

DESARROLLO DE UN MODELO GRÁFICO-COMPUTACIONAL PARA LA DETERMINACIÓN DE LA RADIACIÓN SOLAR INCIDENTE SOBRE FACHADAS POTENCIALMENTE COLECTORAS EN MEDIOS URBANOS

Miguel A. Atencio(*)

Carlos de Rosa(**)

José Luis Cortegoso(***)

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda (LAHV). Instituto de Ciencias Humanas, Sociales y Ambientales (INCIHUSA). Centro Regional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CRICYT)

C.C. 131. C.P. 5500. Mendoza. Argentina

Tel: 54-61-288797. Fax: 54-61-297370. E-mail: NTCRICYT @ARCRIBA.EDU.AR

INTRODUCCIÓN:

En la Argentina, la implementación de niveles más elevados de conservación de energía y utilización de recursos climáticos en edificios, debería comenzar la etapa de planificación.

Desde el punto de vista de esta futura planificación urbana y energética, resulta imprescindible cuantificar el potencial de ahorro de energía para calefacción de espacios, obtenible mediante la aplicación de nuevas tecnologías bioambientales, en los edificios que componen el parque habitacional y terciario en ciudades, particularmente en la zona del centro-oeste de Argentina que presenta inviernos templado-fríos con valores de grado-día anuales de calefacción entre 1300 y 2600°C.

Teniendo presente que el grado de urbanización del país es elevado, (aproximadamente 75%), y que esta tendencia es creciente, significa que un porcentaje elevado del parque edilicio residencial y terciario se insertará en medios eminentemente urbanos, los que por sus características, modificarán sustancialmente el potencial de conservación de energía y el acceso a los recursos del clima en edificios.

En regiones como las del centro-oeste de la Argentina, cuyos climas templado-áridos presentan un generoso recurso solar (16.5 a 20 MJ/m² día), es indispensable conocer con precisión, las limitaciones que las características volumétrico-espaciales del sistema urbano impondrán al aprovechamiento de la radiación solar para acondicionamiento ambiental.

Las conclusiones a las que se pretende arribar permitirán elaborar pautas, rangos y recomendaciones útiles para la futura elaboración de un documento transferible, que contemple estos aspectos.

La ciudad de Mendoza, con una población de 700.000 habitantes, -32.88° de latitud sur, 68.85° de longitud oeste y 825 m.s.n.m. de altitud, fue tomada como caso-base para el desarrollo de un proyecto trienal de investigación y desarrollo: "Diseño Urbano Bioclimático", financiado por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), de Argentina.

(*) Becario de Perfeccionamiento CONICET.

(**) Investigador Independiente CONICET

(***) Profesional-Principal CONICET

Los entornos dominantes de la ciudad de Mendoza, se ajustan a la traza en cuadrícula, típicas de las ciudades de fundación hispánica, aproximadamente regular, con pequeñas desviaciones, menores de 13° de sus directrices con respecto a los puntos cardinales, y con diferentes grados de densificación.

Mediante la utilización de modelos computacionales, se ha podido obtener el porcentaje de asoleamiento de las fachadas potencialmente colectoras al norte.

El relevamiento de los datos, fue limitado a los entornos urbanos más representativos de la ciudad, y se utilizaron como fuentes: planchas aerofotogramétricas, planos manzaneros y planillas catastrales, compatibilizándose luego los datos, y realizando, incluso, verificaciones "in situ", en los casos necesarios.

SELECCIÓN:

Teniendo en cuenta usos de suelos homogéneos, regularidad de la cuadrícula y densidades de edificación diferentes (alta, media, y baja), se definió una muestra de análisis de 37 manzanas distribuidas en: 9 manzanas de alta, 11 de media y 17 de baja densidad.

Un programa de computación, permite la carga y recuperación analítica y gráfica de la información consignada, como así también el cálculo de los diferentes parámetros dimensionales: superficies y volúmenes por edificio y por conjunto, realizando además una clasificación tipológica de acuerdo a las características morfológicas de los edificios. Finalmente, una rutina de cálculo permite definir sus características energéticas, utilizando la información relevada. (ESTEVEZ, A. et al) [1].

