

## COMPORTAMIENTO RADIATIVO DE CANALES VIALES URBANOS EN ZONAS ARIDAS

Alberto Papparelli<sup>1</sup>, Alejandra Kurbán<sup>2</sup>, Mario Cúnsulo<sup>3</sup>, Eduardo Montilla<sup>4</sup>  
Colaborador: Carlos Herrera<sup>5</sup>

AREA ARQUITECTURA AMBIENTAL  
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - Universidad Nacional de San Juan  
Santa Fe 198 oeste - 5400 San Juan - Argentina  
Tel: (0264) 4202664 - E-mail: [arqamb@unsj.edu.ar](mailto:arqamb@unsj.edu.ar)

**RESUMEN:** El trabajo procura obtener una herramienta de diseño urbano bioclimático versátil para normar las características dimensionales de los perfiles de calles en ciudades ubicadas en zonas áridas. Se estudian las relaciones dimensionales de los canales viales de la ciudad de San Juan, Argentina (latitud Sur 31°32', longitud Oeste 68°30') en función de la incidencia de la radiación solar directa en invierno y verano. Se obtienen los ángulos de visión al cielo óptimos, que aseguran en los CVU un máximo asoleamiento invernal y al mismo tiempo mayores bloqueos de la radiación solar durante el verano. Urbanísticamente constituye un aporte al potencial bioclimático urbano, al definir perfiles de calles tanto para urbanizaciones existentes como nuevas.

**Palabras clave:** clima urbano, radiación solar, canal vial urbano

### 1. INTRODUCCIÓN

El potencial bioclimático en una ciudad depende de las múltiples relaciones entre las variables climáticas de radiación solar, temperatura, humedad relativa y las características de la estructura urbana (Volumen edilicio, Densidad de edificación, Proporciones entre espacios abiertos y cerrados, Materiales constructivos, Superficies de terminación, Colores). Del balance de estos elementos estructurantes de la ciudad dependerá la oferta climática urbana que deberán tener en cuenta los proyectistas de los espacios urbanos, para procurar adecuadas condiciones de habitabilidad higrotérmica en los espacios abiertos y en los interiores edilicios. En trabajos previos (Papparelli et al, 1999) la Unidad Ejecutora estudió las correlaciones existentes entre la densidad edilicia y las variaciones de temperatura de bulbo seco y humedad relativa urbanas.

El objetivo del presente trabajo es calcular los ángulos de visión al cielo óptimos como contribución, desde el diseño urbano bioclimático, a la planificación de la ciudad a través del dimensionamiento de los perfiles de calles, para asegurar el mayor asoleamiento invernal en las superficies de los Canales Viales Urbanos (CVU) y al mismo tiempo las mejores condiciones de bloqueo de la radiación solar durante el verano.

Este estudio es continuación de otros anteriores (Papparelli *et al*, 2001), e incorpora resultados parciales del análisis de la radiación solar en el perfil de las calles, a las que por sus características morfológicas se las denomina Canal Vial Urbano (CVU), definido como el espacio público urbano limitado por la calzada, la vereda y las edificaciones adyacentes. El balance radiativo de los CVU depende particularmente del ancho de calzada y vereda, de la altura de edificación y del arbolado público, elemento urbano este último de rol fundamental en zonas áridas. También influyen, aunque en menor medida, los materiales de terminación y sus colores (Oke, 1988; Pearlmutter, 1998). Se estudiaron las siguientes relaciones:

- **Ángulo de enmascaramiento edilicio** ( $\square_e$ ): ángulo plano con centro en el eje de la calle, limitado por la altura de las edificaciones adyacentes.
- **Ángulo neto de visión al cielo** ( $\square_n$ ): ángulo teórico, fracción del ángulo de enmascaramiento edilicio, que considera la arboleda pública y su permeabilidad a la radiación solar para invierno y verano.

Se estudiaron los comportamientos de los CVU en verano e invierno por ser las de mayor rigurosidad en una zona árida, analizando por separado cada estación climática, debido a las disímiles condiciones radiativas y a los diferentes períodos de foliación de la arboleda pública. Los CVU se clasifican de acuerdo con su orientación cardinal y se analizan conforme la misma, debido a que el balance de radiación solar es diferente para canales orientados en el sentido Este-Oeste en relación con los orientados Norte-Sur (Nakamura and Oke, 1988). Esto es que en los CVU Este-Oeste las fachadas que miran al Norte reciben durante la mayor parte del día radiación directa, a diferencia de las orientadas al sur que, particularmente en invierno, están siempre sombreadas. En el caso de los CVU orientados Norte-Sur, las fachadas orientadas al Este y Oeste reciben a lo largo del día radiación directa en forma más o menos homogénea, antes y después del mediodía.

