



UNIVERSIDAD  
POLITECNICA  
DE VALENCIA

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA

**Contribuciones al estudio del asoleo geométrico.  
Procedimientos para el cálculo del factor de obstrucción solar.  
Aplicaciones.**

**TESIS DOCTORAL**

Presentada por:

**José Luis Higón Calvet**

Dirigida por:

**D. Juan José Ferrer Gila**

Doctor Arquitecto.

Profesor Titular de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura.

Universidad Politécnica de Valencia.

Valencia. Octubre de 2003.





## AGRADECIMIENTOS I

Sirva la presente para agradecer de modo expreso a todos aquellos que a lo largo de los últimos cinco años han dedicado parte de su tiempo a ayudarme a definir y a aclarar aspectos concretos del presente estudio.

En especial al Dr. D. Juan José Ferrer Gila, como director de la misma y compañero en las tareas cotidianas de la docencia; al Dr. D. Felipe Soler Sanz, por la bibliografía referente los Tratados de Gnomónica; a D. Vicente Pablo Lluch Marco, por el desarrollo informático en determinadas partes del presente estudio; a D. Juan Ferrer Ferrer en el apoyo al desarrollo de los modelos informáticos tridimensionales; a D. Roger Swanzy por las traducciones del inglés y a D. José Manuel Ruiz Blanch en el apoyo en la búsqueda de programas informáticos.

## AGRADECIMIENTOS II

“Morelli había pensado una lista de acknowledgments que nunca llegó a incorporar a su obra publicada. Dejó varios nombres: Jelly Roll Morton, Robert Musil, Dasetz Teitaro Suzuki, Raymond Roussel, Kurt Schwitters, Vieira da Silva, Akutagawa, Anton Webern, Greta Garbo, José Lezama Lima, Buñuel. Louis Armstrong, Borges, Michaux, Dino Buzzati. Max Ernst, Pevsner, Gilgamesh (?), Garcilaso, Archimboldo, René Clair, Piero di Cosimo, Wallace Stevens, Izak Dinesen. Los nombres de Rimbaud, Picasso, Chaplin, Alban Berg y otros habían sido tachados con un trazo muy fino, como si fueran demasiado obvios para citarlos. Pero todos debían serlo al fin y al cabo, porque Morelli no se decidió a incluir la lista en ninguno de los volúmenes.”

Rayuela.  
Cap. nº 60.  
Julio Cortázar.



## INDICE

### Parte 0. Introducción

1. Planteamiento general	15
--------------------------	----

### Parte I. Estado del Arte

2. El control del movimiento solar	21
2.1. Perspectiva histórica: de la construcción de relojes de Sol al cálculo informático de soleamiento	23
2.2. La superficie terrestre: coordenadas geográficas	39
2.3. La esfera celeste: coordenadas astronómicas	40
2.3.1. Coordenadas horizontales	41
2.3.2. Coordenadas ecuatoriales	42
2.4. Mecánica astronómica del movimiento solar	45
2.4.1. Descripción astronómica del movimiento de traslación: La eclíptica	45
2.4.2. Descripción astronómica del movimiento de rotación	48
2.5. El cálculo del tiempo	48
2.6. El cálculo de la declinación	50
2.6.1. Relación entre la declinación y la ecuación del tiempo	53
2.7. La posición del Sol	55
2.8. Métodos gráficos para la obtención del vector solar	56
2.8.1. Simplificaciones en la mecánica solar adoptadas en las cartas solares	56
2.8.2. Las cartas solares: su utilización en el cálculo del vector solar	57
2.8.2.1. La carta solar de Fisher	57
2.8.2.2. El diagrama gnomónico	66
2.8.2.3. La carta solar estereográfica	71
2.8.2.4. La carta solar de Ruiz Aizpiri	76
2.8.2.5. La carta solar cilíndrica	79
2.8.3. Procedimientos informáticos para el cálculo del vector solar	83
2.8.3.1. Programas de cálculo astronómico	83
2.8.3.2. Programas de diseño asistido (CAD)	85
2.8.4. Vigencia espacial y temporal de los datos cálculo del vector solar	90
2.9. Métodos gráficos para el cálculo de obstrucciones solares	92
2.9.1. Cálculo de obstrucciones solares mediante la carta estereográfica	93
2.9.2. Cálculo de obstrucciones solares mediante la carta gnomónica	96
2.9.3. Cálculo de obstrucciones solares mediante la carta cilíndrica	99
2.9.4. El Procedimiento de Ferrer Gila para el cálculo de obstrucciones solares	101
2.9.5. El Procedimiento de Regot y Mesa para el cálculo de obstrucciones solares	104
2.10. Validez de los métodos gráficos para el cálculo de obstrucciones solares	108

**Parte II. El factor de obstrucción solar**

3. El concepto del factor de obstrucción	111
3.1. Antecedentes y aproximaciones gráficas y analíticas al cálculo del factor de obstrucción	115
3.1.1. El procedimiento de Herrero	115
3.1.2. El procedimiento de Shaviv y Yezioro	122
3.1.3. El procedimiento de Woloszyn y Follut	125
3.1.4. El procedimiento de Mesa, Quilez y Regot	129
3.1.5. Otros procedimientos	133
3.1.5.1. Diseño de iluminación de espacios interiores con luz natural mediante el procedimiento de Monte Carlo	133
3.1.5.2. Aplicabilidad de modelos informáticos de iluminación natural en casos reales: Comparación entre disponibilidad de luz natural por simulación y por medida directa y consumo por alumbrado	134
3.1.5.3. Control de la Iluminación Natural y del soleamiento en la Normativa sobre Edificación	135
3.1.5.4. Proposición para una aproximación declarativa de los Ambientes en el Proyecto Arquitectónico. Aplicación al Soleamiento	136
3.1.5.5. Herramientas de diseño para edificios solares pasivos y bioclimáticos	137
3.1.5.6. PASYS. Un Sistema de inteligencia artificial para la determinación de sistemas pasivos de calefacción y acondicionamiento de aire	138
3.1.5.7. Modelización del diseño de tramas urbanas considerando las servidumbres solares	138
3.1.5.8. Una carta solar complementaria del diagrama de Mazria para el diseño de protecciones solares considerando las propiedades angulares de las ventanas	139
3.1.5.9. LightSketch. Un programa de diseño y modelización para el análisis de la iluminación.	140
4. Procedimientos para el cálculo del factor de obstrucción solar	140
4.1. Enfoque analógico. Planteamiento del problema	141
4.1.1. La utilización del modelo estereográfico	142
4.1.2. Cuantificación de los periodos de obstrucción	143
4.1.3. Obtención analítica del valor del factor de obstrucción para cada punto de la matriz	147
4.1.4. Interpretación gráfica de los resultados obtenidos	151
4.2. Calculo del factor de obstrucción mediante un procedimiento informático	159
4.2.1. Obtención de imágenes con sombras propias y arrojadas	160
4.2.2. Estructura de los archivos informáticos. Analogía con el concepto de matriz	165
4.2.3. Integración de las imágenes. Obtención de mapas de sombras	167
4.3. Comparación de resultados entre el procedimiento analógico e informático	180

**Parte III. Aplicaciones**

5. Aplicaciones del cálculo del factor de obstrucción solar	193
5.1. Comprobaciones sobre el modelo estudiado. Sólido de prueba	195
5.2. Aplicaciones a elementos arquitectónicos	207
5.2.1. Soleamiento de una habitación	207
5.2.2. Dimensionado de protecciones solares	223
5.2.3. Claraboya en la Universidad Politécnica de Valencia	235
5.2.4. Claraboya de superficie esférica	236
5.3. Aplicaciones al Mobiliario Urbano	251
5.3.1. Cubierta textil en el Real Club Náutico de Valencia	251
5.4. Aplicaciones al planeamiento urbanístico	265
5.4.1. Las propuestas de Ildefonso Cerdá para el ensanche de Barcelona	267
5.4.2. El entorno de la plaza de toros de Valencia	291
5.4.3. El Programa de Actuación Integrada de Ademuz	309
5.4.4. Aplicaciones al estudio de impacto de nuevas edificaciones. El caso del Colegio del Pilar de Valencia	327
5.5. Aplicaciones al territorio	357
5.5.1. Modelo topográfico de prueba	361
5.5.2. Hoja topográfica N° 76811	373
5.5.3. Hoja topográfica N° 76844	389
5.5.4. Hoja topográfica N° 76823. Entorno del casco urbano de Ayora, Valencia	403

