

## GEOMETRIA OPTIMA DE CANALES VIALES URBANOS EN ZONA ARIDA

Alberto Papparelli<sup>1</sup>, Alejandra Kurbán<sup>2</sup>, Mario Cúnsulo<sup>3</sup>, Eduardo Montilla<sup>4</sup>  
Colaboradores: Carlos Herrera<sup>5</sup>, Andrés Ortega<sup>6</sup>

Area Arquitectura Ambiental - Facultad de Arquitectura, Urbanismo y Diseño - U.N.S.J.  
Santa Fé 198 oeste - 5400 SAN JUAN - ARGENTINA  
Tel: (0264) 4202664 - E-mail: [arqamb@unsj.edu.ar](mailto:arqamb@unsj.edu.ar)

**RESUMEN:** Se estudian las relaciones dimensionales de los Canales Viales Urbanos (CVU) de la ciudad de San Juan, en función de la incidencia de la radiación solar global en invierno y verano, analizando los ángulos de visión al cielo. Se analiza un muestreo de Canales Viales Urbanos de la ciudad de San Juan, en los que se efectúan relevamientos de sus elementos constitutivos y se registran mediciones de radiación solar global, temperatura y humedad en invierno y verano. Analizando el comportamiento a la radiación en las dos direcciones cardinales típicas del trazado urbano: este-oeste y norte-sur, se obtienen los Angulos Libres de Enmascaramiento Edificio y los Angulos Netos de Visión al Cielo que consideran la obstrucción que producen la edificación y la arboleda urbana a la radiación solar respectivamente. Correlacionadas las gráficas de ambas estaciones se definen los ángulos de visión al cielo óptimos, obteniéndose los CVU que presentan los mejores comportamientos a la radiación solar, como un aporte al potencial bioclimático urbano.

**Palabras clave:** radiación solar, canal vial urbano, arboleda pública.

### INTRODUCCIÓN

El balance térmico del clima en una ciudad depende de las diferentes combinaciones de sus elementos urbanos: Volumen edilicio, Densidad de edificación, Proporciones entre espacios abiertos y cerrados, Materiales constructivos, Superficies de terminación, Colores.

En trabajos anteriores (Papparelli et al, 1999) la Unidad Ejecutora estudió la interdependencia entre la **densidad edilicia** con las variaciones de **temperatura de bulbo seco** y **humedad relativa** urbanas. El presente trabajo incorpora resultados parciales del estudio de la **radiación solar** en los espacios abiertos de uso público específicamente 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; existiendo otros canales urbanos que no incorporan la vía de circulación vehicular. El comportamiento radiativo de los CVU depende particularmente del ancho de calzada y vereda, de la altura de edificación y del arbolado público. También influyen, aunque en menor medida, los materiales de terminación y sus colores.

Se han estudiado las siguientes relaciones:

- **Angulo libre de enmascaramiento edificio ( $\omega_e$ ):** ángulo plano con centro en el eje de la calle, formado por el enmascaramiento edilicio.
- **Angulo neto de visión al cielo ( $\omega_n$ ):** Fracción del ángulo libre de enmascaramiento edilicio, tomado con centro en el eje de la calle, considerando la arboleda pública y su permeabilidad la radiación solar para invierno y verano.

Debido a las diferentes condiciones de radiación solar estival e invernal y a los 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 homogénea, antes y después del mediodía. Debido a ello, el balance de radiación es diferente para canales orientados en el sentido este-oeste en relación a los orientados norte-sur. Por tal causa, los CVU se clasifican de acuerdo a su orientación y se analizan conforme la misma.