<sup>1</sup> Arquitecto, Prof. Titular UNSJ, Profesional Principal CONICET

<sup>2</sup> Magister en Arquitectura, Profesor Titular UNSJ, Prof. Principal CONICET

<sup>3</sup> Ingeniero, Profesional Principal CONICET

<sup>4</sup> Arquitecto, Prof. J.T.P. UNSJ

<sup>5</sup> Arquitecto, Prof. J.T.P. UNSJ

## 2. ARCHIVO DE DATOS URBANOS Y CLIMATICOS

### 2.1. Relevamiento de Canales Viales Urbanos

La ciudad de San Juan presenta una trama urbana en cuadrícula con una orientación de 5° al Oeste respecto al Norte. El análisis estudió 40 Nodos Urbanos en calles orientadas Norte-Sur y Este-Oeste distribuidos aleatoriamente a lo largo de 8 ejes cardinales (rumbos y medios rumbos), con origen en el centro de la ciudad (Plaza principal: 25 de Mayo), en los que desde el año 1991 se realizan mediciones climáticas itinerantes de temperatura y humedad relativa (Papparelli, A. et al, 1996, 1997a, 1997b, 1998). Debido a las características en damero del trazado de la ciudad, cada Nodo Urbano se asumió como el encuentro entre dos calles; constan de 4 CVU como máximo (conforme las características del cruce vial) y se identificaron por su orientación: Norte, Sur, Este y Oeste.

Los CVU estudiados fueron 112, considerados con centro en el cruce de las calles y tomando 50,0m hacia cada dirección cardinal. En ese espacio, se relevó:

- Calle: Ancho calzada + Ancho vereda
- Edificación: Retiro de la línea de cerco a la línea de edificación y Altura de la edificación frentista.
- Árboles: Especie; Tamaño de copa y Fuste; Forma de la especie más representativa del CVU.

### 2.2. Mediciones de radiación: invierno y verano, años 2000, 2001 y 2002

#### a) Mediciones itinerantes en cada CVU

Se midió radiación solar global en cada CVU, a 50,0m exactos del cruce de calles y en el eje de las mismas, registrándose las condiciones reales del punto (asoleado, sombreado parcial o total). El horario seleccionado fue entre las 13:00hs y las 14:00hs siendo las 13:30hs la hora aproximada de mayor intensidad de radiación solar según Estadística 1995/2000 (Area Arquitectura Ambiental, 2001). En ambas estaciones climáticas, se seleccionaron días con un Índice de claridad  $K_t \geq 0,75$ , que garantizara condiciones meteorológicas de cielo totalmente despejado. Las mediciones se realizaron con un equipo portátil Quantum Radiometer Photometer (marca LICOR, Light meter-Model LI 250) con un tiempo de respuesta de 10 $\mu$ s.

#### b) Mediciones en punto fijo

Los registros se efectuaron con la Estación Meteorológica I (EM-I) ubicada en el Area Eminentemente Urbana de la ciudad de San Juan y localizada a una altura de 12,0m sobre el nivel del terreno natural, sin obstrucción edilicia cercana, garantizándose una buena exposición y captación de las condiciones atmosféricas del área urbana. Esta estación es un sistema de adquisición de datos y registro histórico digital, con interfase de comunicación RS232c, que permite el acceso de los datos almacenados en el sistema desde una PC, mediante el software CROSSTALK. El sensor de radiación es un Quantum Radiometer Photometer marca LICOR, Light meter-Model LI 250, con un tiempo de respuesta de 10 $\mu$ s. El sistema de adquisición de datos se programó para realizar tomas cada cinco (5) minutos para radiación solar global; los valores de radiación minuto a minuto, se calcularon por interpolación lineal.

