

ANÁLISIS BIOCLIMÁTICO DE CANALES VIALES URBANOS EN ZONA ÁRIDA

Alberto Papparelli¹, Alejandra Kurbán², Mario Cúnsulo³, Eduardo Montilla⁴
Colaborador: Carlos Herrera⁵

AREA ARQUITECTURA AMBIENTAL
Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño
Universidad Nacional de San Juan
Santa Fé 198 oeste - 5400 San Juan - Argentina
Tel: (0264) 4202664 - E-mail: 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 31°32', longitud oeste 68°30') en función de la incidencia de la radiación solar global en invierno y verano. Se obtienen los ángulos de visión al cielo óptimos que definen perfiles de calles tanto para urbanizaciones existentes como nuevas en función de diferentes morfologías de edificación, como un aporte al potencial bioclimático urbano.

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 global solar radiation in winter and summer. The sky vision angles defining the best street profiles from the bioclimatic point of view are obtained, both for existent dwellings as well for new ones as a contribution to the bioclimatic urban potential.

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 de clima urbano 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.

¹ Arquitecto, Prof. Titular UNSJ, Profesional Principal CONICET

² Magister en Arquitectura, Profesor Titular UNSJ, Prof. Principal CONICET

³ Ingeniero, Profesional Principal CONICET

⁴ Arquitecto, Prof. J.T.P. UNSJ

⁵ Arquitecto, Prof. J.T.P. UNSJ

En trabajos anteriores (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 presente trabajo incorpora resultados parciales del estudio 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:

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

Debido a las disímiles condiciones de radiación solar estival e invernal y a los diferentes períodos de foliación de la arboleda pública, se analizaron por separado los comportamientos de cada CVU en ambas estaciones climáticas, por ser las de mayor rigurosidad en una zona árida.

Por otra parte, en los CVU este-oeste, las fachadas que miran al norte reciben durante la mayor parte del día radiación directa; al contrario las orientadas al sur, y particularmente en invierno, siempre están sombreadas. En el caso de los CVU orientados norte-sur, las fachadas orientadas al este y oeste, a lo largo del día reciben radiación directa en forma más o menos homogénea, antes y después del mediodía. Por ello, el balance de radiación solar es diferente para canales orientados en el sentido este-oeste en relación a los orientados norte-sur (Nakamura and Oke, 1988). Por tal causa, los CVU se clasifican de acuerdo a su orientación y se analizan conforme la misma.

2. ARCHIVO DE DATOS URBANOS Y CLIMATICOS

2.1. Relevamiento de Canales Viales Urbanos

El análisis estudió 40 Nodos Urbanos ubicados en 8 direcciones cardinales (rumbos y medios rumbos) 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.
- Arboles: Especie; Tamaño de copa y Fuste; Forma de la especie más representativa del CVU.

2.2. Mediciones climáticas: invierno y verano, años 2000 y 2001

a) Mediciones itinerantes

En cada CVU, a 50,0m del cruce de calles y en el eje de las mismas, se tomaron registros de radiación solar global entre las 13:00hs y las 14:00hs con horario central a las 13:30hs, 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 10µs.

b) Mediciones en punto fijo

Se realizaron 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 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. CALCULO Y ANÁLISIS GRÁFICO DEL ANGULO NETO DE VISION AL CIELO

El ángulo neto de visión al cielo permite conocer 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. Las mediciones itinerantes de radiación solar registradas en el eje de la calzada de cada CVU, representan la radiación recibida en función del ancho total de la calle, delimitada por la altura de edificación a ambos lados de la misma y por el arbolado. A su vez la radiación solar que pasa a través de los árboles, varía en función de la permeabilidad de su copa, de acuerdo con la especie, el período de foliación, la estación climática del año, la cantidad de superposición entre los árboles y su estado de calidad sanitaria.

La incidencia de la forestación, se analizó en función de la superficie de calles y muros sombreados por la misma y de los tipos de superposición, junto a las diferentes permeabilidades arbóreas de cada especie para verano e invierno (Papparelli, A. et al , 1996).

