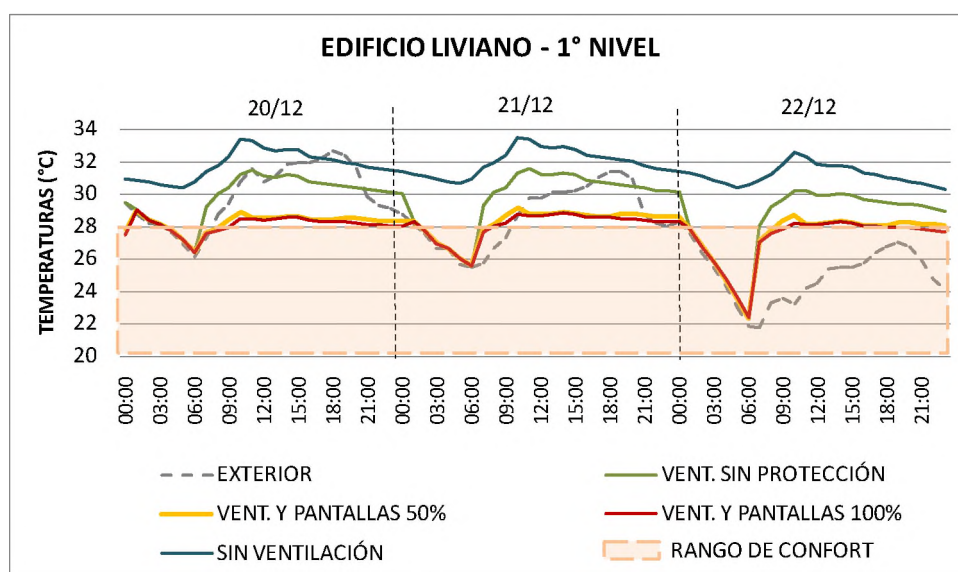


Figura V.37. Comportamiento térmico mediante la aplicación de ventilación natural y protecciones verticales en el nivel superior del caso másico

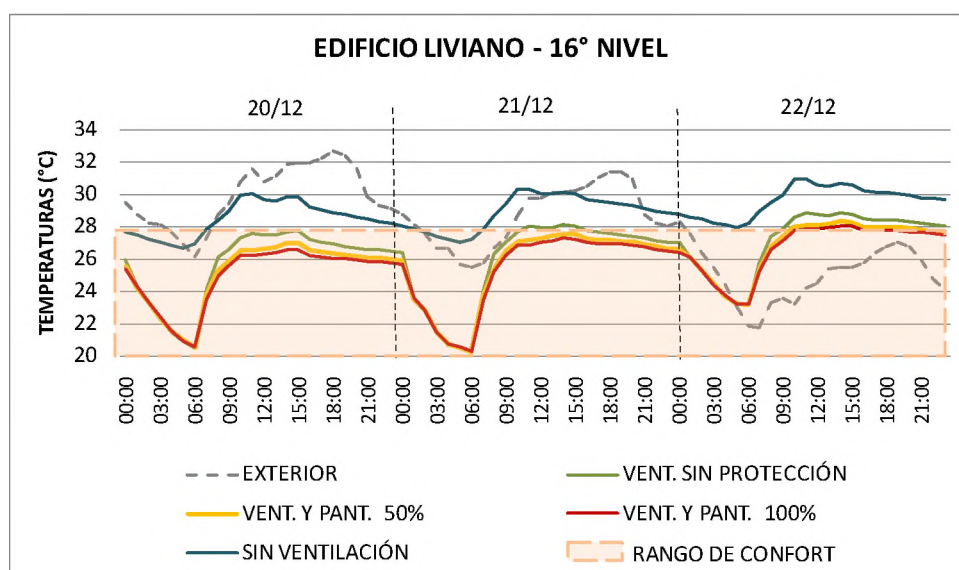
En el **edificio liviano**, las curvas de los casos analizados no resultan tan parejas como en el caso másico. En la vivienda del 1° nivel (Figura V.38) se advierten diferencias de hasta 3°C mediante la incorporación de protecciones. Las disminuciones diurnas cuando se aplica sólo ventilación (sin protección) son del orden de los 2,40°C, mientras que con el 50% de las protecciones resultan de

4,50°C y con pantallas al 100% (cerradas) estas alcanzan los 5°C en promedio. Las reducciones promedio nocturnas son de 6,20°C (ver *Tabla V.14*).

En el nivel 16 (*Figura V.39*) las disminuciones diurnas con ventilación (sin protección) son del orden de los 2°C en las máximas, mientras que cuando a la ventilación se le suma el 50% de las protecciones, la disminución es del orden de los 2,90°C, y cuando las pantallas están al 100% (cerradas) las disminuciones diurnas son de 3,20°C. Las reducciones promedio nocturnas son de 5,60°C.



*Figura V.38.* Comportamiento térmico mediante la aplicación de ventilación natural y protecciones verticales en el nivel inferior del caso liviano



*Figura V.39.* Comportamiento térmico mediante la aplicación de ventilación natural y protecciones verticales en el nivel superior del caso liviano

| REDUCCIONES MÁXIMAS DE TEMPERATURAS POR VENTILACIÓN Y PROTECCIONES |                |                  |                   |                      |
|--------------------------------------------------------------------|----------------|------------------|-------------------|----------------------|
|                                                                    | DIURNAS        |                  |                   | NOCTURNAS            |
| VENTILACIÓN APLICADA                                               | sin protección | pantallas al 50% | pantallas al 100% | = en todos los casos |
| CASO MÁSCO_ N16                                                    | 0.80 °C        | 0.90 °C          | 1.00 °C           | 3.80 °C              |
| CASO LIVIANO_ N16                                                  | 2.00 °C        | 2.90 °C          | 3.20 °C           | 5.60 °C              |
| CASO LIVIANO_ N1                                                   | 2.40 °C        | 4.50 °C          | 4.90 °C           | 6.20 °C              |

Tabla V.14. Reducciones térmicas máximas mediante refrescamiento pasivo y sistemas de protección solar

#### V.4.3.3. GANANCIA SOLAR DIRECTA

La ganancia solar pasiva o aporte directo es uno de los métodos más simples de calefacción solar. Una ventana orientada al Norte en el Hemisferio Sur es un captador solar muy eficiente.