## 3. OBTENCION Y ANALISIS DEL ANGULO NETO DE VISION AL CIELO

El ángulo neto de visión al cielo posibilita estudiar las relaciones geométricas de los CVU incluida la forestación pública, para el estudio de la radiación solar que incide desde una fracción de la bóveda celeste. Los registros de radiación solar global obtenidos en el eje de la calzada de cada CVU, representan la radiación recibida en función del ancho total de la calle, de la altura de edificación y de la forestación pública. Respecto a esta última, la radiación solar que se filtra a través de los árboles, varía en función de la permeabilidad de cada especie, de los períodos de foliación, de la estación climática del año, de la cantidad de superposición entre los árboles y de su estado de calidad sanitaria. A este respecto y como resultado de los relevamientos realizados, se asume la forestación como de calidad media.

Las áreas de calzadas, veredas y muros sombreadas por la forestación pública, se calcularon teniendo en cuenta la permeabilidad de cada especie (Papparelli, et al, 1996) y los tipos de superposición arbórea.

El ángulo de enmascaramiento edilicio, se obtuvo gráficamente de acuerdo con la geometría de cada CVU. El ángulo neto de visión al cielo, se calculó según la siguiente fórmula:

$$\text{Angulo Neto de Visión al Cielo } (\alpha_n) = \alpha_e (1 - C_a) \quad [\text{Ec. 01}]$$

Siendo:

- $\alpha_e$  Angulo de enmascaramiento edilicio
- $C_a$  Coeficiente de sombra arbórea: cociente entre la sombra arbórea neta total ( $S_{ann}$ ) (verano o invierno) y la superficie expuesta ( $S_e$ )

Siendo:

$$\text{Coeficiente de sombra arbórea } (C_a) = \frac{\text{Sombra arbórea neta } (S_{ann})}{\text{Superficie expuesta } (S_e)} \quad [\text{Ec. 02}]$$

$$\text{Sombra arbórea neta de invierno } (S_{ani}) = S_{aef} (1 - \text{Permeabilidad de invierno}) \quad [\text{Ec. 03}]$$

$$\text{Sombra arbórea neta de verano } (S_{amv}) = S_{aef} (1 - \text{Permeabilidad de verano}) \quad [\text{Ec. 04}]$$

$$\text{Superficie expuesta } (S_e) = \text{Superficie de calle (vereda + calzada)} + \text{Superficie de muros} \quad [\text{Ec. 05}]$$

La sombra arbórea efectiva  $S_{aef}$  se obtiene multiplicando la *sombra arbórea equivalente* por un coeficiente de variación (Coeficiente Total Combinado) que considera la permeabilidad arbórea a la radiación solar y la superposición de las copas. Dicho Coeficiente total combinado se presenta en la *Tabla 1* y relaciona área sombreada de superficie horizontal del CVU con permeabilidad arbórea y superposición de la arboleda.

CASO	Descripción	% de Super. (a%)	Coef. Disminución por Superposición $1 - a/100 = (b)$	Coef. Aumento por Permeabilidad $0,5(1 - b) = (c)$	Coef. Total Combin. (C <sub>TC</sub> ) $b(1 + c) = (d)$
I	Copa aislada	0%	$1 - (0/100) = 1,00$	$0,5(1 - 1) = 0,000$	$1,00(1+0,000) = 1,00$
II	Copa con baja superposición	25%	$1 - (25/100) = 0,75$	$0,5(1 - 0,75) = 0,125$	$0,75(1+0,125) = 0,85$
III	Copa con superposición media	50%	$1 - (50/100) = 0,50$	$0,5(1 - 0,50) = 0,250$	$0,50(1+0,250) = 0,63$
IV	Copa con alta superposición	75%	$1 - (75/100) = 0,25$	$0,5(1 - 0,25) = 0,375$	$0,25(1+0,375) = 0,35$

Tabla 1: Cálculo del Coeficiente Total Combinado

$$\text{Sombra arbórea efectiva}(S_{aef}) = \text{Sombra arbórea equivalente} \times \text{Coef. Total Combinado} \quad [\text{Ec. } 06]$$

$$\text{Sombra Arbórea Equivalente} (S_{aeq}) = \Sigma \text{Arboles buen estado} \times \text{Sup. proy. copa arbórea} \quad [\text{Ec. } 07]$$

#### Método para el análisis de la radiación directa en cada CVU

La radiación solar directa en cada CVU se calculó a partir de los valores de la radiación global registrada y se contrastó con los calculados para el mismo día y hora en la estación meteorológica de punto fijo (tomada como referencia). Para obtener la diferencia ( $\Delta R_{DIR}$ ) entre ellos, se asumieron los registros a los 12,0m de altura como los correspondientes a cielo abierto. Por tanto, la radiación del CVU fue restada a la de cielo abierto: un  $\Delta R_{DIR}$  positivo indica que en el balance de la radiación están interviniendo elementos reflectantes que aumentan la radiación en ese CVU; un  $\Delta R_{DIR}$  negativo, indica por el contrario que la radiación en el CVU es menor que la de cielo abierto.