**Parte IV. Conclusiones**

6. El cálculo del factor de obstrucción solar como herramienta para la toma de decisiones en el proyecto arquitectónico y urbanístico	417
7. Incorporación de datos de carácter meteorológico. Porcentaje de cobertura nubosa	424

**Parte V. Anejos**

8. Anejo I: Cálculo del valor del factor de obstrucción mediante un procedimiento analógico. Proyección estereográfica del entorno desde los puntos de la matriz de control	436
9. Anejo II: Calculo del factor de obstrucción mediante un procedimiento informático. Secuencia de imágenes obtenidas de sombras arrojadas	445
10. Anejo III: Animaciones de las secuencias de imágenes empleadas para el cálculo del factor de obstrucción por un procedimiento informático	461

**Parte VI. Fuentes y Bibliografía**

11. Bibliografía	463
12. Fuentes consultadas en internet	475

## INDICE DE FIGURAS

- fig. 1 EL RELOJ SOLAR DE BELO. SECCIÓN.
- fig. 2 EL RELOJ SOLAR DE BELO. TRAZADO DE LEMNISCATA.
- fig. 3 EL RELOJ SOLAR DE BELO. MODELO INFORMÁTICO. TRAZADO DE LEMNISCATA.
- fig. 4 EL RELOJ SOLAR DE BELO. MODELO INFORMÁTICO. ALZADO, PLANTA, PERFIL Y AXONOMETRÍA ISOMÉTRICA.
- fig. 5 EL RELOJ SOLAR DE BELO. MODELO INFORMÁTICO. PROYECCIÓN EN LA DIRECCIÓN DEL EJE DE LA TIERRA Y PROYECCIÓN EN LA DIRECCIÓN DEL ECUADOR CELESTE.
- fig. 6 OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DEL SULTÁN JAI SINGH, JAIPUR, DELHI.
- fig. 7 RELOJ VERTICAL SUR Y ESTE, EN LA TORRE DE LA IGLESIA DE PERCHTOLDSFORD, RELOJ VERTICAL SURESTE Y SUROESTE, EN LA TORRE DE LA IGLESIA DE GUMPOLDSKIRCHEN, EN LAS CERCANÍAS DE VIENA. F. EMBACHER. RELOJES DE SOL. TEORÍA Y CONSTRUCCIÓN. 1988.
- fig. 8 RELOJ SOLAR EN LA VILLA BARBARO. MASER, TREVISO. 1
- fig. 9 RELOJ SOLAR EN LA VILLA BARBARO. MASER, TREVISO. 2
- fig. 10 RELOJ DE SOL. AYUNTAMIENTO DE NOVELDA. RELOJ SOLAR. IGLESIA PARROQUIAL DE NTRA. SRA. DEL ROSARIO. BENILLUP. J. DOMENECH. TRAZADO Y CONSTRUCCIÓN DE RELOJES DE SOL. 1990.
- fig. 11 RELOJ SOLAR VERTICAL. PEDRO ROIZ. LIBRO DE RELOGES SOLARES. 1575.
- fig. 12 RELOJ SOLAR EQUINOCCIAL. PEDRO ROIZ. LIBRO DE RELOGES SOLARES. 1575.
- fig. 13 BÓVEDA CELESTE CON TRAYECTORIAS SOLARES. DE VARIA COMMESURACIÓN. JUAN DE ARFE. 1585.
- fig. 14 RELOJ SOLAR CILÍNDRICO. DE VARIA COMMESURACIÓN. JUAN DE ARFE. 1585.
- fig. 15 BÓVEDA CELESTE CON TRAYECTORIAS SOLARES. TRACTATUS SOLARIBUS HOROLOGIIS. JUAN BTA. CORACHAN. 1700.
- fig. 16 PROYECCIÓN GNOMÓNICA DE TRAYECTORIAS SOLARES. TRACTATUS SOLARIBUS HOROLOGIIS. JUAN BTA. CORACHAN. 1700.
- fig. 17 PROYECCIÓN GNOMÓNICA DE TRAYECTORIAS SOLARES. TRATADO DE LA GNOMÓNICA. THOMAS VICENTE TOSCA. 1715
- fig. 18 PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA. TRATADO DE LA GNOMÓNICA. THOMAS VICENTE TOSCA. 1715
- fig. 19 RELOJES SOLARES. TRATADO DE GNOMÓNICA. A. ROVIRA RABASA. 1896
- fig. 20 WALTER GROPIUS. DIAGRAMA PRESENTADO EN EL CIAM DE 1930.
- fig. 21 TRAYECTORIAS SOLARES. ESTUDIO ELEMENTAL DEL SOLEAMIENTO EN LA EDIFICACIÓN. E. PECOURT. 1934.
- fig. 22 APUNTES DE SOLEAMIENTO 1. SÁENZ DE OIZA. 1958
- fig. 23 APUNTES DE SOLEAMIENTO 2. SÁENZ DE OIZA. 1958
- fig. 24 RED DE MERIDIANOS Y PARALELOS DE LAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS
- fig. 25 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE UN PUNTO POR SUS COORDENADAS GEOGRÁFICAS
- fig. 26 LA ESFERA CELESTE
- fig. 27 RED DE ALMICANTARATES Y VERTICALES DE COORDENADAS HORIZONTALES EN PROYECCIÓN CILÍNDRICA Y ESTEREOGRÁFICA
- fig. 28 RED DE MERIDIANOS Y PARALELOS DE COORDENADAS HORARIAS EN PROYECCIÓN CILÍNDRICA Y ESTEREOGRÁFICA
- fig. 29 DIRECCION DE INCIDENCIA DE LOS RAYOS SOLARES EN LOS EQUINOCCIOS Y SOLSTICIOS
- fig. 30 TRAYECTORIAS SOLARES SOBRE LA BÓVEDA CELESTE
- fig. 31 TABLA I EXTRAIDA DE: *MANUAL DE SOLEAMIENTO INTEGRAL* DE D. JOSÉ MARÍA RAYA ROMÁN. Ed. UNIV. DE SEVILLA
- fig. 32 TABLA II EXTRAIDA DE: *MANUAL DE SOLEAMIENTO INTEGRAL* DE D. JOSÉ MARÍA RAYA ROMÁN. Ed. UNIV. DE SEVILLA
- fig. 33 ANALEMMA
- fig. 34 CARTA SOLAR DE FISHER PARA UNA LATITUD DE 39,30°
- fig. 35 APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA CARTA SOLAR DE FISHER 1
- fig. 36 APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA CARTA SOLAR DE FISHER 2
- fig. 37 CARTA SOLAR DE FISHER PARA UNA LATITUD DE 0,00°
- fig. 38 CARTA SOLAR DE FISHER PARA UNA LATITUD DE 23°27'
- fig. 39 CARTA SOLAR DE FISHER PARA UNA LATITUD DE 66°33'
- fig. 40 CARTA SOLAR DE FISHER PARA UNA LATITUD DE 90,00°
- fig. 41 MODELO INFORMÁTICO DE LA CARTA DE FISHER. AXONOMETRÍA
- fig. 42 MODELO INFORMÁTICO DE LA CARTA DE FISHER. PLANTA Y ALZADO
- fig. 43 ELEMENTOS DEL SISTEMA GNOMÓNICO
- fig. 44 REPRESENTACIÓN DE RECTAS Y PLANOS EN SISTEMA GNOMÓNICO
- fig. 45 DIAGRAMA GNOMÓNICO PARA LATITUDES 0°00' Y 23°27'
- fig. 46 DIAGRAMA GNOMÓNICO PARA LATITUDES 39°30' Y 66°33'
- fig. 47 DIAGRAMA GNOMÓNICO PARA LATITUDES 80,00° Y 90,00°
- fig. 48 APLICACIÓN PRÁCTICA DEL DIAGRAMA GNOMÓNICO