*"Con un diseño apropiado un sistema de aporte directo puede alcanzar eficiencias del 30 al 75% en invierno. Eso se debe a que la mayor parte de la radiación solar que atraviesa el vidrio se utiliza para calefactar el espacio"* (Mazria, 1983)

Para aprovechar el calor captado y disminuir el riesgo de sobrecalentamientos en las zonas soleadas, es importante que cada local reciba la energía que necesita y que sea capaz de acumularla en las paredes interiores y el suelo, en función de su masa térmica (ver punto V.3.1. Materialidad). Si no hay inercia térmica, la superficie captadora debe ser inferior.

Es aconsejable proporcionar la altura de las aberturas a la profundidad del espacio. En la zona en estudio (32° LS) hay que considerar que la radiación solar que penetra en un local el 21 de Junio (invierno) al mediodía a través de una ventana a Norte, cubre aproximadamente una profundidad igual a 2,5-3 veces la altura de la ventana desde el suelo.

#### V.4.3.3.1. EDIFICIO MÁSIKO

El objeto del análisis es evaluar la incidencia en las condiciones térmicas interiores en invierno mediante el aumento de ganancia directa aplicada en el **nivel 16 del caso másico** de materialidad mejorada, vivienda que no alcanza a encontrarse dentro de los rangos de confort.

A fines de tener en cuenta el análisis combinado de las estrategias de control climático, el estudio de la incidencia en el aumento de ganancia directa se realiza con protecciones solares horizontales adecuadas al edificio másico. Las ventanas del caso en estudio se encuentran a 1m de suelo y cuentan con 0,90m de altura. Estas dimensiones resultan adecuadas teniendo en cuenta la profundidad de los balcones (ver *Figura V.12*), por lo que se trabaja aumentando el ancho de las ventanas.

La superficie acristalada recomendable para ganancia directa depende de diversos factores de diseño, carga térmica, clima, uso, etc. En términos generales, puede decirse que en climas templados debería situarse entre el 10 y el 20% de la superficie útil del local a calefaccionar (Ucar, 1988). El caso en estudio cuenta en el estar con un 15% de superficie transparente en relación al espacio interior, por lo que se aumentan las dimensiones del largo de las ventanas hasta alcanzar un 20%.

Los resultados demuestran que el aumento de ganancia directa provoca incrementos térmicos por hora máximos de 1,40°C, y medios de 0,90°C, alcanzando temperaturas interiores máximas de 20°C. En la *Figura V.40* se observa cómo al aumentar el área de ganancia directa se incrementa la fluctuación de la temperatura interior: el caso existente cuenta con un  $\Delta T$  promedio de 2,10°C y en el caso mejorado el  $\Delta T$  es de 2,90°C, situación que no sobrepasa los 5°C de amplitud térmica interior, que es el valor recomendado para mantener un ambiente confortable (Filippín et al., 2005).

En la *Tabla V.15* se muestran las temperaturas máximas y mínimas promedio y las temperaturas medias. Asimismo, la tabla incluye el cálculo de los consumos energéticos para calefacción manteniendo un termostato constante de 20°C, con lo cual el caso existente requiere un consumo de 10,10 kWh/m<sup>2</sup> y el caso mejorado de 2,90 kWh/m<sup>2</sup>, es decir que las reducciones energéticas resultan del orden del 70%.

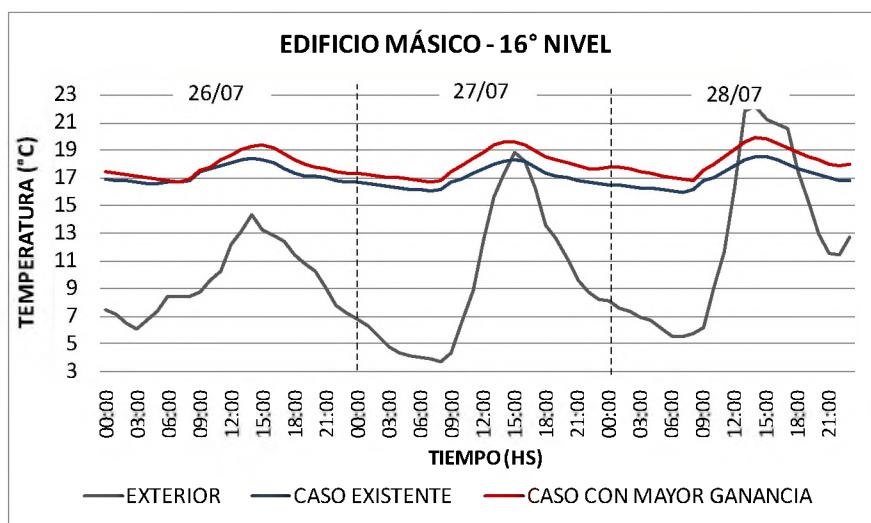


Figura V.40. Comportamiento térmico interior mediante el aumento de ganancia directa en el nivel superior del edificio másico

| MEJORAS TÉRMICAS Y ENERGÉTICAS MEDIANTE EL AUMENTO DE GANANCIA DIRECTA |                |                         |
|------------------------------------------------------------------------|----------------|-------------------------|
|                                                                        | Caso existente | Caso con mayor ganancia |
| RELACIÓN VENT-SUP.INT                                                  | 15%            | 20%                     |
| TEMP. MÁXIMA MEDIA[°C]                                                 | 18.30          | 19.60                   |
| TEMP. MÍNIMA MEDIA [°C]                                                | 16.20          | 16.80                   |
| TEMP. MEDIA [°C]                                                       | 17.10          | 18.00                   |
| CONSUMO [kWh/m2]                                                       | 10.10          | 2.90                    |
| INCREMENTOS TÉRMICOS MEDIOS [°C]                                       | 0.90 °C        |                         |
| REDUCCIONES ENERGÉTICAS [%]                                            | 71%            |                         |

Tabla V.15. Mejoras térmicas y energéticas mediante el aumento de ganancia directa

#### V.4. REFLEXIONES DEL CAPÍTULO V

El estudio a partir de simulaciones permitió trabajar con variables controladas en un entorno climático real, lo que posibilita evaluar situaciones que a veces son dificultosas de auditar en casos reales.