#### 4. CORRELACIÓN ENTRE ÁNGULOS DE ENMASCARAMIENTO EDILICIO Y ÁNGULOS NETOS DE VISIÓN AL CIELO

Los Angulos Netos de Visión al Cielo interrelacionados con los Angulos de Enmascaramiento Edificio para las dos orientaciones de CVU (Este-Oeste y Norte-Sur) y para ambas estaciones climáticas, definen una recta de regresión lineal vinculante entre ellos, que se muestra en la Figura 1, después de haber verificado el coeficiente de determinación  $R^2$ , eliminando los valores fuera del rango de error en el eje "Y". Dicha recta permite conocer diferentes características dimensionales de los CVU, con y sin la presencia de la forestación pública, permitiendo así obtener el perfil de la calle considerando sólo los elementos construidos.

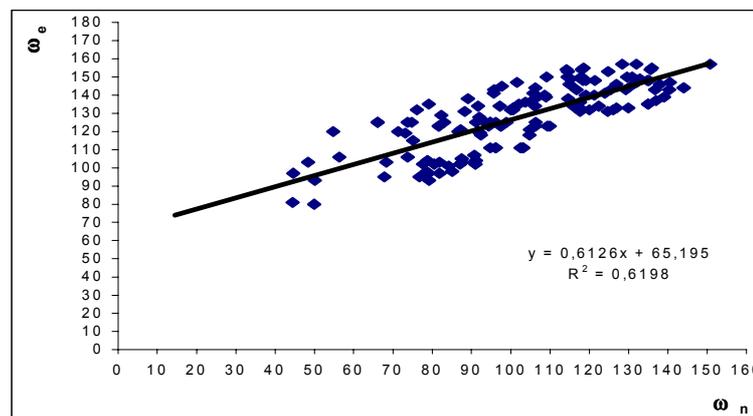


Figura 1: Correlación de Angulos Netos de Visión al Cielo con Angulos de Enmascaramiento Edificio.

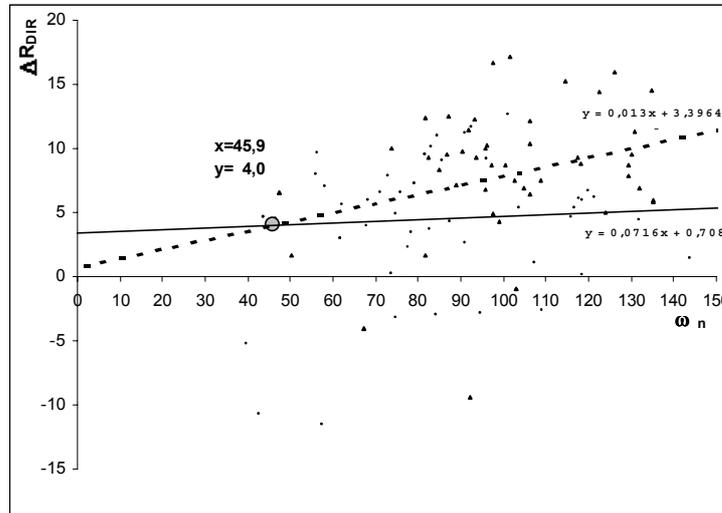
#### 5. CORRELACIÓN RADIACIÓN SOLAR DIRECTA Y ANGULOS NETOS DE VISION AL CIELO

La cualificación de las características dimensionales y arbóreas de cada CVU, en relación a la radiación solar directa recibida en verano e invierno, se obtuvo correlacionando estos valores de radiación solar con los Angulos Netos de Visión al Cielo ( $\omega_n$ ).

El cálculo de superficies sombreadas respecto a la diferente orientación de los canales (Este-Oeste y Norte-Sur), se realizó conforme las coordenadas solares en el momento de efectuar los registros de radiación solar, asumidas para los solsticios de invierno y verano, a las 12:00 hora solar verdadera, esto es: azimut 0°, altitud en invierno 35° y altitud en verano 82° (latitud ciudad de San Juan: 31° 32' Sur).