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:

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

Siendo:

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

Siendo:

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

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

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

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

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 Tabla 1y relaciona área sombreada de superficie horizontal del CVU con permeabilidad arbórea y superposición de la arboleda.

Tabla 1: Cálculo del Coeficiente Total Combinado

CASO	Descripción	% de Super. (a%)	Coef. Dismin. p/ Superposición $1 - a/100 = (b)$	Coef. Aumento p/ Permeabilidad $0,5(1 - b) = (c)$	Coef. Total Combin. (C_{TC}) $b(1 + c) = (d)$
I	Copa aislada	0%	$1 - (0/100) = 1,00$	$0,5(1 - 1) = 0,000$	$1,00(1+0,000) = \mathbf{1,00}$
II	Copa baja superposición	25%	$1 - (25/100) = 0,75$	$0,5(1 - 0,75) = 0,125$	$0,75(1+0,125) = \mathbf{0,85}$
III	Copa media superposición	50%	$1 - (50/100) = 0,50$	$0,5(1 - 0,50) = 0,250$	$0,50(1+0,250) = \mathbf{0,63}$
IV	Copa alta superposición	75%	$1 - (75/100) = 0,25$	$0,5(1 - 0,25) = 0,375$	$0,25(1+0,375) = \mathbf{0,35}$

Sombra arbórea efectiva (S_{aef}) = Sombra arbórea equivalente x Coef. Total Combinado [Ec. 06]

Sombra Arbórea Equivalente (S_{aeq}) = Σ Arboles buen estado x Sup. proy. copa arbórea [Ec. 07]

3.1. Análisis radiativo

Los valores de radiación solar directa calculados para cada CVU se contrastaron con los calculados para el mismo día y hora en la estación meteorológica de punto fijo (tomada como referencia), a los efectos de obtener la diferencia (ΔR_{DIR}) entre éstos, asumiendo los valores medidos a los 12,0m de altura como los correspondientes a cielo abierto. De esta manera, la radiación del CVU fue restada a la de cielo abierto: un ΔR_{DIR} positivo indica que en el balance de la radiación están interviniendo elementos reflectantes que aumentan la radiación en ese CVU; un ΔR_{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 EDIFICIO Y ÁNGULOS NETOS DE VISIÓN AL CIELO

Los Angulos Netos de Visión al Cielo interrelacionados con los Angulos de Enmascaramiento Edificio para las dos tipos de 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 valor 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.

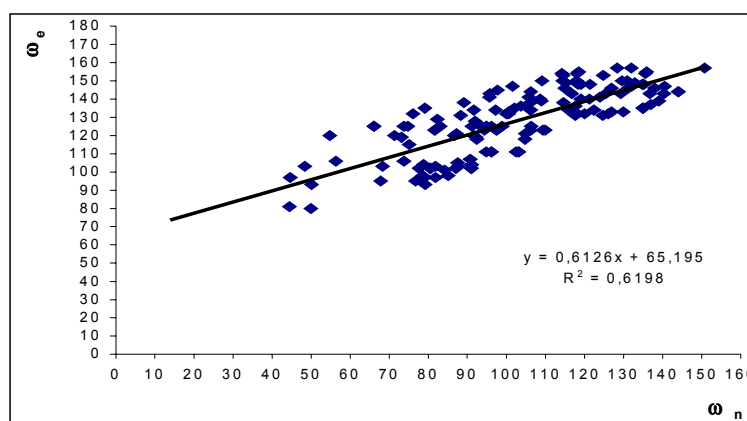


Figura 1: Correlación de Angulos Netos de Visión al Cielo con Angulos de Enmascaramiento Edificio.

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 (ω_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° , para la latitud de la ciudad de SAN JUAN (ARG.): $31^\circ 32'$ sur.

Las gráficas de correlación siguientes (Figuras 2 y 3) representan en las abscisas las diferencias de radiación solar directa entre cielo abierto y CVU considerado (ΔR_{DIR}) y en las ordenadas los Angulos Netos (ω_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 (ω_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 Edificio (ω_e), ángulos físicos reales posibles de aplicar en el diseño urbano y en consecuencia factibles de ser incorporados en un Código de Edificación.

