

EVALUACIÓN DEL FACTOR DE VISIÓN DE CIELO A PARTIR DEL PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES HEMIESFÉRICAS. INFLUENCIA DE LA CONFIGURACIÓN DEL CAÑÓN URBANO EN LA DISPONIBILIDAD DEL RECURSO SOLAR.

Correa, Erica. N^{1*}.; Pattini, Andrea^{2*}.; Córlica, M. Lorena^{1*}.; Fornés, Matías^{3*}.; Lesino, Graciela^{2}**

*Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda - Instituto Ciencias Humanas Sociales y Ambientales (LAHV - INCIHUSA)
Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas – CRICYT C.C.131 C.P. 5500 – Mendoza
Tel. 0261-4288314 Int. 270 – Fax 0261-4287370 E-mail: ecorrea@lab.cricyt.edu.ar

**INENCO - Instituto de Investigaciones en Energías No Convencionales – U.N.Sa.– CONICET. Universidad Nacional de Salta. Avda. Bolivia 5150 – CP 4400 – Salta Capital – Argentina. Tel. 0387-4255424 – Fax 0387-4255489 E-mail: lesino@unsa.edu.ar

RESÚMEN: El cálculo del factor de visión de cielo con las herramientas geométricas tradicionales ha demostrado ser lento y a menudo ineficaz; pues sus resultados son aplicables sólo a un limitado número de casos de estudio debido a la diversidad geométrica de los espacios y la variedad de componentes presentes en el área urbana que hacen sumamente complejo el cálculo de un valor que sea representativo de la realidad.

En este trabajo se presentan los resultados preliminares obtenidos a partir del desarrollo y uso de una herramienta computacional sencilla. La misma permite calcular el factor de visión de cielo en un punto determinado dentro del área de estudio, a partir del procesamiento de una imagen digital hemiesférica tomada con una lente de ojo de pez. La validez de esta técnica ha sido testada para varios casos de canales viales presentes en el área metropolitana del gran Mendoza y en distintas estaciones del año; y comparada con otras técnicas o metodologías disponibles para la obtención del parámetro SVF (sky-view factor).

Palabras clave: Factor de visión de cielo (SVF), imágenes hemisféricas, geometría del cañón urbano.

1. INTRODUCCIÓN

Con el objeto de calcular la disponibilidad del recurso solar o la porción de bóveda celeste disponible para el enfriamiento radiativo nocturno, en un espacio urbano o rural específico, es necesario conocer para cualquier instante a lo largo del día el impacto de la geometría del área de estudio sobre la cantidad de la radiación solar incidente (por ejemplo dentro de un cañón urbano, si un determinado punto dentro de su superficie recibe en un instante determinado radiación solar directa o no) y durante la noche la porción de bóveda celeste visible para el enfriamiento de las superficies radiantes dentro del espacio evaluado.

El factor de visión de cielo es un parámetro climatológico usado frecuentemente para caracterizar las condiciones radiativas presentes en un área determinada y expresa para un punto de observación la relación entre el área visible de cielo y la porción de bóveda celeste cubierta por los distintos componentes del medio ambiente ya sea urbano o rural (topografía, edificios, árboles, luminarias, mobiliario, etc.)

El factor de visión de cielo o SVF, (sky-view factor) por sus siglas en inglés, es un parámetro adimensional representado como un valor entre 0 y 1, el cual se aproximará a la unidad en un terreno abierto y plano y por el contrario en situaciones urbanas de gran cantidad de obstrucciones edilicias y forestales, su valor será considerablemente menor (Oke; 1992).

El impacto del SVF es de singular importancia en el balance radiativo de las ciudades como así también en los estudios que analizan la disponibilidad del recurso solar para el acondicionamiento termo-lumínico de los espacios. Es importante en la determinación de las tasas de enfriamiento radiativo nocturno y considerado uno de los elementos clave en la formación de isla de calor urbana (Oke et al, 1991).

En la actualidad no existe una técnica definitiva para el cálculo del SVF. Durante la década de los 80's las metodologías empleadas estaban principalmente basadas en el modelo geométrico de los cañones (Johnson & Watson; 1984). Estos modelos proveen una determinación relativamente rápida del parámetro cuando las dimensiones del cañón son conocidas; pero en la mayoría de los casos asumen condiciones ideales dentro del cañón urbano considerando solo un par de elementos. De este modo los resultados que derivan de estos métodos son sólo de carácter estimativo.