El ajuste de los modelos contemplando la influencia del usuario, permitió validar los casos entendiendo que, si bien el usuario es un actor importante en el comportamiento final del edificio no siempre armoniza generando situaciones adversas. Por esto, resulta importante aislar su influencia con el fin de rescatar la respuesta integral del edificio y sus estrategias convenientes (las constructivas) que intervienen silenciosamente a pesar de la incidencia de los habitantes.

Asimismo, la modificación en la morfología de los edificios permitió evaluar las diferencias en relación a la distinción en altura que delimita la arboleda urbana, y así ponderar los beneficios térmicos y energéticos interiores dados bajo la copa de los árboles en Ciudades-oasis.

El análisis de los casos reales, sin la influencia del usuario, demostró que tanto en edificios másicos como livianos los departamentos que se encuentran en el Basamento cuentan con temperaturas más controladas y estables debido a la protección a la radiación que brinda la arboleda urbana. En comparación con el comportamiento térmico interior de los departamentos en la Torre las temperaturas interiores en el Basamento son menores en verano y mayores en invierno con diferencias de hasta 6,7°C, y presentan menores amplitudes térmicas diarias.

Esto resulta acorde a los argumentos que hablan de una condición, bajo la copa de los árboles, fresca durante el día en verano ya que la radiación incidente es moderada por el follaje (Cantón et al., 2003); mientras que, durante la noche, las ramificaciones de los árboles impiden la visión del cielo y por lo tanto, reducen las posibilidades de enfriamiento por radiación, protegiendo a las construcciones del frío.

Respecto a la comparación de viviendas existentes y mejoradas (punto V.3.2.) mediante la aplicación de las propuestas de **materialidad** se obtuvieron importantes disminuciones energéticas asociadas al uso de las viviendas:

En **edificios mäsicos**, las mejoras en la materialidad (aislación en la envolvente opaca y DVH) implican, en las viviendas bajo la copa en verano, temperaturas dentro del rango de confort sin necesidad del uso de sistemas de acondicionamiento mecánico; y en invierno reducciones en los consumos para calefacción en el orden del 87%. En la vivienda sobre la copa, las reducciones energéticas obtenidas son del 75% y 44% para verano e invierno (con termostatos fijos de 25°C y 20°C respectivamente). El menor grado de mejora en el caso superior está asociado a un mejor comportamiento térmico de la vivienda real debido a las apropiadas condiciones de uso por parte de los habitantes. Los usuarios de la misma se diferencian al resto en cuanto a su capacidad de adaptación a las temperaturas bajas en invierno, y a un uso y gestión adecuados de los elementos flexibles de la envolvente en verano.

En cuanto al **caso liviano** se obtienen mejoras energéticas significativas mediante la modificación de la envolvente transparente (DVH) del orden del 95% en la vivienda inferior, tanto en verano como en invierno. Para el departamento sobre la copa las reducciones son del 75% en verano y 93% en invierno. En este caso las diferencias de las disminuciones no resultan tan grandes entre los niveles inferior y superior debido a que el edificio se encuentra retirado y el departamento inferior no cuenta con la permeabilidad a la radiación solar propia de las viviendas del Basamento.

Por otro lado cabe recalcar la siguiente distinción: estudios realizados en Mendoza del rendimiento térmico-energético en viviendas sociales obtienen consumos energéticos reales menores a los resultados obtenidos por cálculo. Esto se presume debido a que el usuario se ve imposibilitado de asumir el costo económico por el consumo energético que supondría mantener la vivienda en condiciones de confort (Mercado et al, 2010). Sin embargo, en el presente estudio, los resultados son inversos: los consumos calculados resultan menores a los reales (sobre todo en invierno). Esto es consecuencia del subsidio económico que ejerce el estado sobre el gas natural, que no permite que la población de clase media alta y los mismos organismos del estado perciban claramente la compleja situación de disponibilidad y uso desmedido del recurso.

En cuanto a la aplicación de propuestas en casos nuevos (punto V.4) se comparan los casos por niveles de altura y materialidad. Los resultados advierten que en el **Basamento** con materialidad mejorada, tanto para edificios mäsicos como livianos, se logran temperaturas dentro de los rangos de confort: entre 19,10°C a 23,80°C en invierno y de 24°C y 27,80°C en verano.

Respecto a las viviendas en la **Torre**, la situación resulta diferente en relación a la materialidad de la envolvente:

En el edificio másico las viviendas de los niveles bajos y medios (1ro y 5to) logran temperaturas dentro de los rangos de confort tanto en invierno como en verano. Sin embargo, en el nivel superior (16) las temperaturas se encuentran fuera de dicho rango, en el orden de los 2°C, excediendo los 28°C en verano y por debajo de los 18°C en invierno. Esto evidencia la situación riesgosa y mayormente extrema de las viviendas que se encuentran a mayor altura.

En cuanto al caso liviano los resultados advierten en invierno temperaturas interiores dentro del rango de confort (valores entre 18°C y 25°C) sin el uso de medios mecánicos de climatización. Es decir que con la materialidad transparente mejorada los sistemas de ganancia directa pueden lograr una gran eficiencia energética en invierno. Sin embargo, en verano el mayor porcentaje de superficie transparente en la envolvente del edificio resulta perjudicial si no se contemplan otros sistemas de control apropiados. Las temperaturas en verano en la Torre se encuentran por encima del rango de confort (28°C), llegando a temperaturas interiores de hasta 33,50°C, sobrepasando a las máximas exteriores (de 32,50°C). Esto se explica en relación a la condición constructiva del edificio: debido al considerable espesor de los muros de H°A° (0,40m) y a la baja transmitancia térmica del doble vidriado ( $K=1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), el coeficiente global de pérdidas es bajo, por lo que la energía proveniente de la ganancia solar directa se acumula en la masa térmica del edificio. Al no tener ventilación nocturna, esta energía no escapa rápidamente al exterior durante la noche, por lo que las temperaturas interiores permanecen altas. Por este motivo es necesario incorporar sistemas pasivos de control ambiental de refrescamiento y protección a la radiación.