Con el objeto de convalidar los resultados del Modelo de Acceso al Sol previamente desarrollado ha sido diseñado recientemente, un programa computacional que se encuentra hoy en etapa de ajuste y que, a partir de la utilización del Programa AUTOCAD, permite la recuperación gráfica de la información mediante la representación de axonometrías vistas desde el sol, para un día y hora determinado. (Fig. 1)

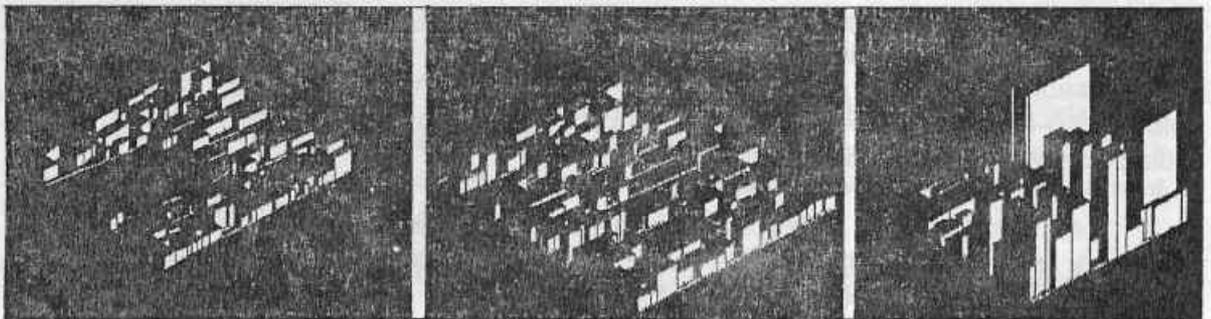


Fig. 1: Axonometrías vistas desde el sol de manzanas urbanas de diferente densidad

De esta forma, una vez que concluya la etapa de ajuste del modelo, se habrá obtenido una nueva herramienta de cálculo de fachadas potencialmente colectoras.

El aporte de ambos modelos al conocimiento del potencial solar de entornos consolidados, sumados a la identificación de los principales índices urbanos surgidos en la primera fase del estudio (ATENCIO, M. et al) [2], pretenden realizar aportes sustanciales que sirvan de base a futuras normativas edilicias, interesadas en asegurar los derechos ciudadanos al pleno acceso al sol.

CÁLCULO DE ÁREAS DE FACHADAS ASOLEADAS:

El cálculo de asoleamiento en volumetrías complejas, es difícil de realizar mediante métodos analíticos o gráficos comunes. Por tal motivo, se elaboraron: un modelo analítico-computacional (Modelo de Acceso al Sol), y recientemente un modelo gráfico-computacional (Modelo Gráfico de Cálculo), capaces de determinar para cualquier momento del año y para cualquier latitud, el área asoleada de edificios expuestos al norte.

Utilizando el primero de estos modelos, se calcularon los conjuntos urbanos seleccionados obteniendo la relación porcentual de la sumatoria de áreas asoleadas respecto a la sumatoria total de las superficies verticales capaces de coleccionar energía solar en períodos de invierno, con un barrido $\pm 45^\circ$ respecto del norte. Esto representa el mayor o menor acceso al sol en un conjunto dado.

Los valores hallados, demostraron que las variables urbanas que mostraron mayor sensibilidad con respecto a la variación del acceso al sol, fueron: la densidad volumétrica y la altura media (BASSO, M. el al) [3], pero la necesidad de corroborar los resultados obtenidos, impulsó el diseño del modelo gráfico de cálculo, a partir de la utilización del programa AUTOCAD.

JUSTIFICACIÓN DE LA ELECCIÓN DEL PROGRAMA AUTOCAD PARA DESARROLLAR EL MODELO GRÁFICO DE CÁLCULO:

En primer lugar, se eligió este programa por considerarse que su uso permitía volver a una de las etapas iniciales del análisis, previas al modelo analítico, que fue un modelo gráfico que, a partir de la carga de datos de la volumetría y de los valores de azimut y altitud solares, obtuviera perspectivas axonométricas vistas desde el sol, y donde los haces de radiación sobre las fachadas fueran cortados de manera normal a la dirección de los rayos, obteniendo secciones en verdadera magnitud.