En nuestro caso; el área de estudio comprende el área metropolitana de la provincia conocida como “El Gran Mendoza”. Se trata de un espacio inconfortable cuya característica principal es la sequedad, la elevada heliofanía y la escasa frecuencia e intensidad de los vientos, exceptuando el zonda (Föhn mendocino). La ciudad cuenta además con un clima local especial, debido a la acción del hombre, que ha originado un oasis artificial al pie de la Cordillera de los Andes, con una importante

¹ Becaria Doctoral CONICET

² Investigadora CONICET

³ Programador

forestación del área urbana. (Endlicher, 1999). En la Figura 1, puede verse la importancia de la forestación urbana dentro de la trama de la ciudad.

En las condiciones presentes dentro del AMM (Área Metropolitana de Mendoza), es imposible la obtención del factor de visión de cielo a partir de modelos geométricos, por lo que para obtener un valor del parámetro de SVF más ajustado a la realidad, se propone el uso del procesamiento de imágenes digitales. Se muestra en la Figura 2 un ejemplo de imagen digital hemisférica tomada con lente de ojo de pez, donde se observa el horizonte local 360° alrededor del punto de estudio. De esta forma cualquier intrusión dentro de la hemisfera que representa la bóveda celeste tal como árboles y edificios puede diferenciarse claramente.

Finalmente en este trabajo se presentan los resultados preliminares de la aplicación de una herramienta informática sencilla para el procesamiento y cálculo del factor de visión de cielo o SVF a partir de imágenes digitales en condiciones predominantes de cielo claro y ciudades altamente reflectantes, típicas de los climas áridos de desierto; con fuerte componente de forestación urbana. Además se comparan los resultados alcanzados a partir de la implementación de este método, con los obtenidos a partir de otras herramientas de CAD disponibles para el mismo fin. Las comparaciones han sido realizadas para distintas dimensiones de canal vial presentes en el área de estudio, diferentes densidades edilicias y en condiciones de invierno y verano.



Figura 1. Muestra la importancia de la forestación urbana del AMM



Figura 2. Imagen hemisférica 180° cañón urbano.

2. METODOLOGÍA

Varias técnicas han sido desarrolladas para calcular el factor de visión de cielo a partir del procesamiento de imágenes digitales (Anderson, 1964; Steyn 1980). Sin embargo un problema común es distinguir con precisión la porción de bóveda celeste, de los árboles y los edificios dentro de la imagen. Esto sucede debido a que se presentan grandes variaciones en las condiciones medias de la obtención de las imágenes como son: la posición del sol, la homogeneidad del cielo, colores y texturas presentes dentro de la estructura del cañón, etc.; estas condiciones dificultan el desarrollo de un algoritmo objetivo que permita resolver todas las situaciones.

El programa PIXEL DE CIELO ha sido desarrollado en DELPHI 5.0 y opera en entorno Windows. Esta herramienta permite obtener el valor del factor de visión de cielo para un determinado punto a partir de imágenes digitales en formato JPG. Las mismas son tomadas con una cámara digital Nikon CoolPix equipada con una lente de ojo de pez. Para el procesamiento de las mismas se asume una proyección equiangular. La ventaja de usar una lente Nikon es que su proyección es cercana a la equiangular, en estudios realizados con anterioridad se encontró que sólo un valor de 0.3° de campo de visión queda excluido de la imagen. (Blennow, 1995).

Para el proceso de delineación de la imagen se seleccionan desde la misma los rangos de colores presentes en el cielo en formato RGB, denominando bajo al color más oscuro del rango y alto al más claro. A partir de esta diferenciación un píxel individual P(x, y) en la posición (x, y) dentro de la imagen asume un nuevo color Pt (x, y); correspondiendo blanco a los píxeles de cielo y negro a los demás.

Una vez que los píxeles de cielo han sido delineados, el cálculo del factor de visión de cielo o SVF ha sido desarrollado a partir del trabajo de Steyn (1980); en este trabajo se aproxima la integral (2) a una suma de senos y cosenos, a partir de la cual los SVF (factor de visión de cielo) pueden calcularse desde una imagen digital de ojo de pez delineada como una serie de n anillos concéntricos de igual ancho y desplazamiento angular α ; donde r_0 es el radio de la imagen digital. De esta forma la suma a lo largo del desplazamiento angular completo de cielo visible para cada anillo, representa la composición del factor de visión de cielo Ψ_s .

$$\Psi_s = \frac{1}{2r_0} \int_{\alpha} \int_r \sin\left(\frac{\pi r}{2r_0}\right) \cos\left(\frac{\pi r}{2r_0}\right) dr d\alpha \quad (2)$$

En la figura 3 pueden observarse el menú principal y las ventanas mediante las cuales se ejecuta la herramienta.