### RELEVAMIENTO DE CANALES VIALES URBANOS

El análisis se ejecutó seleccionando en todo el ejido de la ciudad, los Nodos Urbanos ubicados en los rumbos y medios rumbos en los que, desde el año 1991 se realizan en el área urbana mediciones climáticas itinerantes de temperatura y

<sup>1</sup> Profesor Titular UNSJ, Profesional Principal CONICET

<sup>2</sup> Profesor Titular UNSJ, Profesional Principal CONICET

<sup>3</sup> Profesional Adjunto CONICET

<sup>4</sup> Jefe de Trabajos Prácticos UNSJ

<sup>5</sup> Jefe de Trabajos Prácticos UNSJ

<sup>6</sup> Becario Perfeccionamiento UNSJ

humedad relativa (Papparelli et al, 1996, 1997a, 1997b, 1998). Los Nodos son 40: 5 por cada uno de los rumbos y medios rumbos. Cada Nodo Urbano se asumió como el encuentro entre dos calles (esquina); 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 50m hacia cada dirección cardinal. En ese espacio, se relevaron los siguientes elementos urbanos:

Calle: de línea de cerco a línea de cerco (Ancho calzada + Ancho vereda)

Edificación: Retiro de la línea de cerco a la línea de edificación - Altura de la edificación frentista.

Arboles: Especie hasta una distancia de 50m desde el cruce de calles - Tamaño de Copa, Fuste y Forma arbórea de la especie más representativa de los 50m

En la Figura 1, y a modo de ejemplo se presenta el plano de un Nodo Urbano con sus CVU.

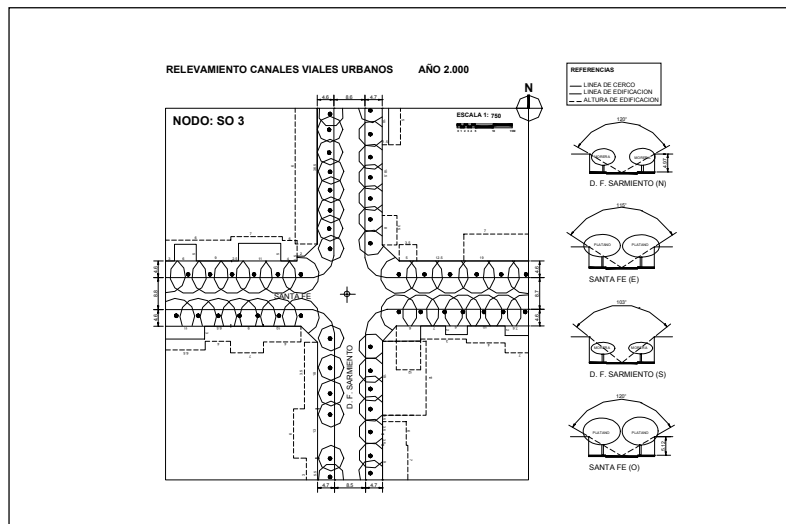


Figura 1: Plano de Relevamiento de un Canal Vial Urbano (CVU)

## MEDICIONES CLIMATICAS: INVIERNO Y VERANO, AÑOS 2000 Y 2001

### a) Mediciones itinerantes

En cada CVU, a 50m del cruce de calles y en el eje de las mismas, se tomaron registros de radiación solar global entre las 13:00hs y las 15:00hs con horario central a las 14:00hs, hora aproximada de mayor radiación solar según Estadística 1995/2000 (Area Arquitectura Ambiental, 2001). 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

Se realizaron con la Estación Meteorológica I (EM-I) localizada en el Area Eminentemente Urbana de la ciudad de San Juan. 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. La EM-I, está equipada con sensores de: Dirección y Velocidad de Vientos, Humedad Relativa, Temperatura de Bulbo Seco, y Radiación Solar Global y Difusa. Se encuentra localizada a una altura de 12,0m sobre el nivel del terreno natural, sin obstrucción edilicia cercana, lugar que garantiza una buena exposición y captación de las condiciones atmosféricas del área urbana. El sistema de adquisición de datos se programó para realizar tomas cada 60 minutos para temperatura y humedad relativa, y cada cinco minutos para radiación solar. Los valores de radiación minuto a minuto, se calcularon por interpolación.