En relación a las estrategias climáticas de **elementos de control solar**, se requieren sistemas de protección teniendo en cuenta la diferenciación en altura del basamento y la torre y en relación a la materialidad predominante de los edificios (másica y liviana).

Los resultados indican que en edificios orientados al Norte en el Basamento la moderación climática en verano dada por la arboleda urbana resulta considerable, por lo cual se puede pensar en elementos de control de menores dimensiones respecto a los necesarios en la los niveles superiores de la Torre.

Respecto a las **estrategias de ventilación** los resultados muestran reducciones térmicas diurnas que varían en relación a la materialidad de la envolvente y al grado de protección de las pantallas verticales. Durante la noche se logra la mayor reducción pasiva posible, logrando temperaturas interiores entre 20°C y 24°C, dentro de los rangos de confort.

En los casos másicos, las reducciones producidas por ventilación nocturna implican disminuciones (del orden de 0,90°C) en los niveles altos. La incidencia térmica interior de los elementos de protección a la radiación, en este tipo de envolvente es menor, por lo que no existen diferencias considerables con la aplicación de pantallas. No obstante, la estrategia de ventilación natural resulta apropiada, dado que las disminuciones térmicas logradas se acercan a los rangos de confort.

En los casos livianos, la ventilación nocturna resulta una estrategia importante, debido a que las temperaturas interiores disminuyen considerablemente (hasta 2,5°C sin la incorporación de protecciones). Asimismo, si se observan mejoras con pantallas. Sin embargo, en este nivel no se alcanzan temperaturas de confort, sobrepasando los 28°C máximos en 2°C.

Si bien, mediante las estrategias de ventilación nocturna en verano se logran importantes mejoras térmicas, queda en evidencia que edificios de estas características (construcciones con más del 50% de su envolvente transparente o translúcida) no alcanzan rangos de confort sin el uso de medios mecánicos de climatización.

Por último, se aplican estrategias de **ganancia solar pasiva** en invierno en el nivel 16 del edificio másico. Los resultados demuestran que el aumento del porcentaje de la superficie de ventanas provoca incrementos térmicos medios de casi 1°C y reducciones energéticas del orden del 70%.

## V.5. REFERENCIAS AL CAPITULO V

- BAKER, N., FANCHIOTTI, A., STEEMERS, K. (1993). *Daylighting in Architecture*. A European Reference Book. Comisión Europea DG XII. London: Ed. James & James. Pp. 2.1.
- CANTÓN, A. et al. (2003). Assessing the solar resource in forested urban environments. *Architectural Science Review*.
- DEPARTAMENT OF ENERGY (2009). Building Energy software Tools. Recuperado de [http://www.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/](http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/)[Citado el: 6 de Mayo de 2013.]
- FLORES, S., LESINO, G., SARAIVA, L., y ALÍ DE SARAIVA, D. (2005). *SIMEDIF para Windows*. Salta: INENCO – unas, 1984. Versión 2005.
- FILIPPÍN, C., FLORES LARSEN, S. (2005). Comportamiento térmico de invierno en una vivienda convencional en condiciones reales de uso. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 9. 67-72.
- GANEM, C. (2006). *Rehabilitación ambiental de la envolvente de viviendas. El caso de Mendoza*. Tesis Doctoral. Universidad politécnica de Cataluña. Barcelona.
- GIVONI, B. (1991). Comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy And Building*.
- KOHLER, N. y HASSLER (2002). U.The Building Stock as a Research Object. *Building, Research & Information*. Vol.30, N°4. United Kingdom: Spon Press – Taylor & Francis Group.
- MAZRIA, E. (1983). *El libro de la energía solar pasiva*. Barcelona: Gustavo Gili S.A.
- MOLINA y VEDIA J., SAN JUAN G. (2008). *Sustentabilidad ambiental. Conceptualización*. Ficha teórica N°1. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de La Plata.
- MOLINA y VEDIA J., SAN JUAN G. (2008). *Control solar en la Arquitectura. Estudios de casos*. Ficha teórica N°5. Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de La Plata.
- MORILLÓN GALVEZ D. y MEJÍA DOMINGUEZ, D. (2004). Modelo para diseño y evaluación del control solar en edificios. Instituto de Ingeniería UNAM, SID/645.
- Normas IRAM 11.549 (2002). Aislamiento térmico de edificios. Tercera edición 2002-04-12.
- SCARDUELLI, F.A., WESTPHAL, F. S. y LAMBERTS, R. (2009). Aplicacao do Método BESTEST no Energypus para treinamento em simulacao do desempenho térmico de edificacoes. s.l. : ENCAC-ENLACAC. pp. 1796-1805.

SERRA FLORENSA, R. y COCH RAURA, H. (1991). *Arquitectura y Energía Natural*. Barcelona: Edicions UPC.

UCAR, M.J. (1988). *Control energético mediante el diseño de la arquitectura. Emplazamiento. Parámetros de ubicación y entorno*. Arquitectura Bioclimática. Proyectos y conferencia realizados en las sedes de los Colegios de Arquitectos de Zaragoza, Bilbao, Valencia y Barcelona. Recuperado de <http://www.coac.net/mediambient/Life/l3/l3210.htm>.

## **VI. CONCLUSIONES**

## VI.1. CONCLUSIONES

La presente investigación orientó su análisis a la sustentabilidad de edificios en altura en Ciudades-oasis, en relación a la eficiencia energética y a la habitabilidad de viviendas en el caso específico de la ciudad de Mendoza.