Los resultados obtenidos a partir de la aplicación del método de procesamiento de imagen digital propuesto, son contrastados con otro método de evaluación disponible. A través de la implementación del mismo se confeccionan estereografías con proyección de imágenes hemisféricas 180° de la volumetría del cañón urbano bajo estudio.

Las características volumétricas del recinto urbano son levantadas en 3-D en el programa gráfico Auto-Cad. Para la digitalización de las mismas se utilizan los datos de las planchetas catastrales del recinto analizado. DESKTOP RADIANCE 2.0 es un programa que trabaja en entorno de CAD, el cual permite la evaluación luminica de volumetrías complejas; una de las posibilidades que ofrece este simulador es la obtención de imágenes hemisféricas 180° del recinto analizado, a partir de las cuales se pueden obtener los parámetros necesarios para el procesamiento del SVF.

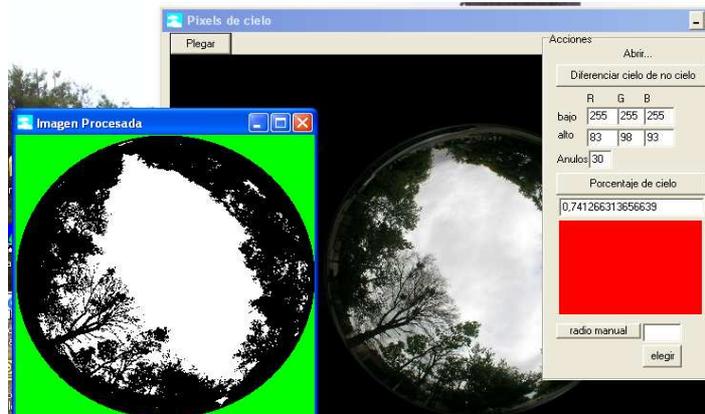


Figura 3: Formato de la ventana del Programa

3. CASOS ANALIZADOS Y RESULTADOS OBTENIDOS.

Con el objetivo de evaluar el comportamiento de la herramienta para el caso del AMM (área metropolitana de Mendoza) y valorar los beneficios de su aplicación en la determinación efectiva de los factores de visión de cielo (SVF), se han analizado distintas configuraciones urbanas de peso en la trama de la ciudad, para ello se han seleccionado casos dentro de tres rangos de ancho de canal vial: canales mayores de 20m, canales entre 20 y 10 m y canales menores a 10m. Además se han evaluado estos canales en condiciones de alta, media y baja densidad dentro de la trama urbana. En la Tabla 1 se observa la distribución de la densidad edilicia dentro del AMM y las características morfológicas de cada uno de los casos evaluados.

Tabla 1. Clasificación morfológica de los casos analizados.

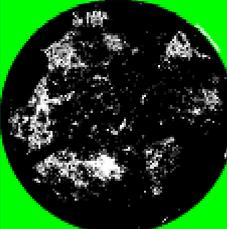
Distribución de las densidad edilicia dentro del AMM	Ancho canal vial	Densidad edilicia	Casos
	1. Superior a 20m 	1. Alta Densidad 	1 y 2
	2. 20m > 10m 	2. Media Densidad 	3
	3. 10m > 6m 	3. Baja Densidad 	4

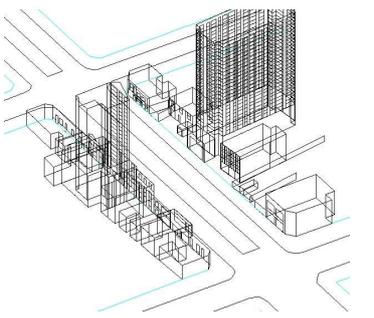
3.1. CASO 1

En el 1er caso evaluado se analizan los resultados de la aplicación de la herramienta para un cañón de alta densidad edilicia y canal vial de 31 m de ancho, en la figura 4 se muestra una foto transversal del cañón, en la figura 5 se puede ver la imagen hemisférica digital del espacio para las condiciones de verano, en la figura 6 lo mismo para invierno y en las figuras 7 y 8 se muestran los resultados del procesamiento digital de las imágenes mediante la ejecución de la herramienta desarrollada y los valores de SVF calculados.