- fig. 49 MODELO INFORMÁTICO DEL DIAGRAMA GNOMÓNICO  
fig. 50 ELEMENTOS DEL SISTEMA DE PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICO  
fig. 51 ABATIMIENTO DE UN VECTOR EN SISTEMA DE PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICO  
fig. 52 PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LA RED DE MERIDIANOS Y PARALELOS CELESTES  
fig. 53 CARTAS SOLARES ESTEREOGRÁFICAS PARA LATITUDES 0°00' Y 23°27'  
fig. 54 CARTAS SOLARES ESTEREOGRÁFICAS PARA LATITUDES 39°30' Y 66°33'  
fig. 55 CARTAS SOLARES ESTEREOGRÁFICAS PARA LATITUDES 80,00° Y 90,00°  
fig. 56 APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA CARTA SOLAR ESTEREOGRÁFICA  
fig. 57 MODELO INFORMÁTICO DE LA CARTA SOLAR ESTEREOGRÁFICA  
fig. 58 DIAGRAMAS DE TRAYECTORIAS Y DE COORDENADAS LA CARTA DE RUIZ AIZPURI  
fig. 59 CARTAS SOLARES DE RUIZ AIZPURI PARA LATITUDES 0°00' Y 23°27'  
fig. 60 CARTAS SOLARES DE RUIZ AIZPURI PARA LATITUDES 39°30' Y 66°33'  
fig. 61 CARTAS SOLARES DE RUIZ AIZPURI PARA LATITUDES 80,00° Y 90,00°  
fig. 62 APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA CARTA SOLAR DE RUIZ AIZPURI  
fig. 63 ELEMENTOS DEL SISTEMA CILÍNDRICO DE PROYECCIÓN  
fig. 64 CARTA SOLAR CILÍNDRICA PARA UNA LATITUD DE 0.00°  
fig. 65 CARTA SOLAR CILÍNDRICA PARA UNA LATITUD DE 23°27'  
fig. 66 CARTA SOLAR CILÍNDRICA PARA UNA LATITUD DE 39°30'  
fig. 67 CARTA SOLAR CILÍNDRICA PARA UNA LATITUD DE 66°33'  
fig. 68 CARTA SOLAR CILÍNDRICA PARA UNA LATITUD DE 90.00°  
fig. 69 APLICACIÓN DE LA CARTA SOLAR CILÍNDRICA  
fig. 70 PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LA BÓVEDA CELESTE EN UN PROGRAMA DE CÁLCULO ASTRONÓMICO.  
fig. 71 PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LA POSICIÓN DEL SOL EN VALENCIA EL 22 DE JUNIO A LAS 7.00 H. SOLAR EN COORDENADAS HORIZONTALES Y ECUATORIALES  
fig. 72 MODELIZADO INFORMÁTICO DE UN OBJETO SIMPLE PARA EL CÁLCULO DE SOMBRAS ARROJADAS  
fig. 73 CREACIÓN DE UN FOCO DE LUZ DISTANTE  
fig. 74 MENÚ DE ASIGNACIÓN DE COORDENADAS HORIZONTALES PARA LA POSICIÓN DEL SOL  
fig. 75 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MODELO A ESTUDIAR  
fig. 76 MENÚ DE ASIGNACIÓN DE FECHA Y HORA PARA EL CÁLCULO DE SOMBRAS  
fig. 77 SOMBRAS ARROJADAS POR EL MODELO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 78 AXONOMÉTRICA DEL OBJETO CON SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS VISTA DESDE EL SUR  
fig. 79 AXONOMÉTRICA DEL OBJETO CON SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS VISTA DESDE EL ESTE  
fig. 80 AXONOMÉTRICA DEL OBJETO CON SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS VISTA DESDE EL NORTE  
fig. 81 AXONOMÉTRICA DEL OBJETO CON SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS VISTA DESDE EL OESTE  
fig. 82 AREA DE VIGENCIA ESPACIAL PARA LOS VALORES DEL VECTOR SOLAR EN TORNO A VALENCIA  
fig. 83 DEFINICIÓN GRÁFICA ENTORNO Y DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 84 CARTA ESTEREOGRÁFICA PARA LA LATITUD DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 85 PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DEL ENTORNO DESDE EL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 86 DIAGRAMA ESTEREOGRÁFICO DE OBSTRUCCIONES DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 87 DIAGRAMA GNOMÓNICO PARA LA LATITUD DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 88 OPERATIVA GRÁFICA PARA LA PROYECCIÓN GNOMÓNICA DEL ENTORNO DESDE EL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 89 PROYECCIÓN GNOMÓNICA DEL ENTORNO DESDE EL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 90 DIAGRAMA GNOMÓNICO DE OBSTRUCCIONES DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 91 CARTA CILINDRICA PARA LA LATITUD DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 92 PROYECCIÓN CILÍNDRICA DEL ENTORNO DESDE EL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 93 DIAGRAMA CILÍNDRICO DE OBSTRUCCIONES DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO  
fig. 94 FOTOGRAFÍA DE LOS RECORRIDOS SOLARES SOBRE LA BÓVEDA CELESTE Y PLANTILLA DE LOS MISMOS PARA SUPERPOSICIONES  
fig. 95 CÁLCULO DE OBSTRUCCIONES SOLARES MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE FERRER PARA UN PATIO DE ILUMINACIÓN DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
fig. 96 CÁLCULO DE OBSTRUCCIONES SOLARES MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE FERRER PARA EL ACCESO NORTE DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA  
fig. 97 CÁLCULO DE OBSTRUCCIONES. PROCEDIMIENTO DE REGOT Y MESA. PROYECCIÓN DE LAS TRAYECTORIAS SOLARES  
fig. 98 CÁLCULO DE OBSTRUCCIONES. PROCEDIMIENTO DE REGOT Y MESA. PROYECCIÓN DE LA GEOMETRIA DEL ENTORNO  
fig. 99 CÁLCULO DE OBSTRUCCIONES. PROCEDIMIENTO DE REGOT Y MESA. SUPERPOSICIÓN DE IMÁGENES  
fig. 100 MODELIZACIÓN GEOMÉTRICA DEL ENTORNO URBANO. CRUCE DE LA C/BALMES CON AVDA DIAGONAL, BARCELONA.