El inconveniente aparecido en esa oportunidad, fue el desarrollo de las partes del programa que debían graficar el conjunto, *eliminando las líneas ocultas de la volumetría*. Esta dificultad quedó salvada a través del comando HIDE, de AUTOCAD.

En segundo término, el programa AUTOCAD, permitía a partir de la confección de un subprograma en lenguaje Autolisp, aprovechar la carga de datos digitalizados con se contaba, y que conformaban los archivos de bloques del modelo analítico.

Finalmente, como parte de los objetivos principales del trabajo de investigación, se mantuvo siempre presente la idea de crear una herramienta de fácil manejo, que haciendo uso de uno de los programas de diseño asistido por computadora más difundidos, facilitara la interpretación y aplicación de estrategias solares pasivas al caso particular del diseño urbano, convirtiéndolo en un método directamente transferible a un sector numeroso de profesionales.

DISEÑO DE PROGRAMAS COMPLEMENTARIOS:

La convalidación de los resultados obtenidos en el Modelo de Acceso al Sol, implicaba diseñar un programa que, a partir de un modelo gráfico, permitiera la recuperación de imágenes mediante la utilización del programa AUTOCAD. Para tal fin, y teniendo en cuenta que este programa, a pesar de su gran potencial, fue concebido como una herramienta de dibujo asistido y no de cálculo, fueron diseñados dentro del

Laboratorio de Ambiente Humano y Vivienda del INCIHUSA, una serie de programas complementarios. Estos fueron: MANCAD.BAS, READER.LSP y ARSOL.BMP.

Programa MANCAD.BAS: Ordena la información contenida en los archivos de bloque, identificando con la letra "m", los cuatro pares de coordenadas de la manzana separados por comas; con la letra "b", los pares de coordenadas de los bloques de edificios separados por comas, y su altura en metros, considerando 3 metros, por cada nivel construido; y con la letra "p", los pares de los bloques de patios o lotes sin edificar, representados con nivel 0 (cero).

Programa READER.LSP: Permite leer los archivos de las manzanas a analizar guardados en código ASCII, cuyos datos habían sido previamente ordenados por el programa MANCAD.BAS. Una subrutina, asigna a cada fachada de los volúmenes edificios, un color predeterminado para cada orientación.

De esta forma, pueden conocerse con exactitud, las áreas potencialmente colectoras a cada una de ellas, inclusive para otro hemisferio, con sólo identificar la posición del sol respecto al norte, a través de sus coordenadas geográficas.

Los colores elegidos son: blanco para las fachadas Norte; cyan para las fachadas Sur, rojo para las fachadas Este; verde para las fachadas Oeste, y azul para los techos, patios y lotes sin edificar. La manzana es dibujada en la pantalla como perspectiva axonométrica vista desde el sol, en una posición fija dada por programa, que muestra la menor deformación, en modo transparente y sin ocultar líneas.

Seguidamente el comando SHADE de AUTOCAD, permite observar las fachadas de la volumetría analizada, con los colores asignados a cada orientación. Paralelamente, se calcularon los valores de azimut y altitud, y se calcularon también las coordenadas espaciales en metros, para los ejes x e y. Para el eje z (que indicaba la posición del sol), se tomó un valor fijo de 1000 metros. El objetivo fue variar la posición de la axonometría, ingresando las coordenadas de la manzana hora a hora, para los días 15 de abril, 15 de mayo, 11 de junio, 17 de julio, y 16 de agosto, indicativos de una estación de calefacción, entre las 9 y las 15 horas. La TABLA 1 muestra el cálculo para el 11 de junio (Juliano 162).

TABLA 1: Cálculo de los valores de x e y, para un valor fijo de z =1000 m.