## CALCULO Y ANÁLISIS GRÁFICO DEL ANGULO NETO DE VISION AL CIELO ( $\omega_n$ )

El ángulo neto permite conocer las relaciones geométricas de los CVU para el estudio de la radiación solar que incide sobre los mismos desde una fracción de la bóveda celeste. La obtención de dichos ángulos permite, junto con la radiación solar global medida, estudiar el comportamiento radiativo de cada CVU para verano e invierno y correlacionarlos entre sí.

Las mediciones itinerantes de radiación solar global registradas en el eje de la calzada de cada CVU, representan la radiación recibida por ese punto desde una fracción de la bóveda celeste en función del ancho total de la calle y delimitada por la altura de edificación a ambos lados de la misma y el arbolado público. A su vez la radiación solar que pasa a través de los árboles, varía en función de su permeabilidad, la cual depende de la especie, los periodos de foliación y la estación climática del año, la cantidad de superposición entre los árboles y su estado de calidad sanitaria. Al respecto y a los efectos del trabajo, se presupone un estado sanitario de la forestación asumiéndola con calidad media.

El estudio analiza dos tipos de ángulos de visión al cielo en la geometría radiativa del canal: **Angulo Libre de Enmascaramiento Edificio ( $\omega_e$ )** y **Angulo Neto de Visión al Cielo ( $\omega_n$ )**.

Debido a que por definición los CVU están conformados por el espacio que definen el ancho de la calle y la altura de edificación, se descartaron en el estudio aquellos que no constituían “canales” propiamente dichos, es decir aquellos que en alguno de sus lados o en ambos, no tuvieran límites construidos, lo que significa que sus ángulos libres de enmascaramiento edilicio izquierdo o derecho fuera igual a 90°. También fueron eliminadas las avenidas con boulevard, por tratarse de CVU atípicos para el análisis de radiación solar.

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, et al, 1996).

**a) Cálculo del ángulo libre de enmascaramiento edilicio**

Se obtuvo gráficamente de acuerdo a las características de altura de edificación de cada CVU.

**b) Cálculo del ángulo neto de visión al cielo**

Involucra considerar las superficies que reciben radiación solar y las sombreadas por la edificación y forestación. Los términos intervinientes en el cálculo se definen a continuación:

- Superficie irradiada ( $S_i$ ) = Superficie de calle (vereda + calzada) + Superficie de muros
  - Superficie arbórea efectiva ( $Sa_{ef}$ ) = Superficie arbórea real x Coeficiente total combinado
- El Coeficiente Total Combinado (Tabla I) considera los casos de superposición arbórea, combinando el área sombreada con la permeabilidad real de la arboleda.
- Para calcular el área sombreada, se descuenta un porcentaje representativo de dicha superposición.
  - Para calcular la permeabilidad arbórea compuesta, se aumenta un porcentaje que representa el incremento de la densidad de sombra debido a la superposición de las copas, reduciendo la permeabilidad a la mitad ( x 0,50).

| CASO | Descripción                 | Coeficiente de Disminución p/ Superposición | Coef. de Aumento p/reducción de Permeabilidad | Coeficiente Total Combinado |
|------|-----------------------------|---|---|-----------------------------|
| 1    | Arbol aislado               | 100,0 %                                     | 0,5 x 0 = 0,00%                               | 1 x 1,000 = 1,00            |
| 2    | Arbol superpuesto en un 25% | 75,0 %                                      | 0,5 x 25 = 12,5%                              | 0,75 x 1,125 = 0,85         |
| 3    | Arbol superpuesto en un 50% | 50,0 %                                      | 0,5 x 50 = 25,0%                              | 0,50 x 1,250 = 0,63         |
| 4    | Arbol superpuesto en un 75% | 25,0 %                                      | 0,5 x 75 = 37,5%                              | 0,25 x 1,375 = 0,35         |

Tabla I: Coeficientes combinados de superposición arbórea y permeabilidad

- Superficie arbórea neta invierno ( $Sa_n$ ) =  $Sa_{ef} (1 - \text{Permeabilidad de invierno})$
- Superficie arbórea neta verano ( $Sa_n$ ) =  $Sa_{ef} (1 - \text{Permeabilidad de verano})$
- Angulo neto de visión al cielo ( $\omega_n$ ) =  $\omega_e (1 - C_a)$