A los efectos de comparar el funcionamiento del método propuesto con las herramientas tradicionales para el cálculo del factor de visión de cielo; a partir de las planchetas catastrales se ha levantado el cañón evaluado en CAD, esto se expone en

la figura 9, la volumetría ha sido incorporada al DESKTOP RADIANCE 2.0 y se ha obtenido su proyección hemiesférica, a partir de ella se obtienen los parámetros geométricos necesarios para calcular el factor de visión de cielo.

Cañón urbano	VERANO	INVIERNO	PIXEL DE CIELO	
			Verano SVF =0.12 	Invierno SVF=0.16 
Fig 4. Imagen Cañón	Fig 5. Hemiesférica verano	Fig 6. Hemiesférica invier	Fig 7. Resultado verano	Fig 8. Resultado invier

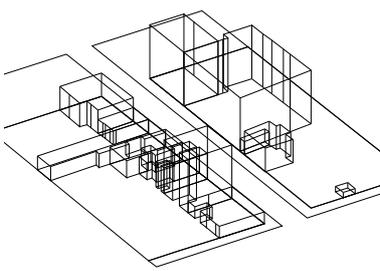
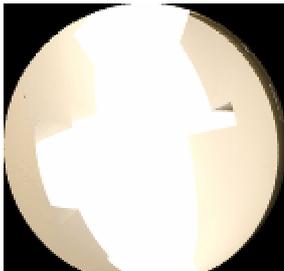
Volumetría	CAD-RADIANCE	SVF-
		0.76
Fig 9. Volumetría en CAD del cañón	Fig 10. Proyección hemiesférica de vol.	Fig 11. SVF de volumetría en CAD

Los resultados obtenidos revelan la incidencia en la porción de bóveda celeste visible, de la forestación y el mobiliario urbano presentes en el espacio; (0.12 verano o 0.16 invierno para la situación real registrada en imagen digital ojo de pez) versus 0.76 calculado a partir de la volumetría edilicia. En este caso la existencia de otros componentes urbanos disminuye el SVF un 80% respecto del que tendría el espacio por la sola existencia de la edificación.

3.2. CASO 2

En el 2do. caso se evalúa el comportamiento del método para un cañón de alta densidad construida pero menor ancho de canal vial (20 m). Las figuras 12 a 19 muestran los resultados de la implementación del mismo proceso que el descrito en 1er caso.

Cañón urbano	VERANO	INVIERNO	PIXEL DE CIELO	
			Verano SVF =0.13 	Invierno SVF=0.30 
Fig 12. Imagen Cañón	Fig 13. Hemiesf. verano	Fig 14. Hemiesf. invierno	Fig 15. Resultado verano	Fig 16. Resultado invier

Volumetría	CAD-RADIANCE	SVF-
		0.73
Fig 17. Volumetría en CAD del cañón	Fig 18. Proyección hemiesférica de vol.	Fig 19. SVF de volumetría en CAD

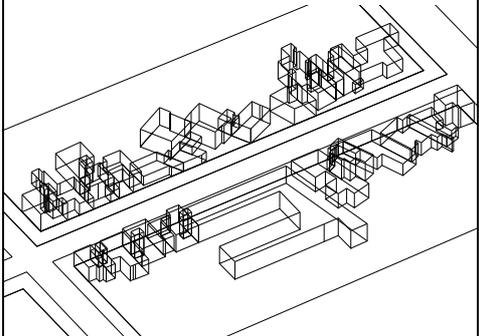
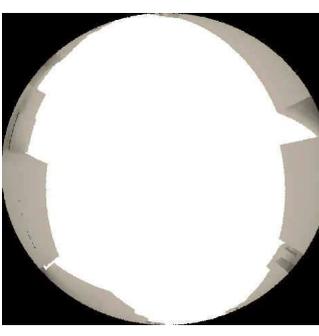
Al igual que en el primer caso se observa la importancia del resto de los componentes urbanos (además del edificio), sobre la porción de bóveda visible, que para este caso incrementan el bloqueo en un 80 a 60 % respecto del originado por la componente edilicia. Otro aspecto interesante de evaluar es que el bloqueo que la edilicia ofrece en el caso 1 y 2 es de orden muy semejante sin embargo del procesamiento de la imagen digital en el segundo caso se observa una mayor variabilidad estacional de la porción de bóveda celeste. Esto puede explicarse por la naturaleza de las especies forestales presentes en los recintos (tipas-tipuana tipu- en el primer caso y plátanos-platanus acerifolia-, en el segundo) si bien ambas especies son de primera magnitud la tipa es semicaducifolia, mientras que el plátano es caducifolio (aunque pierde sus hojas en forma tardía -mes de agosto-), lo que explica que en el segundo caso exista mayor variedad estacional en el valor del SVF procesado.