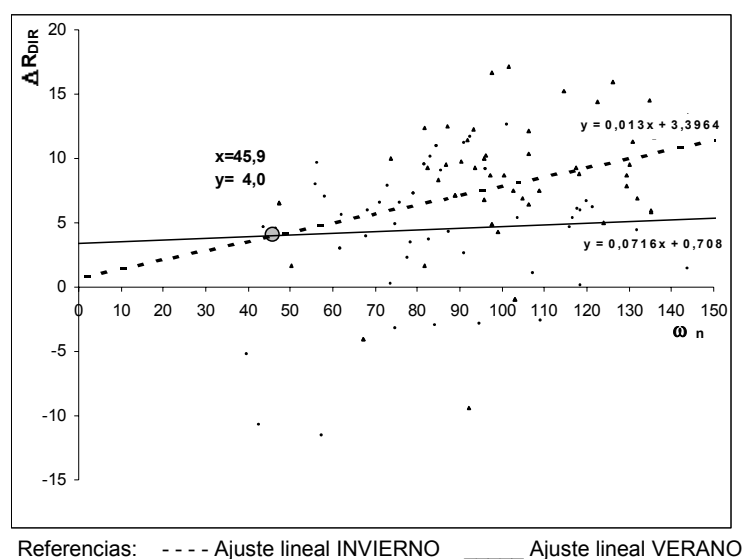


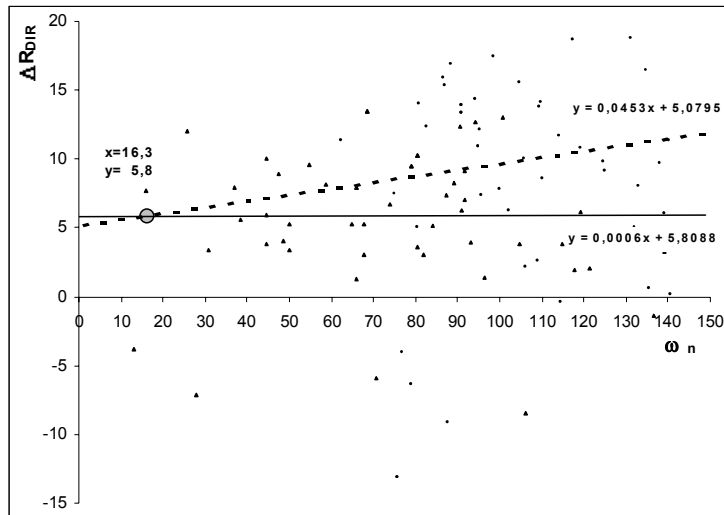
Figura 2: Relación Angulo Neto c/diferencias de radiación solar directa en CVU este-oeste (Invierno – Verano)

6. RESULTADOS

En ciudades de clima árido mesotermal de altura, los Angulos Netos de Visión al Cielo Optimos que aseguran un buen asoleamiento invernal y una buena protección estival en los CVU son: En CVU orientados este-oeste: $68^\circ 44'$; en CVU orientados norte-sur : $54^\circ 42'$, obtenido en Figuras 2 y 3.

De la correlación establecida en la Figura 1, se obtienen los Angulos de Enmascaramiento Edificio Optimos correspondientes:

En CVU este-oeste: $86^\circ 04'$, se asume **86°** ; en CVU norte-sur: $72^\circ 43'$, se asume **72°** .



Referencias: - - - - Ajuste lineal INVIERNO _____ Ajuste lineal VERANO

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

En los CVU este-oeste el ángulo óptimo de 86° 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 72° 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 ideales se consideran entre los 17,00m y 18,00m; por tanto en la Tabla 3 se presentan las alturas de edificación sobre línea de cerco que permiten los respectivos Angulos de Enmascaramiento Edificio Optimos, para ambas direcciones de CVU.

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 las Tablas 2 (a) y (b), es aconsejable que los Angulos de Enmascaramiento Edificio Optimo se aplique 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.