Siendo:

- $Sa_{ef}$  = Superficie arbórea efectiva: Sup. de proyección de copa arbórea considerando el grado de superposición entre ejemplares y además el índice combinado de permeabilidad entre especies en cada CVU.
- $\omega_e$  el ángulo libre de enmascaramiento edilicio
- $C_a$  coeficiente arbóreo: cociente entre la superficie arbórea neta ( $Sa_n$ ) (verano o invierno) y la superficie irradiada ( $S_i$ ):
- Coeficiente arbóreo ( $C_a$ ) = Superficie arbórea neta ( $Sa_n$ ) / Superficie irradiada ( $S_i$ )

• **Análisis radiativo**

Los valores de radiación solar global medidos en cada CVU se compararon con los registrados simultáneamente en la estación meteorológica de punto fijo (tomada como referencia), a los efectos de obtener la diferencia ( $\Delta R_G$ ) entre éstos, asumiendo los valores medidos a los 12,0m de altura como los correspondientes a cielo abierto. De esta manera, la radiación medida fue restada a la de cielo abierto: un  $\Delta R_G$  positivo indica que en el balance de la radiación están interviniendo elementos reflectantes que aumentan la radiación en ese CVU; un  $\Delta R_G$  negativo, indica por el contrario que la radiación en el canal es menor que la de cielo abierto.

**CORRELACIÓN ENTRE RADIACIÓN SOLAR Y ÁNGULOS DE VISIÓN AL CIELO**

Para cualificar las características dimensionales y arbóreas de cada CVU, en relación a la radiación solar global recibida en verano e invierno, se relacionaron los valores medidos de radiación solar con los ángulos de visión al cielo  $\omega_n$ . El cálculo respecto a la orientación de los canales (norte-sur y este-oeste), 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 hora solar: azimut 0°, altitud en invierno 35° y altitud en verano 82°, para la latitud de la ciudad de San Juan: 31° 32' sur.

- Canales norte-sur
  - Fachadas: al recibir radiación en forma tangente al plano (coseno del ángulo de incidencia a las 12 hora solar = 1) no fueron consideradas como superficies irradiadas.
  - Calzadas y veredas: toda la superficie de la calle fue incorporada al cálculo.
  - Forestación: las superficies arbóreas efectivas (sombras arbóreas ponderadas) se asumieron geométricamente como elipses, con ancho igual al ancho de la copa y largo proporcional al ángulo de incidencia de la radiación solar para invierno y verano.

- Canales este-oeste
  - Fachadas: se consideraron como superficies irradiadas sólo las fachadas norte ya que las que miran al sur, a las 12 hora solar están sombreadas todo el año.
  - Calzadas y veredas: toda la superficie de la calle fue incorporada al cálculo.
  - Forestación: por las alturas diferentes de la forestación urbana por especie y por edad, si la edificación supera la altura de los árboles, no se considera la sombra arbórea pues la permeabilidad a la radiación solar de la edificación es 0%; en cambio sí proyectan sombra los árboles cuya altura supera a la edificada. Por ello la superficie arbórea efectiva sólo se calculó en los casos en que la altura de edificación fuera menor que 6,5 metros cuando el CVU tuviera plátanos o eucaliptos y menor que 5,0 metros para el resto de las especies forestales. Al igual que en los canales norte-sur dicha sombra se asumió como una elipse.

Se ejecutaron gráficas de correlación representando en las abscisas los  $\omega_n$  y en las ordenadas los  $\Delta R_G$ . Los puntos de intersección de dichas rectas con las abscisas definieron el ángulo de visión al cielo a partir del cual comienzan a obtenerse en el CVU valores de radiación solar mayores a las registradas a cielo abierto. Las Figuras 2, 3, 4 y 5 muestran los ángulos netos de visión al cielo y los ángulos de enmascaramiento edilicio para todos los canales este-oeste y norte-sur, para invierno y verano.