Se realizaron auditorías en dos edificios residenciales representativos en cuanto a su materialidad másica y liviana, contando con la posibilidad de acceder a dos departamentos en cada edificio, iguales en su diseño y ubicados en distintas alturas en niveles bajos, medios y altos.

La metodología permitió articular escenarios subjetivos (análisis cualitativo en relación a la percepción de confort y uso de los espacios) con condiciones objetivas (diagnóstico térmico y energético a partir de auditorías). Las mediciones efectuadas fueron utilizadas para validar modelos de simulación dinámica. Estos modelos posibilitaron estimar las diferencias termo-energéticas dadas en relación a las variables de diseño edilicio y constructivo, aislando las incidencias de los usuarios.

Asimismo, el modelo permitió valorar distintas propuestas de mejoras materiales, lo cual incluyó el análisis de estrategias de conservación de energía. Los resultados termo-energéticos de los casos con materialidad óptima se analizaron en comparación con los casos existentes. Finalmente, las propuestas para nuevos edificios se completaron ampliando el número de casos, contemplando las siguientes estrategias de control climático: elementos de protecciones solares aplicados en todas las viviendas en estudio, y estrategias de refrescamiento natural y ganancia solar pasivas en los casos que no alcanzaban rangos de confort.

Los estudios han permitido demostrar las hipótesis planteadas al inicio del trabajo, orientadas en dos aspectos que indican:

- A. La sustentabilidad de los edificios en altura en la ciudad de Mendoza está condicionada a la respuesta de la materialidad de la envolvente -pudiendo ser ésta predominantemente másica o liviana- así como a las formas de gestión en el uso de las viviendas por parte de los habitantes.

- B. En el contexto de “Ciudad-oasis” se debe atender a la condición diferente de los estratos urbanos -con y sin arbolado- rasgo dominante de su estructura. De este modo resulta relevante un tratamiento específico de envolvente en relación a tal diferenciación en altura, en función de obtener resultados que tiendan a la habitabilidad y a un lenguaje edilicio equilibrado.

La **hipótesis A** se verifica, indicando que la sustentabilidad de los edificios en altura en Ciudades-oasis, se encuentra relacionada a la materialidad de la envolvente según su grado de liviandad y masividad, y a la incidencia del habitante en la gestión ambientalmente responsable de la vivienda.

En relación a la **hipótesis B**, se advierte la moderación climática de la arboleda urbana en las mejoras de las condiciones termo-energéticas de las viviendas que se encuentran bajo su influencia. Los resultados obtenidos indican que la diferenciación en altura de la envolvente debe estar pensada en función de la materialidad, orientación y morfología, tendiendo siempre a un equilibrio y coherencia en el diseño.

El desarrollo de las conclusiones se presenta de acuerdo a considerar las principales variables involucradas en el trabajo –morfología y materialidad- atendiendo en todos los casos a la diferenciación en altura; y a la propuesta de pautas para la construcción de nuevos edificios.

#### VI.1.1. MORFOLOGÍA

Teniendo en cuenta las tipologías morfológicas que regula el Código de Edificación actual, se considera al Basamento edilicio como una estrategia contundente desde el punto de vista ambiental.

Las unidades de vivienda que se encuentran en el mismo aprovechan la protección que brinda la arboleda urbana a la radiación incidente, dando como resultado temperaturas más bajas en verano, con disminuciones térmicas del orden de 4°C en edificios másicos y de 6°C en edificios livianos.

Asimismo, en invierno las temperaturas son más elevadas en el Basamento debido a la menor cantidad de superficie de envolvente expuesta y a la protección de las edificaciones colindantes. En consecuencia, la necesidad de contar con energía auxiliar resulta considerablemente menor en las unidades de vivienda que se encuentran en el Basamento: los consumos energéticos disminuyen entre un 70% y un 100%.

Los estudios realizados indican que la obligatoriedad de la construcción del **Basamento** en la *Zona Central 1 y 2* del Área Metropolitana de Mendoza (planteada en la última modificación al Código) resulta favorable en función del cuidado de aspectos edilicios y urbanos. En cuanto a éstos últimos, la importancia de priorizar el Basamento radica en mantener la homogeneidad edilicia en cuanto a las alturas de las construcciones que se desarrollan sobre los límites del terreno, lo cual se promueve fundamentalmente para proteger el arbolado, que en la ciudad de Mendoza posee características de valor ambiental.

No obstante, la situación actual tiende a la construcción de edificios más altos y de perímetro libre, y esto está abalado por la normativa de edificación en algunas zonas residenciales, permitiendo que se realicen edificios sin límite de altura en terrenos de más de 2500m<sup>2</sup>.

La tipología de **Torre retirada** resulta una tendencia en crecimiento que marca un quiebre en torno a la eficiencia energética edilicia, exponiendo cada vez más el perímetro de los edificios y quedando las envolventes con un acceso completo a la radiación solar por encima de la copa de los árboles. En este caso se recomienda un estudio particular de la arboleda circundante, y si el predio cuenta en la fachada con árboles con un follaje suficiente como para moderar la radiación solar, debieran aprovecharse tales condiciones en los espacios interiores, mediante la obligatoriedad del Basamento.

Por otro lado, considerando a los elementos de protección solar como parte integrante del diseño morfológico edilicio, se demostró que la incorporación de los mismos modera en verano las temperaturas interiores y reduce los consumos para acondicionamiento térmico. Además, muchas veces los edificios cuentan con balcones que son espacios intermedios en las viviendas en altura. Estos, tienen un valor psicológico y social dado que a partir de ellos los habitantes se relacionan en mayor medida directamente con el exterior. Asimismo, pueden ser eficientes elementos de regulación ambiental contando con la posibilidad de cerrarse en invierno mediante

elementos transparentes y abrirse en verano. Esta estrategia de flexibilidad de la envolvente, puede verse en algunas unidades de viviendas puntuales y aleatorias, generalmente gestionadas por los usuarios. Sin embargo no se incorpora como pauta proyectual en los edificios en altura, pudiendo resultar ampliamente beneficiosa como estrategia de diseño ambiental.