Las gráficas de correlación de las Figuras 2 y 3 representan en las ordenadas las diferencias de radiación solar directa entre cielo abierto y CVU considerado ( $\Delta R_{DIR}$ ), y en las abscisas los Angulos Netos ( $\omega_n$ ). Los puntos de intersección de dichas rectas definen el Angulo de Visión al Cielo Optimos para invierno y verano, tanto en los canales Este-Oeste como en los Norte-Sur.

Debido a que el Angulo Neto de Visión al Cielo ( $\omega_n$ ) es un ángulo teórico calculado, que considera no sólo al enmascaramiento edilicio sino también a la forestación, se pueden relacionar gráficamente los valores obtenidos en cada CVU con los Angulos de Enmascaramiento Edilicio ( $\omega_e$ ), ángulos físicos reales posibles de aplicar en el diseño urbano y en consecuencia factibles de ser incorporados en un Código de Edificación.



Referencias: - - - Ajuste lineal INVIERNO    — Ajuste lineal VERANO

**Figura 2: Relación Angulo Neto con diferencias de radiación solar directa en CVU Este-Oeste (Invierno – Verano)**

## 6. RESULTADOS

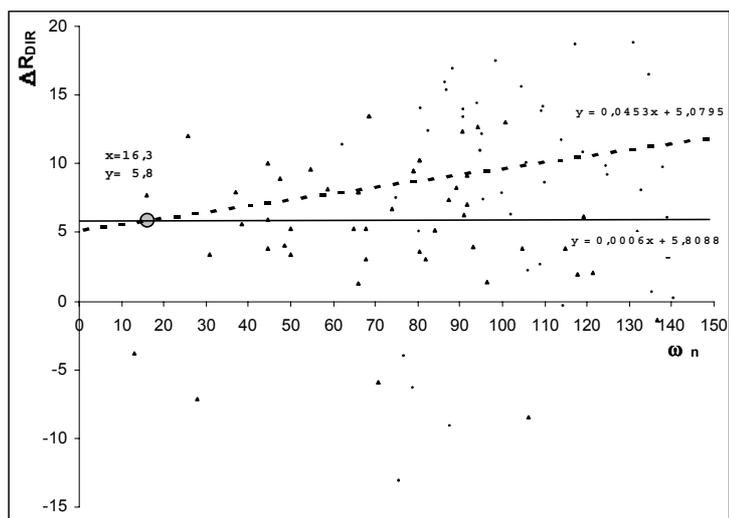
En ciudades de clima árido mesotermal de altura, los Angulos Netos de Visión al Cielo Optimos que aseguran dimensiones tales en el perfil de las calles, que permitan un buen asoleamiento invernal de las superficies de los CVU y al mismo tiempo un adecuado bloqueo a la radiación solar en verano, son: en CVU orientados Este - Oeste:  $68^{\circ} 44'$  y en CVU orientados Norte - Sur :  $54^{\circ} 42'$  (Ver Figuras 2 y 3).

De la correlación establecida en la Figura 1, se obtienen los Angulos de Enmascaramiento Edilicio Optimos correspondientes: para CVU Este - Oeste =  $86^{\circ} 04'$ , se asume  **$86^{\circ}$** ; para CVU Norte - Sur =  $72^{\circ} 43'$ , se asume  **$73^{\circ}$** .

En los CVU Este-Oeste el ángulo óptimo de  **$86^{\circ}$**  cubre los requerimientos de radiación solar en invierno, ya que durante el verano sea cual fuere el ángulo, la radiación solar incidente será prácticamente estable y siempre mayor a la de cielo abierto sin obstrucción. En los CVU Norte-Sur el ángulo óptimo de  **$73^{\circ}$**  asegura menores reflexiones solares en verano y mayores en invierno.

Las alturas de edificación necesarias para acondicionar bioclimáticamente los CVU, asumidas en la línea de cerco (línea municipal), para diferentes anchos de calle se presentan en las Tablas 2 y 3.

En ciudades de zona árida, los anchos de CVU tipo se consideran entre los 17,00m y 18,00m; por tanto en la Tabla 3 se presentan, para esos anchos y para ambas direcciones de CVU, las alturas de edificación sobre línea de cerco que permiten los respectivos Angulos de Enmascaramiento Edilicio Optimos.