- fig. 101 DESARROLLO DE LA PROYECCIÓN DE OBSTRUCCIONES SOBRE LAS CARAS DE UN HEXAEDRO.
- fig. 102 SUPERPOSICIÓN DE UNA FOTOGRAFÍA DEL ENTORNO SOBRE LAS TRAYECTORIAS SOLARES
- fig. 103 CALCULO DEL FACTOR DE OBSTRUCCIÓN PARA EL EQUINOCCIO DE PRIMAVERA
- fig. 104 CALCULO DEL FACTOR DE OBSTRUCCION PARA EL DÍA 22 DE CADA MES
- fig. 105 PROCEDIMIENTO DE HERRERO. DISCRETIZACIÓN DEL ÁREA OBJETO DE ESTUDIO 1
- fig. 106 PROCEDIMIENTO DE HERRERO. SOLEAMIENTO DEL AREA OBJETO DE ESTUDIO
- fig. 107 PROCEDIMIENTO DE HERRERO. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DEL ENTORNO OBJETO DE ESTUDIO
- fig. 108 PROCEDIMIENTO DE HERRERO. DISCRETIZACIÓN DEL ENTORNO OBJETO DE ESTUDIO 2
- fig. 109 PROCEDIMIENTO DE HERRERO. SOLEAMIENTO DEL ENTORNO OBJETO DE ESTUDIO PARA  $r^*=135^\circ$
- fig. 110 PROCEDIMIENTO DE HERRERO. SOLEAMIENTO DEL ENTORNO OBJETO DE ESTUDIO PARA  $r^*=90^\circ$
- fig. 111 PROCEDIMIENTO DE HERRERO. SOLEAMIENTO DEL ENTORNO OBJETO DE ESTUDIO PARA  $r^*=180^\circ$
- fig. 112 PROCEDIMIENTO DE SHAVIV Y YEZIORO. IMÁGEN OBTENIDA DESDE LA POSICIÓN DEL SOL
- fig. 113 PROCEDIMIENTO DE SHAVIV Y YEZIORO. EVALUACIONES VISUAL Y CUANTITATIVA DE LAS SOMBRAS AUTOARROJADAS POR EL HOTEL LAGUNAS SOBRE SU PROPIA PISCINA. IZQUIERDA 22 DE DICIEMBRE 11.00H, DERECHA: 22 DE DICIEMBRE 15.00H
- fig. 114 PROCEDIMIENTO DE SHAVIV Y YEZIORO. EVALUACIONES VISUAL Y CUANTITATIVA DE LAS SUPERFICIES SOLEADAS DE ACUERDO CON EL PLANEAMIENTO EXISTENTE. IZQUIERDA 22 DE DICIEMBRE 11.00H, DERECHA: 22 DE DICIEMBRE 15.00H
- fig. 115 PROCEDIMIENTO DE SHAVIV Y YEZIORO. EVALUACIONES VISUAL Y CUANTITATIVA DE LAS SUPERFICIES SOLEADAS DE ACUERDO CON EL PLANEAMIENTO PROPUESTO. IZQUIERDA 22 DE DICIEMBRE 11.00H, DERECHA: 22 DE DICIEMBRE 15.00H
- fig. 116 PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. ESQUEMA DE LAS INTERACCIONES QUE GENERAN UN "AMBIENTE"
- fig. 117 PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE UN AMBIENTE MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL
- fig. 118 PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. ELECCIÓN DE TIPOLOGIAS DE CALLE OBJETO DE ESTUDIO
- fig. 119 PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. PAISAJE SOLAR PARA LAS TRES CALLES ESTUDIADAS.
- fig. 120 PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. MAPA SOLAR PARA LAS TRES CALLES ESTUDIADAS.
- fig. 121 PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. EVOLUCIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL REFLEJO SOLAR PARA LAS CALLES BOILEAU Y STRASBOURG.
- fig. 122 PROCEDIMIENTO DE MESA, QUILEZ Y REGOT. INTERFAZ DEL MÓDULO SUNVAULT
- fig. 123 PROCEDIMIENTO DE MESA, QUILEZ Y REGOT. INTERFAZ DEL MÓDULO SUNOBSTRUCT.
- fig. 124 PROCEDIMIENTO DE MESA, QUILEZ Y REGOT. INTERFAZ DEL MÓDULO SUNENERGY.
- fig. 125 PROCEDIMIENTO DE MESA, QUILEZ Y REGOT. INTERFAZ DEL MÓDULO SUNENERGY. SALIDA NUMÉRICA DE DATOS MEDIANTE HOJAS DE CÁLCULO.
- fig. 126 MODELO OBJETO DE ESTUDIO CON LA MATRIZ DE PUNTOS DE CONTROL.
- fig. 127 REDES DE DIFERENCIALES SOBRE LA BÓVEDA CELESTE EN PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA
- fig. 128 DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS SOBRE LA BÓVEDA CELESTE EN PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA 1
- fig. 129 DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS SOBRE LA BÓVEDA CELESTE EN PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA 2
- fig. 130 PROYECCION ESTEREOGRAFICA DEL MODELO OBJETO DE ESTUDIO DESDE LOS PUNTOS DE LA MATRIZ DE CONTROL.
- fig. 131 CALCULO DEL FACTOR DE OBSTRUCCION PARA UN PUNTO DE LA MATRIZ DE CONTROL.
- fig. 132 MALLA TRIANGULAR SOBRE LA MATRIZ DE PUNTOS DE CONTROL. AXONOMETRÍA.
- fig. 133 CURVAS DE NIVEL SOBRE LA MALLA TRIANGULAR. AXONOMETRIA.
- fig. 134 CURVAS DE NIVEL SOBRE LA MALLA TRIANGULAR. PLANTA.
- fig. 135 CARTA DE COLORES RGB.
- fig. 136 CARTA DE GRISES Y SU CORRESPONDENCIA PORCENTUAL.
- fig. 137 PROCEDIMIENTO ANALÓGICO. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE OBSTRUCCION SOBRE LA MATRIZ DE CONTROL.
- fig. 138 DEFINICIÓN GEOMETRICA TRIDIMENSIONAL DEL MODELO OBJETO DE ESTUDIO.
- fig. 139 TRAYECTORIA SOLAR VISTA EN PLANTA.
- fig. 140 TRAYECTORIA SOLAR VISTA EN ALZADO.
- fig. 141 TRAYECTORIA SOLAR VISTA DE PERFIL.
- fig. 142 TRAYECTORIA SOLAR VISTA EN AXONOMÉTRICO.
- fig. 143 PROCESO DE OBTENCIÓN DE SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS.
- fig. 144 SOMBRAS ARROJADAS EN PLANTA POR LOS OBJETOS DEL ENTORNO OBJETO DE ESTUDIO.



- fig. 145 SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS POR LOS OBJETOS DEL ENTORNO OBJETO DE ESTUDIO. AXONOMÉTRICO SUROESTE
- fig. 146 SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS POR LOS OBJETOS DEL ENTORNO OBJETO DE ESTUDIO. AXONOMÉTRICO SURESTE
- fig. 147 SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS POR LOS OBJETOS DEL ENTORNO OBJETO DE ESTUDIO. AXONOMÉTRICO NORESTE
- fig. 148 MATRIZ DE 480 FILAS POR 640 COLUMNAS CONTENIENDO GRISES.
- fig. 149 EDICIÓN HEXADÉCIMAL DE UN ARCHIVO DE IMAGEN DE EXTENSIÓN BMP.
- fig. 150 CUADRO DE DIALOGO DEL PROGRAMA DE RENOMBRADO.
- fig. 151 INTERFAZ DE CONFIGURACIÓN DE SALIDA.
- fig. 152 CUADRO DE DIÁLOGO DEL MENÚ ABRIR.
- fig. 153 CUADRO DE DIÁLOGO DEL MENÚ GUARDAR COMO.
- fig. 154 BARRA DE PROGRESO DE EJECUCIÓN DEL PROGRAMA.
- fig. 155 BARRA DE PROGRESO DE ESCRITURA DEL ARCHIVO DE SALIDA.
- fig. 156 IMÁGEN CONTENIDA EN EL ARCHIVO DE SALIDA.
- fig. 157 SALIDA NORMAL 2 NIVELES DE GRIS.
- fig. 158 SALIDA MODO CEBRA 2 NIVELES DE B/N.
- fig. 159 SALIDA NORMAL 4 NIVELES DE GRIS.
- fig. 160 SALIDA MODO CEBRA 4 NIVELES DE B/N.
- fig. 161 SALIDA NORMAL 8 NIVELES DE GRIS.
- fig. 162 SALIDA MODO CEBRA 8 NIVELES DE B/N.
- fig. 163 SALIDA NORMAL 16 NIVELES DE GRIS.
- fig. 164 SALIDA MODO CEBRA 16 NIVELES DE B/N.
- fig. 165 SALIDA NORMAL 32 NIVELES DE GRIS.
- fig. 166 SALIDA MODO CEBRA 32 NIVELES DE B/N.
- fig. 167 SALIDA NORMAL 64 NIVELES DE GRIS.
- fig. 168 SALIDA MODO CEBRA 64 NIVELES DE B/N.
- fig. 169 SALIDA NORMAL 128 NIVELES DE GRIS.
- fig. 170 SALIDA MODO CEBRA 128 NIVELES DE B/N.
- fig. 171 SALIDA NORMAL 256 NIVELES DE GRIS.
- fig. 172 SALIDA MODO CEBRA 256 NIVELES DE B/N.
- fig. 173 IMÁGENES ANALÓGICA (1) E INFORMÁTICA (2) RESULTADO DEL PROCESO
- fig. 174 IMÁGEN (2) CON SUPERPOSICIÓN DE LAS POLILÍNEAS DE LA IMÁGEN (1).
- fig. 175 IMÁGEN (1) CON SUPERPOSICIÓN DE LAS POLILÍNEAS DE LA IMÁGEN (2).
- fig. 176 VECTORIZACIÓN DE IMÁGENES (1).
- fig. 177 VECTORIZACIÓN DE IMÁGENES. CONVERSIÓN A B/N.
- fig. 178 PALETA DE 20 NIVELES DE GRISES.
- fig. 179 VECTORIZACIÓN DE IMÁGENES (2).
- fig. 180 VECTORIZACIÓN DE IMÁGENES. OBTENCION DE POLILÍNEAS.
- fig. 181 VECTORIZACIÓN DE IMÁGENES. SUPERPOSICIÓN DE POLILÍNEAS.
- fig. 182 IMÁGEN (1) CON SUPERPOSICIÓN DE POLILÍNEAS CUYOS FACTORES DE OBSTRUCCIÓN DIFIEREN 0.05.
- fig. 183 SÓLIDO DE PRUEBA. PLANTA ALZADO Y AXONOMETRÍA.
- fig. 184 SÓLIDO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.
- fig. 185 SÓLIDO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO AA'.
- fig. 186 SÓLIDO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.
- fig. 187 SÓLIDO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. PROYECCIÓN CÓNICA.
- fig. 188 SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. PLANTA, ALZADOS Y AXONOMETRÍA.
- fig. 189 SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. ORIENTACIÓN 1. PLANTA Y SECCIONES
- fig. 190 SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. ORIENTACIÓN 2. PLANTA Y SECCIONES
- fig. 191 SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. ORIENTACIÓN 3. PLANTA Y SECCIONES
- fig. 192 SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. ORIENTACIÓN 1. AXONOMETRÍA.
- fig. 193 SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. ORIENTACIÓN 2. AXONOMETRÍA.
- fig. 194 SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. ORIENTACIÓN 3. AXONOMETRÍA.
- fig. 195 ESTUDIO DE PROTECCIONES SOLARES. PLANTA ALZADOS Y AXONOMETRÍAS.
- fig. 196 ESTUDIO DE PROTECCIONES SOLARES. DETALLE DE FACHADAS.
- fig. 197 ESTUDIO DE PROTECCIONES SOLARES. MAPA DE SOMBRAS. PERIODO ANUAL
- fig. 198 ESTUDIO DE PROTECCIONES SOLARES. MAPA DE SOMBRAS. INVIERNO
- fig. 199 ESTUDIO DE PROTECCIONES SOLARES. MAPA DE SOMBRAS. VERANO
- fig. 200 CLARABOYA EN LA UPV. PLANTA ALZADO Y AXONOMETRÍA
- fig. 201 CLARABOYA EN LA UPV. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.
- fig. 202 CLARABOYA EN LA UPV. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.
- fig. 203 CLARABOYA DE SUPERFICIE ESFÉRICA. PLANTA ALZADO Y AXONOMETRÍA.
- fig. 204 CLARABOYA DE SUPERFICIE ESFÉRICA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.
- fig. 205 CLARABOYA DE SUPERFICIE ESFÉRICA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA 1.
- fig. 206 CLARABOYA DE SUPERFICIE ESFÉRICA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA 2.
- fig. 207 CUBIERTA TEXTIL EN EL REAL CLUB NAUTICO DE VALENCIA.
- fig. 208 CUBIERTA TEXTIL EN EL REAL CLUB NAUTICO DE VALENCIA. PLANTA Y ALZADO.
- fig. 209 CUBIERTA TEXTIL EN EL REAL CLUB NAUTICO DE VALENCIA. AXONOMETRÍA GENERAL.
- fig. 210 CUBIERTA TEXTIL EN EL REAL CLUB NAUTICO DE VALENCIA. AXONOMETRÍA POSICIÓN 1.