### VI.1.2. MATERIALIDAD

El relevamiento de edificios en altura en Mendoza advirtió que la gran mayoría de los edificios residenciales se caracterizan por contar con un tipo de construcción “tradicional”, el cual presenta una mayor proporción de materiales mäsicos, como el ladrillo y el hormigón, y menores porcentajes de superficies vidriadas.

Los **edificios mäsicos** existentes en la ciudad, si bien carecen muchas veces de aislación en las superficies verticales, se ven beneficiados en verano por la opacidad de la envolvente, controlando y moderando la incidencia de radiación solar en los espacios interiores. Asimismo, desde lo visual y estético, la imagen mäsica ofrece mayores posibilidades de incorporación de elementos de protección solar.

Sin embargo, la evolución de los edificios en altura tiende a la desmaterialización de la envolvente, con un visible incremento del uso del vidrio y de materiales delgados y livianos, incluso en los interiores. El uso de este tipo de materiales responde a la búsqueda de una imagen específica, así como a alivianar la estructura y al aprovechamiento de una mayor cantidad de superficie cubierta.

Se observó que los **edificios livianos**, con un alto grado de transparencia en sus envolventes, presentan mayores posibilidades de relación visual con el exterior. Sin embargo - paradójicamente- restringen las condiciones de apertura hacia el exterior, limitando así la aplicación de estrategias de ventilación y poniendo en riesgo las condiciones de habitabilidad en verano -e inclusive en primavera y otoño. Esta tendencia resulta beneficiosa en invierno durante el día por la incidencia de ganancia directa (efecto invernadero) en el interior de los espacios. Mientras que en las estaciones de verano e intermedias, debido al riesgo de sobrecalentamiento, el uso de medios mecánicos de enfriamiento implicaría importantes consumos energéticos. Esta

situación, muchas veces lleva al uso permanente de cortinas interiores con la consiguiente pérdida de la relación visual con el exterior.

Es por esto que en ciudades con características climáticas áridas y de altos niveles de radiación, resulta imprescindible tener en cuenta la flexibilidad en la envolvente, tanto para edificios livianos como mäsicos, que incluyan estrategias de control climático y acondicionamiento natural. Si la envolvente es adecuada en sus aspectos constructivos y tecnológicos, las posibilidades de manejo por parte de los usuarios de la misma pueden potenciar su calidad.

En cuanto a los **edificios simulados en estudio con materialidad mejorada**, el análisis comparativo de las respuestas térmicas y energéticas advierte las siguientes diferencias:

Los consumos energéticos para invierno y verano varían en relación a la materialidad: los edificios mäsicos van a requerir mayores consumos para climatización en invierno, mientras que en los livianos resultarían superiores en verano.

Se pudo ver que las viviendas que se encuentran en los niveles superiores (en este trabajo se considera del nivel 10 en adelante) cuentan con las temperaturas más extremas y con los mayores requerimientos energéticos en relación al consumo total del edificio. De esta manera, la materialidad de la envolvente toma mayor importancia en la Torre debido al rol que ésta juega como moderadora de las temperaturas interiores.

Para edificios mäsicos los requerimientos en el Basamento son de 0,10 kWh/m<sup>2</sup> en verano y de 0,70 kWh/m<sup>2</sup> en invierno. En la Torre, en el nivel bajo de 0,80 kWh/m<sup>2</sup> en verano y 9,00 kWh/m<sup>2</sup> en invierno; para las viviendas del nivel medio de 2,30 kWh/m<sup>2</sup> en verano y 13,20 kWh/m<sup>2</sup> en invierno; y en los departamentos superiores los requerimientos representan 4,60 kWh/m<sup>2</sup> en verano y 16,10 kWh/m<sup>2</sup> en invierno.

En el edificio liviano las viviendas del Basamento requieren 2,70 kWh/m<sup>2</sup> en verano y en invierno es posible lograr temperaturas de confort sin el uso de medios mecánicos de climatización. En la tipología de Torre retirada, en el nivel bajo los requerimientos energéticos son de 11,70 kWh/m<sup>2</sup> en verano y de 4,80 kWh/m<sup>2</sup> en invierno, para las viviendas del nivel medio de 8,90 kWh/m<sup>2</sup> en

verano y 3,60 kWh/m<sup>2</sup> en invierno; y en los departamentos superiores los requerimientos representan 10,90 kWh/m<sup>2</sup> en verano y 5,60 kWh/m<sup>2</sup> en invierno.

Los resultados indican que arriba de la copa de los árboles los espacios interiores se comportan de acuerdo a la condición climática exterior más extrema (mayor radiación, mayor velocidad de vientos) y no se aprovechan los beneficios ambientales de la Ciudad-Oasis de Mendoza.

En la *Tabla VI.1* se observan los consumos por unidad de vivienda y los porcentajes de los mismos en relación al total del edificio.

| CONSUMOS POR DEPARTAMENTOS SEGÚN EL NIVEL DE ALTURA EN RELACIÓN AL TOTAL DEL EDIFICIO EN VERANO E INVIERNO |                                                                                    |       |                                                                                    |       |                                                                                     |       |                                                                                      |       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------|------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| TIPOLOGÍAS                                                                                                 | BASAMENTO Y TORRE                                                                  |       | TORRE RETIRADA                                                                     |       |                                                                                     |       |                                                                                      |       |
| NIVELES                                                                                                    | NIVEL DE BASAMENTO                                                                 |       | NIVEL BAJO                                                                         |       | NIVEL MEDIO                                                                         |       | NIVEL ALTO                                                                           |       |
|                                                                                                            |  |       |  |       |  |       |  |       |
| ESTACIONES                                                                                                 | VER.                                                                               | INV.  | VER.                                                                               | INV.  | VER.                                                                                | INV.  | VER.                                                                                 | INV.  |
| EDIFICIOS MÁSICOS                                                                                          |                                                                                    |       |                                                                                    |       |                                                                                     |       |                                                                                      |       |
| Consumos [kWh/m <sup>2</sup> ]                                                                             | 0.10                                                                               | 0.70  | 0.80                                                                               | 9.00  | 2.30                                                                                | 13.20 | 4.60                                                                                 | 16.10 |
| % en relación al total del                                                                                 | 0.15%                                                                              | 0.30% | 1.20%                                                                              | 3.20% | 3.40%                                                                               | 4.60% | 6.80%                                                                                | 5.70% |
| EDIFICIOS LIVIANOS                                                                                         |                                                                                    |       |                                                                                    |       |                                                                                     |       |                                                                                      |       |
| Consumos [kWh/m <sup>2</sup> ]                                                                             | 2.70                                                                               | 0.00  | 11.70                                                                              | 4.80  | 8.90                                                                                | 3.60  | 10.90                                                                                | 5.60  |
| % en relación al total del                                                                                 | 1.50%                                                                              | 0.00% | 5.60%                                                                              | 5.00% | 4.20%                                                                               | 3.70% | 5.20%                                                                                | 5.70% |