Referencias: - - - Ajuste lineal INVIERNO \_\_\_\_\_ Ajuste lineal VERANO

**Figura 3: Relación Angulo Neto c/diferencias de radiación solar directa en CVU Norte-Sur (Invierno – Verano)**

## 7. CONCLUSIONES

En ciudades de clima árido mesotermal, a fin de que todos los espacios abiertos públicos tengan asegurado un correcto acondicionamiento bioclimático y el diseño arquitectónico aproveche las ventajas del microclima urbano, es conveniente tener en cuenta los siguientes recomendaciones:

- En tramas urbanas nuevas o en aquellas poco consolidadas y con alturas de edificación en la línea de cerco que no superen las estipuladas en las *Tablas 2 (a) y (b)*, es beneficioso que el Angulo de Enmascaramiento Edificio Optimo sea aplicado en ambas fachadas contrafrentistas en forma simétrica respecto al eje de la calle, *Figuras 3 (a) y (b) y 4 (a) y (b)*.
- En tramas urbanas consolidadas y con alturas de edificación mayores a las estipuladas en la *Tablas 2 (a) y (b)*, es aconsejable que los Angulos de Enmascaramiento Edificio Optimo se apliquen con centro en el eje de la calle a partir del filo de la fachada existente, para luego calcular la altura que otorga dicho Angulo sobre la fachada opuesta contrafrentista o nueva construcción.
- En áreas consolidadas, es adecuado que el Angulo de Enmascaramiento Edificio Optimo se aplique sobre la línea de cerco, pero las construcciones deberán utilizar mayores retiros de frente hacia el interior de la parcela para permitir el aumento de sus alturas edilicias, ya sea en forma escalonada o inclinada, a medida que el plano de fachada principal se aleja de la línea de cerco reglamentaria.

CANAL VIAL URBANO	ÁNGULO DE ENMASCAR. EDIFICIO OPTIMO (ω)	ANCHO DE CALLE (m)	ALTURA DE EDIFICACION EN LINEA DE CERCO (m)	CANAL VIAL URBANO	ÁNGULO DE ENMASCAR. EDIFICIO OPTIMO (ω)	ANCHO DE CALLE (m)	ALTURA DE EDIFICACION EN LINEA DE CERCO (m)
ESTE - OESTE	86°	15,00	8,04	NORTE - SUR	73°	15,00	10,14
		17,00	9,12			17,00	11,49
		18,00	9,65			18,00	12,16
		20,00	10,72			20,00	13,51
		21,00	11,26			21,00	14,19
		22,00	11,80			22,00	14,87
		25,00	13,40			25,00	16,89
		26,00	13,94			26,00	17,57
		30,00	16,09			30,00	20,27

**Tabla 2 (a) y (b): Correlación de ángulos de enmascaramiento edilicio con la altura de edificación en la línea de cerco para CVU orientados Este-Oeste y Norte-Sur**

ANCHO DE CALLE SEGÚN NORMA (m)	ORIENTACION DEL CVU	ÁNGULO DE ENMASCARAMIENTO EDIFICIO (ω)	ALTURA DE EDIFICACION CALCULADA (m)	ALTURA DE EDIFICACION PROPUESTA (m)
17,00	E-O	86°	9,12	9,10
	N-S	73°	11,49	11,50
18,00	E-O	86°	9,65	9,70
	N-S	73°	12,16	12,20

**Tabla 3: Correlación entre Angulos de Enmascaramiento Edificio y Alturas de Edificación**

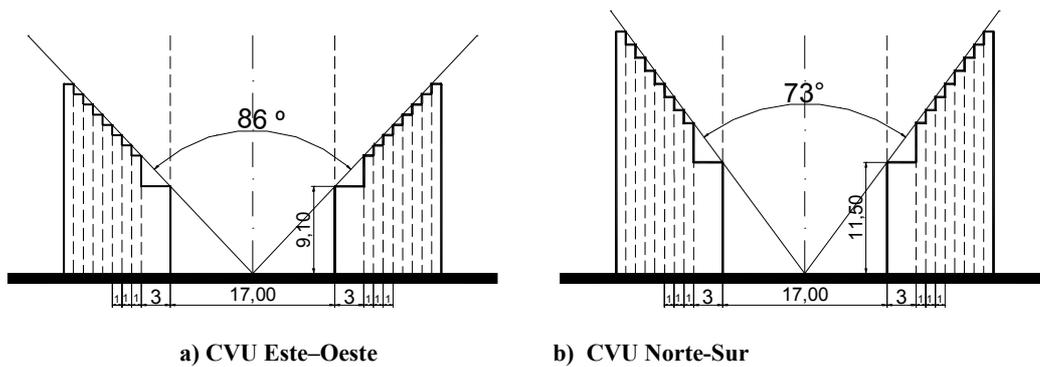


Figura 3: Perfil de calle y alturas óptimas en línea de cerco reglamentaria (Calle: 17,00m)