- fig. 211 CUBIERTA TEXTIL EN EL REAL CLUB NÁUTICO DE VALENCIA. AXONOMETRÍA POSICIÓN 2.  
fig. 212 CUBIERTA TEXTIL EN EL REAL CLUB NÁUTICO DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS POSICIÓN 1.  
fig. 213 CUBIERTA TEXTIL EN EL REAL CLUB NÁUTICO DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS POSICIÓN 2.  
fig. 214 EL PLAN CERDÁ. DEFINICIÓN DE LAS PROPUESTAS.  
fig. 215 EL PLAN CERDÁ. PROPUESTA 1. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.  
fig. 216 EL PLAN CERDÁ. PROPUESTA 2. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.  
fig. 217 EL PLAN CERDÁ. PROPUESTA 3. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.  
fig. 218 EL PLAN CERDÁ. PROPUESTA 1. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.  
fig. 219 EL PLAN CERDÁ. PROPUESTA 2. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.  
fig. 220 EL PLAN CERDÁ. PROPUESTA 3. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.  
fig. 221 EL PLAN CERDÁ. ALZADO SURESTE. MAPA DE SOMBRAS. COMPARACIÓN.  
fig. 222 EL PLAN CERDÁ. SECCIÓN SURESTE. MAPA DE SOMBRAS. COMPARACIÓN.  
fig. 223 EL PLAN CERDÁ. ALZADO SUROESTE. MAPA DE SOMBRAS. COMPARACIÓN.  
fig. 224 EL PLAN CERDÁ. SECCIÓN SUROESTE. MAPA DE SOMBRAS. COMPARACIÓN.  
fig. 225 LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA.  
fig. 226 LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. SOMBRAS CORRESPONDIENTES AL 17/03 A LAS 17:00 H DE TIEMPO OFICIAL  
fig. 227 LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. SOMBRAS CORRESPONDIENTES AL 29/07 A LAS 17:00 H DE TIEMPO OFICIAL  
fig. 228 LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. PLANTA Y ALZADO.  
fig. 229 LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. AXONOMETRÍA.  
fig. 230 LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.  
fig. 231 LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.  
fig. 232 LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA. DETALLE.  
fig. 233 LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. SECCIÓN. DETALLE.  
fig. 234 LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. EVOLUCIÓN DE SOMBRAS. DIA 17/03.  
fig. 235 LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. EVOLUCIÓN DE SOMBRAS. DIA 26/07.  
fig. 236 EL P.A.I. DE ADEMUZ. FOTOGRAFÍA AEREA (EN CONSTRUCCIÓN).  
fig. 237 EL P.A.I. DE ADEMUZ. PLANTA Y ALZADO.  
fig. 238 EL P.A.I. DE ADEMUZ. AXONOMETRÍA.  
fig. 239 EL P.A.I. DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.  
fig. 240 EL P.A.I. DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.  
fig. 241 EL P.A.I. DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA. DETALLE.  
fig. 242 EL P.A.I. DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO AA'  
fig. 243 EL P.A.I. DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO BB'  
fig. 244 EL P.A.I. DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO CC'  
fig. 245 PALETA DE 20 NIVELES DE GRISES CORRESPONDIENTE AL INCREMENTO DEL FACTOR DE OBSTRUCCIÓN.  
fig. 246 EL COLEGIO DEL PILAR. MAPAS DE SOMBRAS. PLANTA DEL ESTADO ACTUAL Y DE LA PROPUESTA DEL PGOU.  
fig. 247 EL COLEGIO DEL PILAR. MAPAS DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA DEL ESTADO ACTUAL Y DE LA PROPUESTA DEL PGOU.  
fig. 248 EL COLEGIO DEL PILAR. MAPAS DE SOMBRAS. PLANTA DEL ESTADO ACTUAL Y NEGATIVO DE LA PROPUESTA DEL PGOU.  
fig. 249 EL COLEGIO DEL PILAR. MAPAS DE SOMBRAS. PLANTA DE LA DIFERENCIA ENTRE EL ESTADO ACTUAL Y LA PROPUESTA DEL PGOU.  
fig. 250 EL COLEGIO DEL PILAR. LINEAS DE IGUAL INCREMENTO DEL FACTOR DE OBSTRUCCION. PLANTA DE LA DIFERENCIA ENTRE EL ESTADO ACTUAL Y LA PROPUESTA DEL PGOU.  
fig. 251 EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. PLANTA Y ALZADO.  
fig. 252 EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. AXONOMETRÍA.  
fig. 253 EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. LA PROPUESTA DEL PGOU.  
fig. 254 EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA GENERAL.  
fig. 255 EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA GENERAL.  
fig. 256 EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA ESTADO ACTUAL.  
fig. 257 EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA PROPUESTA DEL PGOU.  
fig. 258 EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA. ESTADO ACTUAL.  
fig. 259 EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA. PROPUESTA DEL PGOU.  
fig. 260 EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA. IMPACTO DE LA PROPUESTA DEL PGOU SOBRE EL ESTADO ACTUAL.  
fig. 261 REPRESENTACIÓN EN PLANTA Y AXONOMETRÍA DE UN MODELO DIGITAL DEL TERRENO DE MALLA CUADRADA.  
fig. 262 REPRESENTACIÓN EN PLANTA Y AXONOMETRÍA DE UN MODELO DIGITAL DEL TERRENO DE MALLA TRIANGULAR.  
fig. 263 MAPAS DE SOMBRAS CORRESPONDIENTES AL DÍA 22 DE DICIEMBRE DEL MDT DE MALLA CUADRADA Y DEL MDT DE MALLA TRIANGULAR.