Día Juliano	Día Calendario	Hora Solar	Altura en °	Azimut en °	x metros	z metros	y metros
162	11 de Junio	9:00	19.61	223.67	-954.62	1000.00	492.56
		10:00	27.30	211.17	-604.91	1000.00	603.22
		11:00	32.42	196.38	-293.94	1000.00	661.98
		12:00	34.22	180.00	0.00	1000.00	680.11
		13:00	32.42	163.62	293.94	1000.00	661.98
		14:00	27.30	148.83	604.91	1000.00	603.22
		15:00	19.61	136.33	954.62	1000.00	492.56

De ese modo, se obtuvieron los gráficos en donde aparecían las áreas potencialmente colectoras hora a hora que una vez medidas, serían comparadas con los valores calculados por el modelo analítico-computacional. Previamente, fueron convertidos a archivos de extensión .TGA desde AUTOCAD (en color), y mediante la utilización de un utilitario gráfico (PHOTO-PAINT), fueron transformados a archivos de

extensión .BMP (en blanco y negro). Esta conversión de color a blanco y negro, mostraba: "iluminada" solamente el área potencialmente colectora orientada al norte (identificada por el color blanco), dado que por defecto, la gama de colores oscuros, era convertida por el PHOTO-PAINT, al negro.

Por consiguiente, sólo restaba diseñar un programa de cálculo, que midiera la relación porcentual de blancos y negros del nuevo archivo gráfico de pantalla, a partir de dos valores conocidos: la superficie del pixel, y la resolución de un monitor color Super VGA. Estos valores son los siguientes:

- a) Area de pixel: 0.0086 cm
- b) Resolución de pantalla: 650 líneas en sentido vertical x 480 líneas en sentido horizontal

Programa ARSOL.BMP: Luego de sucesivos ajustes, se corrieron a modo de prueba, volumetrías sencillas de área conocida, de donde surgió la necesidad de aplicar el factor de escala al archivo gráfico, para permitir mantener en verdadera magnitud, la relación gráfico-pantalla. Este aspecto, fue contemplado desde el mismo AUTOCAD, donde la primer imagen gráfica (en color), antes de grabarla, era rodeada por un marco de referencia. Los valores de ancho y alto de la imagen, eran medidos mediante el uso del comando DIST de AUTOCAD, para luego ser llevados a una tabla. (TABLA 2)

TABLA 2: Dimensiones en ancho y alto, del marco de referencia gráfico-pantalla

HORA	MANZANA		MANZANA		MANZANA	
	BAJA DENSIDAD		MEDIA DENSIDAD		ALTA DENSIDAD	
	Ancho	Alto	Ancho	Alto	Ancho	Alto
9:00	3181.00	1162.00	2739.00	1128.00	3254.00	1808.00
10:00	2958.00	1165.00	2626.00	1429.00	3049.00	1996.00
11:00	2834.00	1753.00	2303.00	1499.00	2696.00	1822.00
12:00	2556.00	1695.00	1966.00	1337.00	2326.00	1682.00
13:00	3034.00	1687.00	2479.00	1434.00	2666.00	1801.00
14:00	3526.00	1814.00	2805.00	1471.00	2930.00	1783.00
15:00	3461.00	1609.00	2864.00	1076.00	2969.00	1625.00

CÁLCULO DE LA SECCIÓN DEL PRISMA DE RADIACIÓN INCIDENTE SOBRE UNA SUPERFICIE COLECTORA NORTE:

Teniendo en cuenta que las axonometrías graficadas en pantalla, muestran una representación plana de la imagen, fue necesario calcular la sección del prisma de radiación incidente sobre las fachadas "iluminadas" que aparecen perspectivadas, para obtener los valores de área asoleada en verdadera magnitud. El análisis se realizó de la siguiente manera:

- a) En sentido horizontal (ver Fig. 2)

Datos:

a = ancho de la fachada Norte

α = azimut - 180°

ap = ancho de la sección horizontal

$ap = a \times \cos \alpha$

- b) En sentido vertical (ver Fig. 3)