Figura 2: Ángulos de enmascaramiento edilicio de CVU orientados este-oeste y norte-sur, para la estación invierno

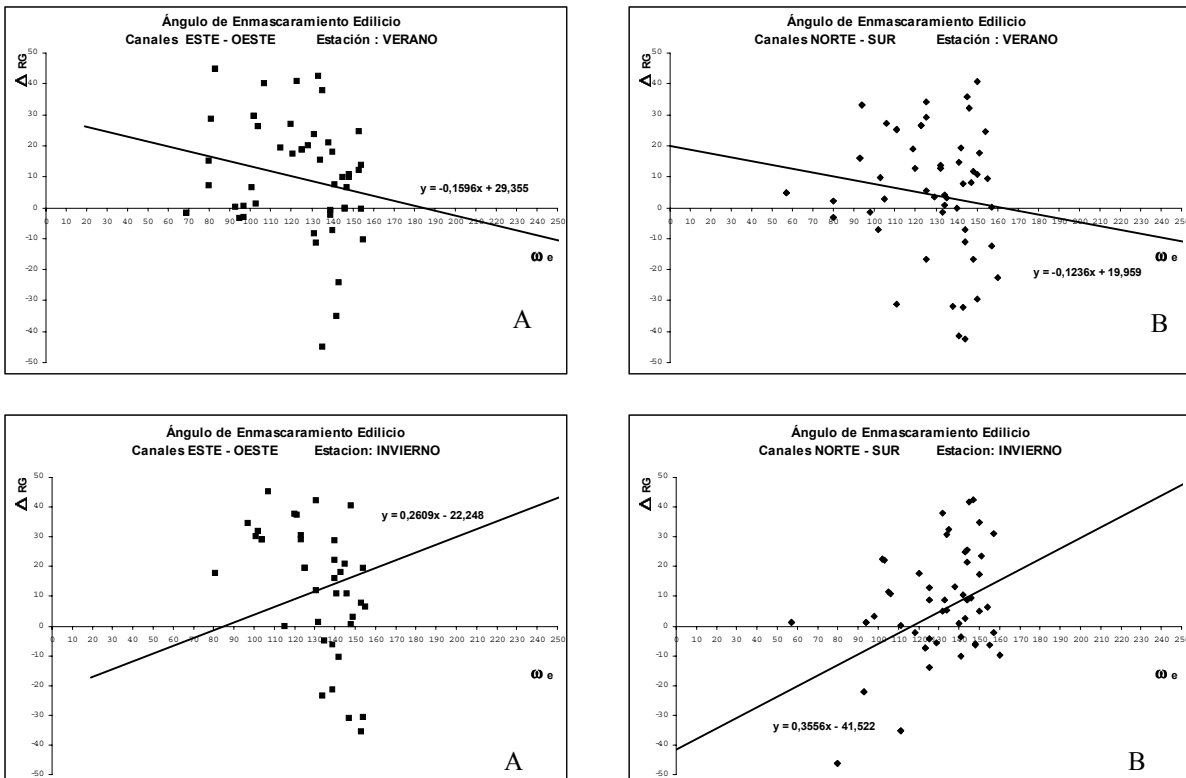


Figura 3: Ángulos netos de visión al cielo de CVU orientados este-oeste y norte-sur para la estación de invierno.