*Tabla VI.1.* Consumos por unidad de vivienda y porcentajes en relación al total del edificio para invierno y verano en edificios másicos y livianos

### VI.1.3. PAUTAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE NUEVOS EDIFICIOS EN ALTURA

Por un lado, el diagnóstico dio cuenta de la importancia de la influencia de los usuarios en la gestión de la envolvente. Sus variables fisiológicas, socioculturales y psicológicas implican variaciones en el logro de las condiciones óptimas de habitabilidad. El habitante resulta fundamental en el uso de sistemas de acondicionamiento mecánico, así como de las estrategias de ventilación y la utilización adecuada de protecciones solares móviles. Es por esto que resulta importante, no solo dar respuestas a nivel de tecnología y diseño habitacional, sino también la implementación de pautas o programas educativos teniendo en cuenta un uso consiente y sustentable de las viviendas.

Por otro lado, ante la evidente importancia de las normativas de edificación en el camino hacia la sustentabilidad, es indispensable que se regulen aspectos teniendo en cuenta la situación diferente que se genera bajo y sobre el estrato acondicionado.

Se presentan a continuación las pautas propuestas para nuevas construcciones, asociadas a la materialidad y a estrategias de control climático, que contemplen la diferenciación en altura.

***Materialidad recomendable para edificios en altura en climas templados continentales con características de oasis.***

Resulta necesario normalizar algunos aspectos en relación a la materialidad edilicia, teniendo en cuenta la “masividad” de los edificios, es decir, el grado de inercia térmica de los materiales que componen la construcción.

Se observa que las viviendas de los edificios másicos demuestran un comportamiento térmico más cercano al rango de confort respecto a los edificios livianos. Esto, promueve la necesidad de orientar las estrategias de materialidad de envolvente en función de los valores de masa por unidad de superficie interior ( $m^3$ ) y de los coeficientes de trasmittancia (K) de los muros.

Los estudios realizados advierten que a medida que la masa por superficie interior aumenta y que el K de los muros disminuye las temperaturas interiores tienden a disminuir tanto en el Basamento como en la Torre. En la *Figura VI.1* se puede ver la relación de las temperaturas

máximas ( $^{\circ}\text{C}$ ) y la masa por superficie interior ( $\text{m}^3$ ) y en la *Figura VI.2* la relación entre las temperaturas y los coeficientes de transmitancia de cada material analizado.

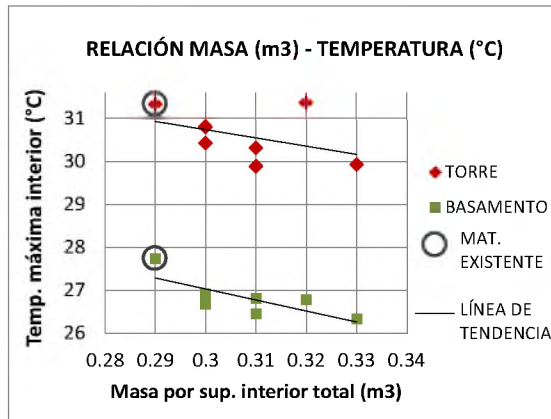


Figura VI.1. Relación de masa por unidad de superficie interior y temperaturas interiores

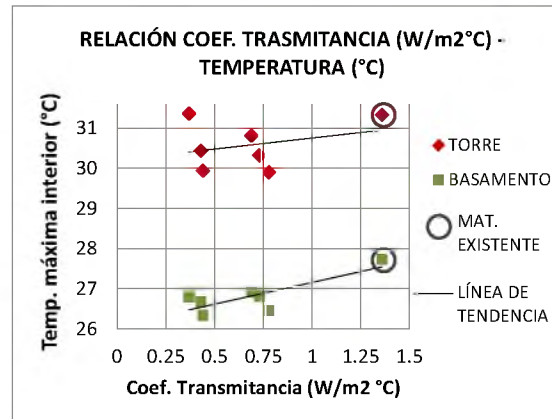


Figura VI.2. Relación de coeficientes de transmitancia en la envolvente y temperaturas

En consiguiente, las recomendaciones de materialidad para edificios en altura proponen:

- El monto mínimo de  $\text{m}^3$  de masa total (envolvente e interior) por superficie interior debiera ser sobre la copa de los árboles mayor o igual a  $0,35\text{m}^3$  y bajo la copa de los árboles mayor o igual a  $0,25\text{m}^3$ .
- **Bajo la copa**, con masa por superficie interior menor a  $0,25\text{m}^3$ , el  $K$  de los muros debiera ser como máximo de  $0,70\text{ W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- En las envolventes que **superen el estrato forestal** si la masa por superficie interior llegase a ser menor a  $0,35\text{m}^3$  el coeficiente de transmitancia ( $K$ ) de los muros debiera ser como máximo de  $0,50\text{ W}/\text{m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- En las superficies transparentes sobre la copa, se propone la obligatoriedad del uso del doble vidrio bajo emisivo (DVH), y cuando las superficies acristaladas superen el metro cuadrado ( $1\text{ m}^2$ ), deberían presentar doble contacto y burletes.