Datos:

b = altura de la fachada Norte

β = altitud

bp = altura de la sección vertical

$bp = b \times \cos \beta$

$$A_p = a \times b (\cos \alpha) \times b (\cos \beta)$$

$$A = a \times b = A_p / (\cos \alpha \times \cos \beta)$$

$$A_p = a (\cos \alpha) \times b (\cos \beta)$$

A = Area en vista plana

Por lo tanto: $A_p = a \times b (\cos \alpha \times \cos \beta)$

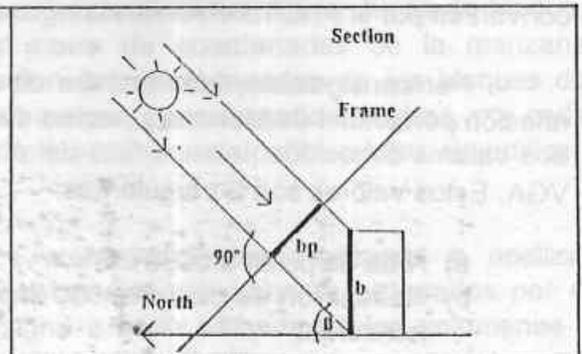
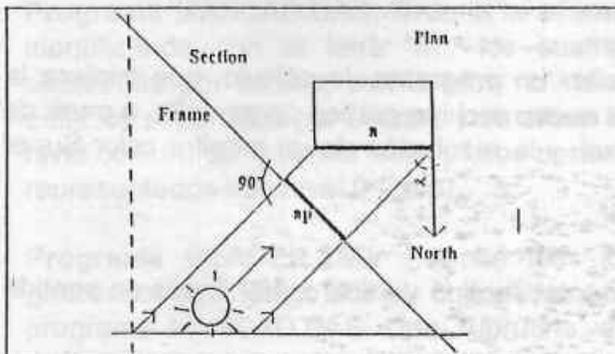


Fig. 2: Prisma de radiación horizontal.

Fig. 3: Prisma de radiación vertical

PRIMEROS RESULTADOS DEL MODELO GRÁFICO DE CÁLCULO:

Los primeros resultados obtenidos a partir del Modelo Gráfico, arrojaron dispersiones que oscilan entre el -5% y el +13% promedio/día, con respecto a los medidos por el Modelo de Acceso al Sol. (TABLA 3)

TABLA 3: Modelo Gráfico de Cálculo vs. Modelo de Acceso al Sol

HORA	MANZANA BAJA DENSIDAD			MANZANA MEDIA DENSIDAD			MANZANA ALTA DENSIDAD		
	M.A.SOL	M.G.CAL	DISP %	M.A.SOL	M.G.CAL	DISP %	M.A.SOL	M.G.CAL	DISP %
	9:00	1320.10	1382.20	+ 4	1187.80	1226.85	+ 3	3603.50	3289.31
10:00	1441.60	1627.29	+12	1306.80	1480.76	+13	3846.80	3926.39	+ 2
11:00	1462.20	1856.57	+26	1393.60	1701.65	+22	4159.70	4346.21	+ 4
12:00	1570.00	1888.70	+20	1487.00	1722.54	+15	4600.90	4424.52	- 3
13:00	1460.10	1737.10	+18	1486.30	1585.92	+ 6	4786.90	4154.13	-13
14:00	1387.80	1487.58	+ 7	1316.50	1275.24	- 3	3846.90	3677.69	- 4
15:00	1264.00	1216.52	- 3	1202.90	1016.08	-15	3609.30	3199.09	-11
PROM.	9905.80	11195.96	+13	9380.90	10009.04	+ 6	28454.00	27017.34	- 5

A partir de los mismos, se ha iniciado una etapa de verificación de todo el procedimiento en búsqueda de conseguir un mayor ajuste. De este análisis, se desprenden algunas conclusiones, detalladas a continuación:

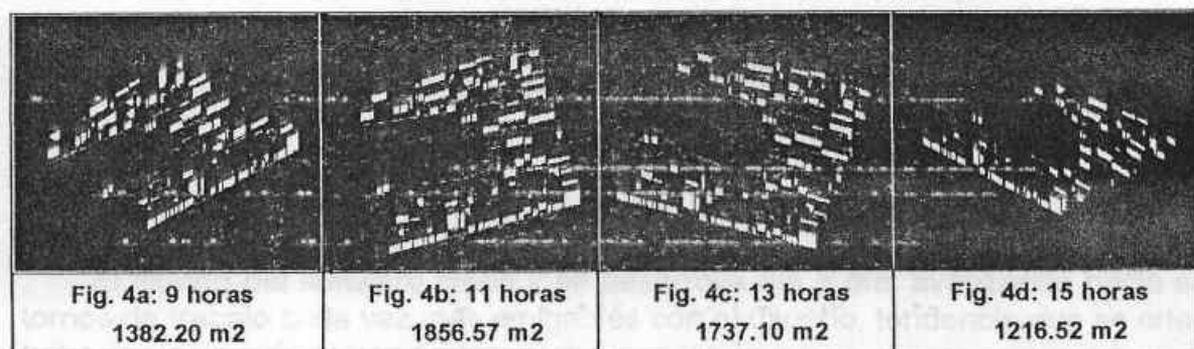
1) Surge como altamente significativa, la necesidad de garantizar la mayor exactitud en la digitalización de los planos manzaneros con los que se ha de trabajar, dado que los segmentos comunes a dos bloques de edificios, presentan en la mayoría de los casos analizados, importantes diferencias. Estas apreciaciones quedan a la vista en la Fig. 4a, donde aparecen segmentos "iluminados", que el Modelo Gráfico identifica, calculando luego los valores por exceso.

Al realizar pruebas con volumetrías elementales de área conocida, se observaron que las dispersiones promedio diarias no superaron el $\pm 4\%$.

2) La Fig. 4b y 4c, muestra cómo en algunos casos, los segmentos que van formando los bloques de edificios muestran bordes escalonados. Este aspecto puede despreciarse, si partimos de la hipótesis que la resolución de pantalla, promedia la cantidad de pixels contenidos en cada segmento.

despreciarse, si partimos de la hipótesis que la resolución de pantalla, promedia la cantidad de pixels contenidos en cada segmento.

3) Otra consideración importante, es que la falta de exactitud en la carga se hace más evidente en las horas cercanas al medio día solar, dado que el sol se "filtra" e "ilumina" una porción de fachada, que de coincidir los segmentos comunes a esa porción del paralelepípedo, no parecería asoleada. (Fig. 4d)



CONSIDERACIONES FINALES:

Es evidente que la generalización de resultados a un número mayor de casos, permitirá convalidar las hipótesis de ajuste, dando así validez al método gráfico como herramienta de consulta y verificación.

Futuras tareas previstas, incluyen la elaboración de un inventario de estrategias solares pasivas, mediante la implementación de la tecnología regional disponible, junto a la elaboración de un documento transferible, presentando propuestas técnico-jurídicas, que sirvan de base a una norma aplicable al medio urbano consolidado, y que aseguren en etapas futuras, la factibilidad del pleno acceso al recurso solar en edificios urbanos.

REFERENCIAS:

- [1] ESTEVES, A., de ROSA, C., CORTEGOSO, J.L. (1988).
"Modelo analítico computacional para determinación del enmascaramiento solar en zonas urbanas". Proceedings Encit ' 88. Aguas de Lindoia. Brasil, pp.375-378.
- [2] ATENCIO, M., de ROSA, C., ESTEVES, A., BASSO, M., CORTEGOSO, J.L. (1989).
"Assessing the solar potential of regular gridiron urban environments in western Argentina. Firts results. 2º European Conference on Architecture: Science at the Service of Architecture". Paris. France.
- [3] BASSO, M., de ROSA, C., ATENCIO, M., ESTEVES, A. (1989).
"Diversas correlaciones entre el área asoleada de edificios y los principales índices urbanos en medios altamente densificados".
Proceedings IVº Congreso Latinoamericano y IIIº Iberoamericano de Energía Solar. Cartagena de Indias, Colombia.