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

CANAL VIAL URBANO	ÁNGULO DE ENMASCAR. EDIFICIO OPTIMO (°)	ANCHO DE CALLE (m)	ALTURA DE EDIFICACION EN LINEA DE CERCO (m)	CANAL VIAL URBANO	ÁNGULO DE ENMASCAR. EDIFICIO OPTIMO (°)	ANCHO DE CALLE (m)	ALTURA DE EDIFICACION EN LINEA DE CERCO (m)
ESTE - OESTE	86°	15,00	8,04	NORTE - SUR	72°	15,00	10,32
		17,00	9,11			17,00	11,70
		18,00	9,65			18,00	12,39
		20,00	10,72			20,00	13,76
		21,00	11,26			21,00	14,45
		22,00	11,80			22,00	15,14
		25,00	13,41			25,00	17,20
		26,00	13,94			26,00	17,89
		30,00	16,09			30,00	20,65

Tabla 3: Correlación entre Angulos de Enmascaramiento Edilicio y Alturas de Edificación

ANCHO DE CALLE SEGÚN NORMA (m)	ORIENTACION DEL CVU	ÁNGULO DE ENMASCARAMIENTO EDIFICIO (°)	ALTURA DE EDIFICACION CALCULADA (m)	ALTURA DE EDIFICACION FINAL (m)
17,00	E-O	86°	9,11	9,10
	N-S	72°	11,70	11,70
18,00	E-O	86°	9,65	9,70
	N-S	72°	12,39	12,40

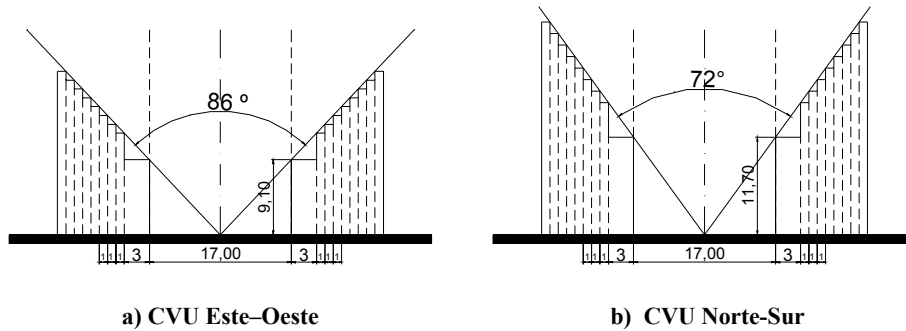


Figura 3: Perfil de calle y alturas óptimas en línea de cerco reglamentaria (Calle: 17,00m)

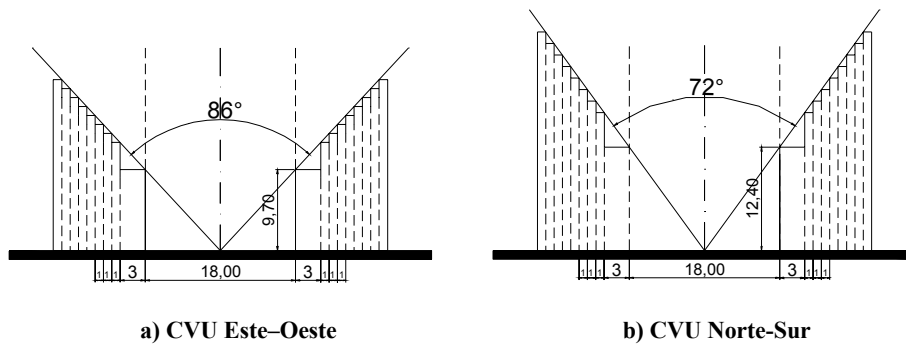


Figura 4: Perfil de calle y alturas óptimas en línea de cerco reglamentaria (18,00m)

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*. Volume 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.
- PEARLMUTTER, D. (1998) Street canyon geometry and microclimate. Designing for urban comfort under arid conditions. Proceedings of PLEA'98. Lisbon. Portugal. pp. 163 - 166.