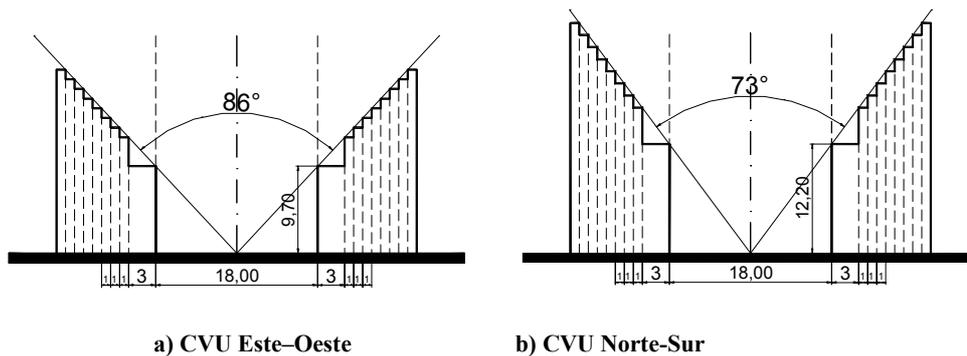


Figura 4: Perfil de calle y alturas óptimas en línea de cerco reglamentaria (18,00m)

NOTA: En las Figuras 3 y 4 no se grafican los fenotipos arbóreos para una mejor lectura de las siluetas edilicias.

## 8. REFERENCIAS

- Nakamura, Y. And Oke, T. R. (1988) Wind, Temperature and stability conditions in an east-west oriented urban canyon. *Atmospheric Environment*. Vol 22 N° 12 pp. 2691 – 2700. UK.
- Oke, T.R. (1988) Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings 11*, pp.103 - 113.
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M. (1996a) Strategies for Bioclimatic Design in a Urban Area of an Arid Zone: San Juan R. Argentina. *Landscape and urban Planning*. Elsevier Science Publishers. Volume 34/Issue 1. 19 – 25.
- Papparelli, A.; Cúnsulo, M.; Montilla, E.; Kurbán, A. (1996b) Eficiencia Bioclimática Arbórea en Entornos Urbanos de Zona Arida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Volume II; 09.5 a 09.8
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M.; Montilla, E.; Herrera, C. (1997) Variación Higrotérmica entre Area Urbana y No Urbana en una Zona Arida: Ciudad de San Juan. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 1, 225 - 228.
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M.; Montilla, E. (1998) Interdependencia entre Isotermas e Isohumas con la Modalidad de la Estructura Urbana. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Volume 2; 11.17-11-20
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M.; Montilla, E., Ortega A. (1999) Influencia de la Ocupación Urbana en el Clima de una ciudad de Zona Arida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Volume 3; N°2 - Pags. 11.01 a 11.04
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., Montilla, E., Herrera, C. (2001) Estadística Climática del Area Urbana de la Ciudad de San Juan. San Juan, Argentina.
- Papparelli, A., Kurbán, A., Cúnsulo, M., Montilla, E., Colab. Herrera, C., A. Ortega (2001) Geometría Optima de Canales Viales Urbanos de Zona Arida. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Vol. 5. Págs. 7.01 a 7.06.
- Pearlmutter, D. (1998) Street canyon geometry and microclimate. Designing for urban comfort under arid conditions. Proceedings of PLEA'98. Lisboa. Portugal. pp. 163 - 166.

**ABSTRACT:** The work tries to obtain a versatile tool for a bioclimatic urban design in order to regulate the dimensional characteristics of the street profiles in cities located in arid areas. The dimensional relationships of the urban canyons of San Juan's city, Argentina (31°32' south latitude, 68°30' west longitude) are studied taking into account the incidence of the direct solar radiation in winter and summer. The sky vision angles defining the best street profiles from the bioclimatic approach are obtained, to guarantee within the CVU a maximum winter sunshine and at the same time, greater blocking of the solar radiation at summer time. For the urban point of view, it constitutes a contribution to the bioclimatic urban potential both for existent dwellings as well as for new ones.

**Keywords:** urban climate, solar radiation, urban canyon