3.3. CASO 3

En el 3er. caso se evalúa el comportamiento del método para un cañón de media densidad construida y ancho de canal vial de 19m. Las figuras 20 a 27 presentan los resultados de la implementación del mismo proceso que el descrito en los casos anteriores.

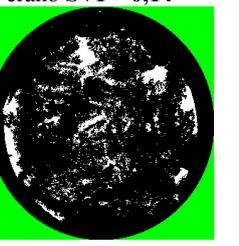
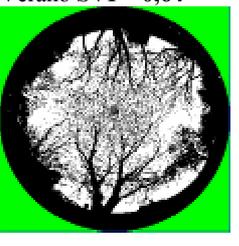
Los resultados muestran que la incidencia de la forestación urbana en la porción de cielo visible; sobre todo en el caso de especies de primera magnitud, como las que se encuentran presentes en los casos seleccionados para el estudio, es mucho más notoria a medida que la densidad edilicia disminuye. En este caso la componente edilicia bloquea solo un 15% de cielo mientras que la realidad forestada bloquea entre un 82% en verano a un 45% en invierno. Al mismo tiempo; para una misma especie, la disminución de la densidad edilicia trae como consecuencia una mayor variabilidad estacional del valor del SVF. En este caso hay un incremento del 37% en la porción de bóveda celeste disponible para el recinto evaluado en invierno.

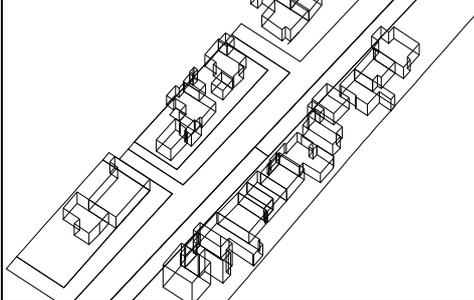
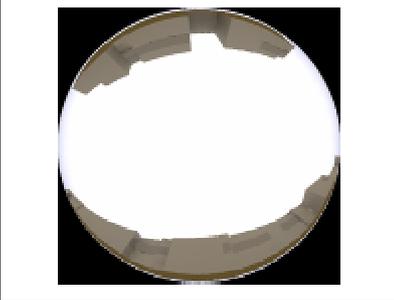
Cañón urbano	VERANO	INVIERNO	PIXEL DE CIELO	
			Verano SVF= 0,18 	Invierno SVF=0,55 
Fig 20. Imagen Cañón	Fig 21. Hemiesf. verano	Fig 22. Hemiesf. invierno	Fig 23. Resultado verano	Fig 24. Resultado invier

Volumetría	CAD-RADIANCE	SVF-
		0.85
Fig 25. Volumetría en CAD del cañón	Fig 26. Proyección hemiesférica de vol.	Fig 27. SVF de volumetría en CAD

3.4. CASO 4

En el 4to. caso se evalúan los resultados de la implementación del método para un recinto con canal vial de 10 m de ancho en condiciones de baja densidad edilicia y presencia de especies forestales de primera magnitud. Las figuras 28 a 35 presentan los resultados de la implementación del mismo proceso que el descrito en los casos anteriores.

Cañón urbano	VERANO	INVIERNO	PIXEL DE CIELO	
			Verano SVF= 0,14 	Verano SVF= 0,64 
Fig 28. Imagen Cañón	Fig 29. Hemiesf. verano	Fig 30. Hemiesf. invierno	Fig 31. Resultado verano	Fig 32. Resultado invier

Volumetría	CAD-RADIANCE	SVF-
		<p style="text-align: center;">0.90</p>
Fig 33. Volumetría en CAD del cañón	Fig 34. Proyección hemiesférica de vol.	Fig 35. SVF de volumetría en CAD

De su análisis resulta que la realidad urbana digitalizada en la imagen hemiesférica muestra un bloqueo del 86% de la bóveda en verano y del 36 % en el invierno, versus la edificación que en este caso obstruye solo un 10%. También se observa una disminución del 50% de la obstrucción de invierno respecto a la de verano.