***Consideraciones acerca de los elementos de protección solar como estrategias de control.***

El análisis combinado de estaciones extremas de la incidencia térmica de elementos de protección solar en edificios orientados al Norte indica:

En **edificios másicos** los elementos de protección solar pueden lograr reducciones energéticas del 100% en el Basamento, y en la Torre de hasta el 75% en los niveles bajos y medios y del 35% en los niveles altos. Las mismas debieran diferenciarse en sus dimensiones en el Basamento y la Torre.

En el Basamento los elementos rígidos en la envolvente, como por ejemplo aleros o balcones, pueden contar con dimensiones del orden de 1m de profundidad (considerando una altura estándar). Asimismo, si no se contara con elementos de control en la envolvente, la protección solar que brinda la copa de los árboles (moreras de 12m de alto) puede resultar suficiente para controlar las temperaturas interiores y alcanzar rangos de confort (hasta 28°C) sin la necesidad del uso de medios mecánicos de climatización, siempre y cuando el edificio cuente con las condiciones físicas mínimas de materialidad planteadas.

En la Torre, resulta importante moderar la radiación incidente mediante el uso de protecciones horizontales que en este caso deberían tener una profundidad entre 2m y 2,50m.

En **edificios livianos**, en función de respetar la imagen transparente deseada, se trabaja con protecciones solares translúcidas o semi-opacas como es el caso de lamas serigrafiadas o con celosías. Dadas dichas condiciones, los elementos de protección solar pueden lograr reducciones energéticas del 40% en el Basamento y de hasta el 49% en los niveles de la Torre. Estos datos consideran el complemento de una protección nocturna opaca. En el caso de que dicha protección no estuviera, los porcentajes son del 30% en el Basamento y del 33% en la Torre.

Para edificios con menos de 0,35m<sup>3</sup> de masa por unidad de superficie habitable y más del 50% de la envolvente trasparente o traslúcida resulta imprescindible que un proyecto incluya protecciones solares rígidas y flexibles en cada aventanamiento.

***Consideraciones acerca de las estrategias de refrescamiento pasivo en verano y ganancia directa en invierno.***

Si bien es importante tener en cuenta todas las estrategias de control climáticas en el proyecto de edificios en altura, el estudio realizado demuestra mayores riesgos en invierno en edificios mäsicos, y en verano en edificios livianos. En funci3n de esto se recomienda:

En **edificios mäsicos**, en las envolventes que se encuentren en niveles altos (a partir del nivel 10) si la masa por superficie interior es igual o mayor a  $0,35\text{m}^3$  y con un coeficiente de transmitancia ( $K$ ) igual o menor a  $0,50\text{ W/m}^2\text{C}$ , la relaci3n de la superficie transparente (ventanas) y el espacio interior ( $\text{m}^2$  de superficie cubierta) debiera ser del 20% para aprovechar las posibilidades de **ganancia directa** durante el dıa, y durante la noche las ventanas debieran contar con protecciones nocturnas adecuadas a modo de evitar p3rdidas.

En **edificios livianos** resulta muy importante la incorporaci3n de estrategias de **refrescamiento pasivo**. En estos casos serıa 3ptima la posibilidad de contar con ventilaci3n cruzada en los espacios interiores. De no ser posible esta opci3n debido a las caracterısticas en el diseño, la envolvente transparente debiera contemplar aperturas que cuenten con una relaci3n de superficie respecto al espacio interior no menores al 20%.

En sıntesis del trabajo realizado se puede afirmar que **es necesario repensar los edificios en altura en las Ciudades oasis** en funci3n de considerar:

- La **materialidad** de las construcciones en altura es determinante para el logro del confort interior y resulta importante priorizar la **masividad** de las mismas.
- En cuanto a la **altura** resulta necesario que se regulen aspectos teniendo en cuenta la **situaci3n diferente que se genera bajo y sobre el estrato acondicionado**. Los edificios en altura deben aprovechar los beneficios que brinda la forestaci3n de la ciudad, diferenciando la envolvente de los niveles inferiores (basamento) y superiores (torre).
- El **usuario** debe conocer los beneficios de la correcta gesti3n de la envolvente de los espacios en los que habita.

## VI.2. PROSPECTIVA

Los resultados obtenidos están relacionados a los aspectos sustentables de la edificación en altura en la ciudad de Mendoza. Se considera que uno de los aportes principales de la presente investigación se encuentra en la posibilidad de transferencia a las normativas edilicias.

El desarrollo del trabajo permite continuar el estudio de la sustentabilidad de edificios en altura, profundizando en otros aspectos, como los climáticos y de tecnologías de envolvente:

- **Otros climas:**

Si bien la tesis se enfoca a un contexto de características climáticas y ambientales correspondiente a Ciudades-oasis, es posible continuar con la misma metodología de trabajo abarcando diferentes climas. De esta forma se podrían obtener catálogos que atiendan a señalar tipologías en altura con características morfológicas y de materialidad apropiadas para los distintos entornos.

- **Tecnologías de envolvente:**

Se pretende continuar con el estudio de la envolvente edilicia de construcciones en altura, atendiendo a las distintas condiciones en los estratos urbanos -bajo y sobre el arbolado-, mediante el análisis de tecnologías que aún no se desarrollan en profundidad en los edificios de Mendoza.

Una alternativa es el uso de fachadas ventiladas. Estas son sistemas de envolvente vertical caracterizados por estar conformados por dos capas y un espacio interior. Usualmente la capa interior provee la masa térmica y la exterior (que puede ser modificable por el usuario) funciona como filtro o protección al microclima del lugar (sol, viento, lluvia). En este esquema tecnológico es posible la integración de sistemas solares pasivos y activos en respuesta a las necesidades de confort interior de espacios en edificios en altura.

Es por esto que se plantea la continuidad del estudio mediante el trabajo con la tecnología de fachadas ventiladas que contemple la combinación de sistemas de acondicionamiento pasivo y sistemas productores de energía (fotovoltaico y solar-térmico). De esta forma se lograrán mejores condiciones de confort interior disminuyendo, e incluso eliminando los consumos de energía auxiliar avanzando hacia la auto-suficiencia edilicia.