- fig. 264 MAPAS DE SOMBRAS CORRESPONDIENTE A LA DIFERENCIA DEL MDT DE MALLA CUADRADA Y DEL MDT DE MALLA TRIANGULAR.
- fig. 265 MODELO TOPOGRÁFICO DE PRUEBA. PLANTA, ALZADO Y AXONOMETRÍA.
- fig. 266 MODELO TOPOGRÁFICO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA SIN PRISMAS
- fig. 267 MODELO TOPOGRÁFICO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.
- fig. 268 MODELO TOPOGRÁFICO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO.
- fig. 269 MODELO TOPOGRÁFICO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.
- fig. 270 LOCALIZACIÓN DE LA HOJA 76811 DENTRO DEL CUADRANTE 768
- fig. 271 HOJA N° 76811.
- fig. 272 HOJA N° 76811. TRIANGULACIÓN. PLANTA.
- fig. 273 HOJA N° 76811. TRIANGULACIÓN. AXONOMETRÍA.
- fig. 274 HOJA N° 76811. MAPA DE SOMBRAS. PERIODO ANUAL.
- fig. 275 HOJA N° 76811. MAPA DE SOMBRAS. INVIERNO.
- fig. 276 HOJA N° 76811. MAPA DE SOMBRAS. VERANO.
- fig. 277 LOCALIZACIÓN DE LA HOJA 76844 DENTRO DEL CUADRANTE 768
- fig. 278 HOJA N° 76844.
- fig. 279 HOJA N° 76844. TRIANGULACIÓN. PLANTA.
- fig. 280 HOJA N° 76844. TRIANGULACIÓN. AXONOMETRÍA.
- fig. 281 HOJA N° 76844. MAPA DE SOMBRAS. PERIODO ANUAL.
- fig. 282 HOJA N° 76844. MAPA DE SOMBRAS. INVIERNO.
- fig. 283 HOJA N° 76844. MAPA DE SOMBRAS. VERANO.
- fig. 284 LOCALIZACIÓN DE LA HOJA 76823 DENTRO DEL CUADRANTE 768
- fig. 285 HOJA N° 76823.
- fig. 286 HOJA N° 76823 Y ADYACENTES. TRIANGULACIÓN. PLANTA.
- fig. 287 HOJA N° 76823 Y ADYACENTES. TRIANGULACIÓN. AXONOMETRÍA.
- fig. 288 HOJA N° 76823 Y ADYACENTES. MAPA DE SOMBRAS. PERIODO ANUAL.
- fig. 289 HOJA N° 76823 Y ADYACENTES. MAPA DE SOMBRAS. INVIERNO.
- fig. 290 HOJA N° 76823 Y ADYACENTES. MAPA DE SOMBRAS. VERANO.
- fig. 291 IMÁGEN DE EUROPA SIN NUBES.
- fig. 292 IMÁGEN CON FONDO.
- fig. 293 IMÁGEN SIN FONDO.
- fig. 294 MAPA DE COBERTURA NUBOSA EN % A LAS 12 UT, PERIODO DEL 13 DE DICIEMBRE DE 2000 AL 14 DE ENERO DE 2001.
- fig. 295 MAPA DE COBERTURA NUBOSA EN LA BANDA INFRARROJA EN % A LAS 12 UT, PERIODO DEL 14 DE DICIEMBRE DE 2000 AL 15 DE ENERO DE 2001.
- fig. 296 PERIODO DEL 15 DE DICIEMBRE DE 2000 AL 14 DE ENERO DE 2001.
- fig. 297 PERIODO DEL 15 DE ENERO AL 14 DE FEBRERO DE 2001.
- fig. 298 PERIODO DEL 15 DE FEBRERO AL 14 DE MARZO DE 2001.
- fig. 299 PERIODO DEL 15 DE MARZO AL 14 DE ABRIL DE 2001.
- fig. 300 PERIODO DEL 15 DE ABRIL AL 14 DE MAYO DE 2001.
- fig. 301 PERIODO DEL 15 DE MAYO AL 14 DE JUNIO DE 2001.
- fig. 302 PERIODO DEL 15 DE JUNIO AL 14 DE JULIO DE 2001.
- fig. 303 PERIODO DEL 15 DE JULIO AL 14 DE AGOSTO DE 2001.
- fig. 304 PERIODO DEL 15 DE AGOSTO AL 14 DE SEPTIEMBRE DE 2001.
- fig. 305 PERIODO DEL 15 DE SEPTIEMBRE AL 14 DE OCTUBRE DE 2001.
- fig. 306 PERIODO DEL 15 DE OCTUBRE AL 14 DE NOVIEMBRE DE 2001.
- fig. 307 PERIODO DEL 15 DE NOVIEMBRE AL 14 DE DICIEMBRE DE 2001.
- fig. 308 MAPA DE COBERTURA NUBOSA EN % A LAS 12 UT, AÑO 2001.
- fig. 309 MAPA DE COBERTURA NUBOSA EN % A LAS 12 UT, AÑO 2001 EN EL ENTORNO DE VALENCIA.



## Parte 0. Introducción

### 1. Planteamiento general

El Sol, como única fuente de energía externa, en forma de luz y calor condiciona cualquier modo de vida sobre el planeta Tierra. La especie humana no es una excepción a esta regla general, y desde los tiempos en que se producen los primeros establecimientos humanos con carácter permanente sobre el territorio, las distintas civilizaciones han elegido ubicaciones que posibilitaran la recepción de la radiación solar del modo más satisfactorio posible, en función de las condiciones ambientales.

En los albores de la civilización, las tomas de decisiones encaminadas a elegir la situación para el establecimiento permanente, debieron estar basadas en la observación directa del fenómeno del movimiento solar, con un carácter meramente empírico.

El nacimiento de la astronomía y su aplicación, permitieron establecer predicciones que afectaban al espacio, al tiempo (en lo referente a los momentos de salida y puesta del Sol) y a la dirección en la que estos fenómenos se producían. Los primeros calendarios estructurados, definieron la duración del año solar en función de los valores extremos de soleamiento alcanzados.

En todas las civilizaciones prehelénicas que han dejado vestigios arquitectónicos de importancia, se puede constatar el hecho de que el conocimiento de las trayectorias solares era un dato de partida para sus proyectistas.

Desde los alineamientos megalíticos de Carnac, (Bretaña Francesa) a Stonehenge, (Gran Bretaña) pasando por Chitchen Itzá, (Yucatán) o el Machu Pichu, (Perú) y las mismas pirámides de Gizeh, (Egipto) aparece la cuestión de la elección previa de la orientación de la edificación con fines religiosos o meramente utilitarios.

Estos conocimientos, una vez recogidos de un modo documental por las civilizaciones del creciente fértil, (Asiria y Babilonia) son incorporados probablemente por vía egipcia, al acervo cultural de la civilización griega, que a su vez lo transmiten a los romanos.

Precisamente es en los textos de un romano; Vitruvio, donde encontramos las primeras referencias a un conjunto de conocimientos estructurados, con carácter utilitario, y una base de aplicación cimentada en la geometría euclídea, que configura la Gnomónica como disciplina. La Gnomónica; o estudio de la evolución de las sombras que un poste vertical, (el Gnomon) arroja sobre un plano horizontal, facilita no sólo el cálculo exacto de la dirección de los puntos cardinales para una ubicación geográfica concreta; sino también su uso como reloj solar y calendario astronómico, permitiendo el cálculo de la hora solar y las fechas de cambio de estación.

La aplicación y el desarrollo de la Gnomónica fueron decisivos para el cálculo y predicción de los fenómenos vinculados al movimiento relativo del Sol, y aun sigue siendo materia de estudio para todos aquellos que intentan una aproximación a la incorporación de la mecánica solar en el proyecto de arquitectura.

De hecho, a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, la aplicación de los saberes de la Gnomónica deviene en la formulación de distintos procedimientos gráficos que permiten la predicción de la dirección del vector solar para una ubicación geográfica y un momento concretos. Son las llamadas cartas solares, que en sus distintas variantes permiten estudiar aspectos de esta temática.

En su fundamento, todas las cartas solares parten de la proyección de las trayectorias anuales del recorrido del Sol sobre una superficie; sea esta plana, esférica o cilíndrica, con el fin de extrapolar a un momento concreto la posición del Sol, aunque entre ellas existen diferencias importantes, tanto en su funcionamiento como en el tipo de datos que aportan.

Cualquier tipo de cartas solares permite el cálculo del vector solar para una ubicación, día y hora concretos. Estos datos son aplicables a un área en la que se puede suponer que los parámetros geográficos son constantes, por ejemplo: una ciudad o un barrio, en los que la pequeña variación de las coordenadas geográficas del lugar, hace que no sea necesario calcular otros valores que los obtenidos para el área de trabajo. Los suministrados por las cartas solares son válidos para un área, pero lo son sólo para un momento concreto del año solar, dado que la variación de la posición del vector solar depende del tiempo.