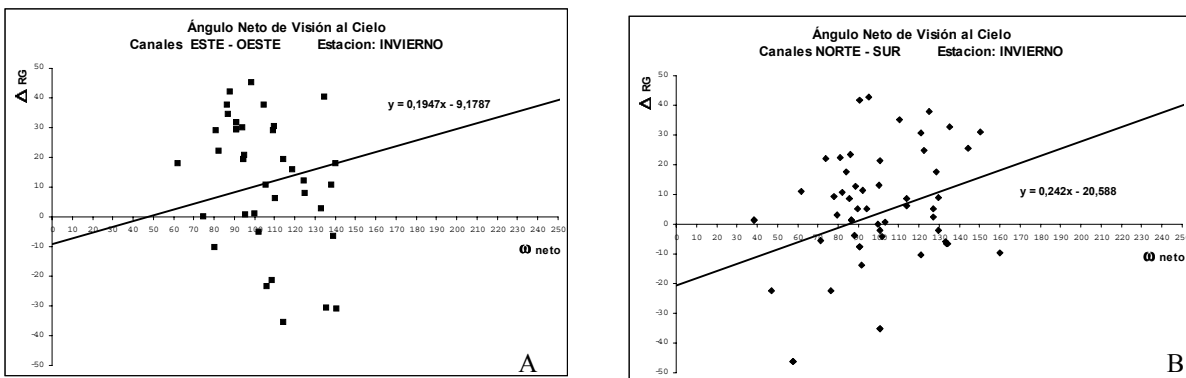


Figura 4: Ángulos de enmascaramiento edilicio de CVU orientados al este-oeste y norte-sur, para la estación verano.

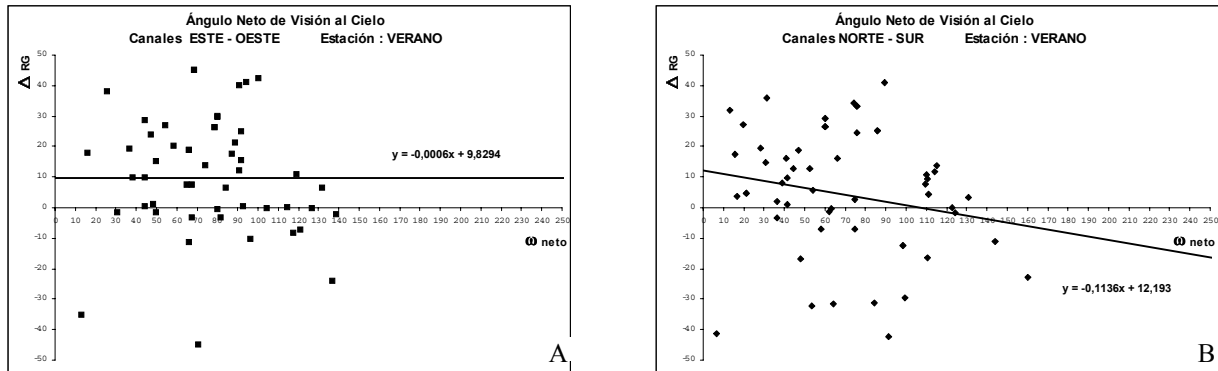


Figura 5: Ángulos netos de visión al cielo de CVU orientados este-oeste y norte-sur, para la estación verano.

Analizando interrelacionadamente los ángulos netos de visión al cielo con los ángulos de enmascaramiento edilicio para las dos orientaciones de CVU y para ambas estaciones climáticas, se obtiene una recta de regresión lineal que vincula ambas variables, la que se muestra en la Figura 6. Dicha recta permite conocer las diferentes características dimensionales de los CVU teniendo en cuenta la forestación y sin ella, y por tanto obtener el perfil de la calle considerando solo los elementos construidos, en función de los valores del ángulo neto de visión al cielo.

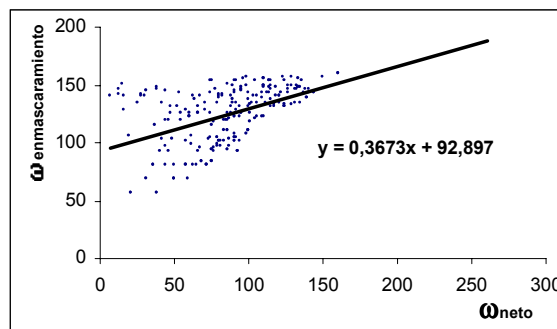


Figura 6: Correlación de ángulos netos de visión al cielo con ángulos de enmascaramiento edilicio.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Como se explicitó en la INTRODUCCIÓN, los resultados presentados constituyen un avance parcial del estudio de la radiación solar en los espacios abiertos de uso público.