4. CONCLUSIONES

En este trabajo se describe y analizan los resultados de la implementación de una técnica sencilla que permite la estimación rápida del factor de visión de cielo, mediante el procesamiento digital de imágenes hemiesféricas. En los distintos casos analizados se observa la ventaja de operar con esta técnica versus el cálculo de los parámetros geométricos que componen un determinado recinto urbano con el objeto de obtener el factor de visión de cielo.

Para las distintas densidades edilicias y anchos de canales viales, evaluados; se observa, tanto en invierno como en verano, un error en la obtención del SVF a partir de la configuración geométrica de los recintos, que oscila entre el 40% y el 600 %, de sobrestimación, con respecto al valor real, este valor representa una desviación muy importante a la hora de evaluar la disponibilidad del recurso solar o las tasas de enfriamiento nocturno. Además se observa claramente que ésta desviación es producida por la intensa forestación urbana presente en el área de estudio, la cual en la mayoría de los casos supera en altura a los edificios o viviendas presentes en la configuración analizada.

Dentro de zonas sísmicas y desérticas (canales viales anchos versus el modelo de la ciudad compacta de desierto), como es el caso del área de estudio, la cual posee además una configuración de oasis, es interesante analizar con profundidad el rol que las distintas especies forestales presentes en la trama y su efecto sobre los balances radiativos de los recintos, para este tipo de estudios esta herramienta resulta de suma utilidad.

Finalmente cabe destacar que dentro de la metodología propuesta la delimitación incorrecta de la imagen es la causa de error más común durante el procesamiento. Esto se debe a la dificultad de mantener homogeneidad en la composición de cielo a lo largo de una campaña completa de adquisición de imágenes digitales hemiesféricas con el fin de caracterizar un gran número de configuraciones presentes en el área de estudio. Esta parte de la metodología está siendo analizada con detenimiento a fin de optimizar y homologar las condiciones de adquisición y procesamiento de la imagen que mejoren la precisión del método para las características presentes en la ciudad, es decir mayoría de días del año con cielo claro o semiclaro y superficies urbanas claras.

5. TAREAS A FUTURO

Se pretende optimizar la metodología con el fin de patentar el software y ofrecer al medio una herramienta de análisis efectiva y de distribución libre.

6. REFERENCIAS

- Anderson, M.C. (1964) Studies of woodland light climate. *Journal of Ecology* 52 pp27-41
- Blennow, K. (1995) Sky view factors from high resolution scanned fish-eye lens photographic negatives. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 12. pp1357-1362
- Endlicher, W (1999) Concepción y Metodología del proyecto Mendoclima. *Rev. Meridiano* ISSN 0328-543X
- Johnson, G.T. & Watson, I.D. (1984) The determination of view-factors in urban canyons. *Journal of Applied Climate and Meteorology* 23. pp329-335
- Oke, T.R., Johnson, G.T., Steyn, D.G., & Watson, I.D. (1991) Simulation of surface urban heat islands under 'ideal' conditions at night. Part 2: Diagnosis of causation. *Boundary- Layer Meteorology* 56 pp339-358
- Oke, T.R. (1992) *Boundary Layer Climates*. Routledge pp232,237,286,288,293-294.
- Oke, T.R (1982) The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal Royal Meteorological Society* 108 (45) 1-24.
- Steyn, D.G. (1980) The calculation of view-factors from fisheye-lens photographs: Research. Note. *Journal of Atmospheric and Ocean Sciences* 18.3 pp254-258
- Steyn, D.G., Hay, J.D., Watson, I.D. and Johnson, G.T. (1986) The determination of sky-view factors in urban environments using video imagery. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 3 pp759-764

ABSTRACT : The calculation of the sky view factor from studies based around the geometrical modelling of canyons can prove to be slow and ineffective, due to such methods do provide a rapid appraisal of SVF when canyon dimensions are known, but at best they assume 'ideal' canyons with just a couple of elements under consideration. Hence, calculations of SVF provided by these approaches are often just estimates.

This paper outlines a rapid and accurate automated digital approach to calculating SVF parameter from hemispherical digital imagery and it present the preliminary results obtained from their application. The validity of these new techniques was tested by a comparison with other manual methodologies which produced nearly identical results applied to different urban canyon configurations and building density.

Keywords: Sky view factor (SVF), hemispherical digital imagery, urban configuration.