Las cartas solares generadas mediante una proyección central permiten además superponer a la imagen de las trayectorias solares, la imagen de aquellos objetos que, encontrándose en el entorno próximo del punto estudiado, puedan obstruir la incidencia de los rayos solares sobre aquel. Estas cartas, llamadas también diagramas de obstrucción solar, representan la trayectoria anual del Sol, junto con los objetos que producen las obstrucciones y posibilitan así conocer los periodos que a lo largo del año solar un punto concreto quedará en sombra.

Los diagramas de obstrucciones solares informan de los intervalos en que el punto considerado se encuentra en sombra dentro de un periodo anual. Los datos que proporcionan este tipo de diagramas son válidos en exclusiva para un punto, dado que aunque la variación de latitud y longitud sea muy pequeña, y se pueda asumir que la carta sea válida para un área relativamente grande. No sucede lo mismo con los objetos próximos que producen las obstrucciones, cuyas imágenes para cada punto estudiado son distintas.

Los diagramas de obstrucción permiten también evaluar el llamado factor de obstrucción solar. El factor se define como la relación entre la duración del intervalo en que un punto está en sombra respecto de la duración total del periodo estudiado, en que

podría recibir la radiación solar, si no tuviera objetos a su alrededor que arrojen sombra sobre aquel.

El valor del factor de obstrucción queda definido en tanto que se conozca la ubicación geográfica del punto a estudiar, y la posición de los objetos que puedan arrojar sombra sobre éste. Dicho valor escalar genera un campo sobre las superficies expuestas al Sol, de tal modo que puede adquirir un valor comprendido entre 0 y 1. La evaluación de dicho factor por los métodos que proveen las cartas solares obliga a hacer el estudio pormenorizado para cada uno de los puntos a estudiar, sin permitir el estudio de la variación del factor de obstrucción de un modo masivo, o extendido a un área concreta.

La cuestión del cálculo del factor de obstrucción ha sido abordada por diferentes estudiosos del tema con significativas aportaciones. Entre ellas, y por orden cronológico cabe destacar la propuesta del Dr. M.A. Herrero, que plantea el concepto de porcentaje de insolación del terreno, las propuestas de E. Shaviv y A. Yezioro, del Israel Institute of Technology, y las de Mesa, Quilez y Regot, de la Universitat Politècnica de Catalunya, por la introducción de la tecnología CAD al cálculo del soleamiento.

Las diferencias sustanciales entre los procedimientos propuestos radican en el modelo adoptado para simular el movimiento solar y su influencia en la configuración de la información obtenida. Los profesores Shaviv y Yezioro han optado por estudiar el fenómeno desde el punto de vista del vector solar, lo que proporciona resultados extensivos, esto es: aplicables a todos los puntos de un área de estudio, pero de carácter instantáneo respecto del tiempo. Los profesores y Mesa, Quilez y Regot se decantan por estudiar el fenómeno desde el punto de vista de la obstrucción; por lo que los resultados obtenidos son válidos para el periodo anual, aunque lo son en exclusiva para el punto estudiado.

El objetivo del presente estudio es la obtención de resultados que permitan conocer la distribución del valor del factor de obstrucción sobre un entorno concreto, de un modo extensivo y válido para todo el periodo anual; haciendo posible de este modo su aplicación como herramienta en la toma de decisiones.

A tal fin, se propone inicialmente un procedimiento analógico aplicado a un modelo simple. Se define una matriz de puntos en los que estudiar el valor del factor de obstrucción mediante la colocación en cada uno de ellos de una carta solar estereográfica. Sobre ésta se estudian las obstrucciones producidas por los objetos del entorno, al tiempo que se define en la bóveda celeste un número de puntos de muestreo tal que resulte significativo a efectos del cálculo de los intervalos de obstrucción. Si se verifican en cada uno de los puntos definidos sobre la matriz el número de puntos de la carta solar obstruidos respecto del número de puntos totales, se obtiene con una aproximación suficiente el valor del factor de obstrucción para el punto estudiado. La interpretación de dichos valores escalares como si se tratase de una cota en un plan topográfico, permite definir por interpolación lineal una superficie que, extendida sobre el objeto de estudio hace posible la predicción del valor del factor de obstrucción para un punto cualquiera.

Las dificultades de aplicación del modelo analógico a objetos más complejos quedan de manifiesto por su complejidad y laboriosidad. Es por esto que se propone un método alternativo basado en la velocidad de cálculo de los procedimientos informáticos. Asumiendo que los programas de CAD permiten obtener imágenes de sombras propias y arrojadas de objetos, (una vez definida su geometría y conocida su ubicación geográfica y su orientación) puede organizarse una secuencia de imágenes que reproduzca la variación anual del vector solar. Las imágenes obtenidas en cantidad suficiente proveen de datos, que tras su proceso y análisis permiten evaluar el factor de obstrucción para cualquier punto de su superficie.

El procedimiento está basado en el análisis del valor de gris contenido en los píxeles de las imágenes obtenidas como secuencia representativa del periodo anual. La frecuencia con que un píxel concreto aparece en la imagen de color negro (en sombra), o blanco (expuesto a la luz solar) permite calcular un valor de gris como media aritmética, que produce una imagen global, como resultado gráfico, de la cual puede extraerse el resultado numérico del factor de obstrucción correspondiente a cada píxel.

Aplicando el procedimiento descrito anteriormente al modelo estudiado por procedimientos analógicos, se obtiene un resultado significativamente comparable, lo que permite a su vez validar el procedimiento basado en la tecnología CAD como herramienta para el cálculo del valor del factor de obstrucción.

A continuación se propone la aplicación sistemática del procedimiento a distintos modelos de proyecto arquitectónico. Estos modelos han sido elegidos en función de su escala y de sus necesidades de soleamiento. En función de su tamaño, los modelos estudiados pueden agruparse del siguiente modo:

- Estudio de un modelo geométrico. Se analizan las posibilidades del procedimiento para obtener imágenes significativas por distintos tipos de proyecciones, en plantas, alzados, secciones, axonometrías y proyecciones cónicas.
- Estudio de detalles arquitectónicos. Se analizan las condiciones del soleamiento de una habitación, y de las protecciones solares tipo brisse soleil; y se estudian dos tipos diferentes de claraboyas.
- Estudio de elementos de mobiliario urbano. Se dedica al análisis de modelos de protecciones solares, como toldos y marquesinas.
- Aplicaciones al planeamiento urbanístico. Se analizan modelos urbanos pertenecientes a distintas épocas y se estudia el impacto de nuevas edificaciones sobre entornos ya construidos.
- Aplicaciones al análisis del territorio. Se estudia el efecto de las obstrucciones producidas por el propio relieve topográfico.

Del estudio de las condiciones de soleamiento de los modelos anteriores se derivan las conclusiones del presente estudio. Tras las conclusiones, se presenta un procedimiento desarrollado por el DSRS (Dundee Satellite Receiving Station), de la Universidad de Dundee, Gran Bretaña; que permite incluir los factores de carácter



meteorológicos en el estudio de soleamiento, mediante el definido como porcentaje de cobertura nubosa, que provee de información complementaria al presente estudio.

Acompañan el presente estudio tres anejos en los que se recoge información gráfica sobre los procedimientos adoptados para el cálculo del factor de obstrucción. En el primero de ellos se muestran las imágenes utilizadas para calcular el factor de obstrucción sobre los puntos de la matriz de control por el procedimiento analógico. En el segundo anejo se muestra un extracto de las imágenes utilizadas para calcular el factor de obstrucción sobre el mismo modelo. En concreto se muestran las imágenes correspondientes al solsticio de invierno, al equinoccio de primavera y al solsticio de verano para cada uno de los modelos estudiados. El tercer anejo contiene un índice de las animaciones obtenidas a partir de las secuencias de imágenes procesadas en el punto 5. Los archivos informáticos de dichas animaciones pueden encontrarse en soporte CD en la contratapa del presente estudio.

Por último, cierra el presente estudio el capítulo destinado a recoger las referencias bibliográficas consultadas durante su elaboración, las fuentes documentales en las que se puede encontrar información adicional sobre el tema y las direcciones en internet donde se han encontrado temas relacionados con el estudio del soleamiento.



## Parte I: Estado del Arte

### 2. El control del Movimiento solar

Los movimientos relativos del sistema Sol-Tierra, junto con el movimiento de rotación de la Tierra sobre sí misma hacen que el Sol, al ser observado desde un punto concreto de la superficie terrestre defina sobre la bóveda celeste del lugar unas trayectorias que recorre periódicamente.