De las Figuras 2, 3, 4, 5 y 6 se infiere:

CVU norte-sur verano: para ángulos netos de visión al cielo mayores a  $107^\circ$ , la radiación solar incidente es menor a la registrada a cielo abierto sin enmascaramiento, debido a que disminuye la influencia de la reflexión solar de las fachadas.

CVU este-oeste verano: en razón del ángulo de altitud solar, la radiación solar incidente es siempre superior a la de cielo abierto sin obstrucción, con valores prácticamente constantes ( $10 \text{ W/m}^2$ ).

CVU norte-sur invierno: para ángulos netos de visión al cielo superiores a  $85^\circ$ , la radiación solar incidente es mayor a la registrada a cielo abierto sin enmascaramiento, debido a que en forma alternada una de las dos fachadas constituye una superficie reflectiva.

CVU este-oeste invierno: para ángulos netos de visión al cielo superiores a  $48^\circ$  la radiación solar incidente es mayor a la registrada a cielo abierto sin enmascaramiento.

### ANGULOS DE VISION AL CIELO OPTIMOS

Los CVU este-oeste deberán tener un ángulo neto de visión al cielo mayor a  $48^\circ$ , lo cual equivale a un ángulo de enmascaramiento edilicio de  $110^\circ$ . Estas dimensiones cubrirán 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.

Los CVU norte-sur deberán tener un ángulo neto de visión al cielo comprendido entre 85° y 107°, equivalentes a 124° y 132° de ángulos de enmascaramiento edilicio. Estas dimensiones asegurarán menores reflexiones solares en verano y mayores en invierno.

---

En la actualidad se está trabajando en el estudio de la influencia de la arboleda urbana en el comportamiento de los canales a la radiación solar global y en la relación entre dicha radiación y la temperatura urbana. Asimismo se están analizando los coeficientes de forma de los CVU correspondientes al entorno de los ángulos de enmascaramiento seleccionados como óptimos por su comportamiento higrotérmico, para contar con una herramienta de diseño urbano bioclimático más versátil y normar las características dimensionales de los canales, incorporando la mayor cantidad de variables para las diferentes Bandas Urbanas Características de la ciudad.

## REFERENCIAS

- Area Arquitectura Ambiental (2001), Estadística climática: Estación meteorológica fija en Area Eminentemente Urbana
- 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. Volumen 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*. Revista nacional con referato de ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar) Tomo II; 09.5 a 09.8
- 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*. Revista nacional con referato de ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar) Volumen 3; N°2 - Pags. 11.01 a 11.04
- 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*. Revista nacional con referato de ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar) Volumen 2; 11.17-11-20
- Papparelli, A.; Kurbán, A.; Cúnsulo, M.; Montilla, E.; Herrera, C. (1997b) Variación Higrotérmica entre Area Urbana y No Urbana en una Zona Arida: Ciudad de San Juan. *Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente*. Revista nacional con referato de ASADES (Asociación Argentina de Energía Solar) Volumen 1, 225 - 228

**ABSTRACT:** The dimensional relationship of the Urban Lane Channel (ULCH) of the San Juan city, are studied. Those studies are made in relation to the incidence of the global solar radiation during winter and summer, analyzing the angles of sky vision. 112 ULCH are analyzed as an example of the urban space of the city of San Juan. In those examples, the measurement of the constitutive elements as well as the measurements of the global solar radiation, temperature and humidity are done, both during winter and summer. The angles of free mask and the net angles of sky view, considering the obstruction both of the buildings and public forest are obtained, analyzing the behavior of the solar radiation and differentiating them according to the two typical cardinal direction of the urban plan: east-west and north-south. In this way urban profiles are obtained presenting the best behavior with respect to the solar radiation, as a contribution to the urban bioclimatic potential.

**Keywords:** solar radiation, urban lane channel, public forest.