La interpretación de dichas trayectorias, tanto en su variación diaria como anual, permitió el conocimiento del movimiento solar. El hombre fue capaz de desentrañar la mecánica del movimiento solar y entonces pudo establecer predicciones sobre el momento en que el Sol ocuparía una posición concreta en la bóveda celeste.

Del estudio de la posición del Sol sobre la bóveda celeste se deriva el conocimiento de la dirección de su radiación, definida como vector por su punto origen; el Sol y su punto destino; el punto objeto de estudio.

La primera utilización de carácter práctico del control del movimiento solar, dado su carácter cíclico, fue la fabricación de artefactos capaces de identificar la dirección de la radiación solar, y vincularla a un instante dentro del tiempo. En esencia en todos los relojes y calendarios construidos bajo este principio cuentan con un punto fijo; sea este un orificio, o el extremo de un gnomon, y una superficie sobre la que dicho punto proyecta su sombra. La variación de la posición del punto en que incide la sombra sobre un cuadrante graduado permite medir el paso del tiempo.

Conocer la dirección de la radiación solar en un momento concreto permitió también considerar el sol como dato de partida para el proyecto de arquitectura. Las corrientes higienistas del XIX, y el desarrollo de los modelos urbanísticos para el ensanche y crecimiento de los centros urbanos, que desembocan en los postulados del Movimiento Moderno, encuentran en el Sol un derecho a reivindicar, para el correcto desarrollo de las actividades humanas.

La repercusión de los postulados del Movimiento Moderno en el proyecto de arquitectura lleva a la proposición de nuevas estructuras portantes, que liberan a las fachadas de la función estructural que hasta el momento cumplían. Esto permite la apertura de grandes huecos en las fachadas, con la consiguiente ganancia de luz natural en el interior de las edificaciones.

La necesidad de contar con procedimientos gráficos que permitan con relativa sencillez conocer la dirección de la radiación solar dada una ubicación geográfica lleva al planteamiento de las cartas solares.

Todas las cartas solares resultan de la proyección de las trayectorias solares sobre distintos tipos de superficies. De la posición de las trayectorias solares sobre la superficie del cuadro, y del tipo de proyección con el que se ha generado, sea esta cónica o cilíndrica puede deducirse la dirección de la radiación solar para una fecha y hora concreta. Este dato permite conocer las sombras propias y arrojadas por un entorno relativamente amplio, en el que pueden considerarse constantes las coordenadas geográficas que han generado la carta, pero cabe destacar que el valor del dato obtenido es instantáneo, y por tanto válido en exclusiva para el momento en que ha sido calculado.

De entre las cartas solares, aquellas que se generan por proyección cónica permiten además en cálculo de obstrucciones solares sobre un punto previamente definido. Dicho cálculo consiste en obtener desde el punto estudiado una proyección cónica de los objetos del entorno y de las trayectorias solares, permitiendo definir por superposición, en qué intervalos del periodo anual el punto objeto de estudio se encuentra en sombras. La imagen obtenida en cualquier diagrama de obstrucciones suministra información válida para todo el periodo anual, pero dicha información sólo es válida para el punto estudiado.

La crisis energética de los años 70, y las necesidades de racionalidad en el consumo energético impuestos por la misma traen de nuevo a la actualidad las cuestiones del soleamiento. La generalización del muro cortina como cerramiento, y su alta capacidad para la transmisión de calor obligaban a un elevado consumo energético tanto en climatización, en el caso de que el muro cortina recibiera una fuerte insolación; como en calefacción, debido a las pérdidas por transmisión del calor interior al exterior.

El Sol no sólo produce luces y sombras, sino que su energía puede colaborar a conseguir unas condiciones de confort aceptables en el interior de las edificaciones, reduciendo el aporte energético necesario para conseguirlo. Este cambio de mentalidad viene acompañado de un cambio en las herramientas de cálculo del soleamiento y del consumo energético.

La generalización de las aplicaciones de la informática en la gestión del proyecto de arquitectura permiten calcular el balance energético de una edificación, conocidas las características físicas de los cerramientos y las ganancias atribuibles a la radiación solar. Aun así, los modelos de evaluación del balance energético de las edificaciones pueden presentar importantes desviaciones respecto de la realidad, debido a la gran cantidad de factores que condicionan los resultados, en ocasiones de difíciles de evaluar y de predecir.

Pero es en el campo programas de Diseño Asistido (CAD) donde se han producido los avances más notables en el cálculo del soleamiento. La definición tridimensional de las edificaciones proyectadas, y la posibilidad de incluir en la escena focos luminosos de vértice impropio, cuya posición en la bóveda celeste puede hacerse corresponder con una fecha y una hora determinada permiten la obtención de sombras propias y arrojadas, del mismo modo que podían obtenerse a partir de las cartas solares.

## 2.1. Perspectiva histórica: De la construcción de relojes de Sol al cálculo informático de soleamiento

La utilización de los conocimientos relacionados con el movimiento solar aplicados a la arquitectura a lo largo de la Historia tiene, por parte de las civilizaciones antiguas un carácter utilitario y empírico. El carácter beneficioso de la radiación solar para la vida humana se manifiesta en la disposición de las edificaciones de modo favorable a la recepción de la misma, y el trazado de los asentamientos urbanos, generalmente orientado respecto de los puntos cardinales. Otro aspecto utilitario de las cuestiones relacionadas con el movimiento solar fue la construcción de relojes y calendarios solares, aprovechando el carácter cíclico del movimiento solar para el cálculo de la hora, y la determinación de las fechas de principio y fin de las estaciones.

La preocupación por las relaciones entre el lugar y el proyecto de arquitectura, con relación a la incidencia solar, además del concepto de gnomónica como disciplina puede encontrarse por primera vez en un texto escrito en el tratado *Los Diez Libros de Architectura*, de Vitrubio<sup>1</sup>. En la traducción al castellano de Joseph Castañeda de 1761, a partir de la versión en francés de Claude Perrault, puede leerse en el Libro Primero, Capítulo Tercero, Artículo Segundo:

*De la posición de los edificios:*

*La posición de una Ciudad depende de su situación relativa al Cielo. y respecto a los ayres.*

*“Después de haber elegido un parage sano, se debe delinear Ó demarcar las calles, conforme al aspecto mas ventajoso del Cielo. La mejor posición será de modo que los ayres no enfilen las calles en aquellos parages en que fuesen muy frios y extraordinariamente impetuosos.*

*La posición de las Casas y de sus partes pende de dos cosas, á saber:*

*El aspecto de las Casas particulares se hace comodo por medio de aberturas que de varios modos se practican en ellas para recibir ayre y darles luces, conforme á la condicion de las piezas que tiene la Fabrica.*

*l. De sus calidades y usos, según los cuales se deben situar diversamente.*

*Y así las Despensas, Bodegas, Graneros, y generalmente todas las piezas destinadas para encerrar y guardar algunas cosas, deben exponerse ácia el Septentrion y recibir poquisimo Sol.*

*Lugares para encerrar frutos*

*La variedad de los destinos que se da á las partes que componen las Fabricas piden tambien variedad en su posición.*

*Salas de comer en Invierno y Baños*

*Las Piezas ó Salas en que comian los antiguos en tiempo de Invierno y sus Baños miraban ácia el Poniente de Invierno, cuya posición las hacia mas calientes, respecto de herirlas el Sol en aquella misma hora de dia en que acostumbraban servirse de ellas.*

*Bibliotecas*

*Las Bibliotecas deben estar al Levante, porque su uso pide la luz de la mañana: además que los Libros, si miran ácia esta parte, no se maltratan tanto como en las Bibliotecas que miran ácia el Mediodia y Poniente, en donde estan mas sujetos á gusanos y á cierta humedad que*

<sup>1</sup> M. L. VITRUVIO. *Los diez libros de Architectura*. Ed. Iberia. reedición 1997.

<i>Salas de comer en Primavera y Otoño</i>	<i>los enmohece. Las Piezas ó Salas de comer en la Primavera y en el Otoño deben mirar al Oriente, para que estando al abrigo de la mayor fuerza del Sol, que es al tiempo que se pone, se hallen templadas quando es preciso servirse de ellas.</i>
<i>Quartos de Verano</i>	<i>Los Quartos de Verano mirarán al Septentrion, para que estén mas frescos.</i>
<i>Los Gavinetes de Pinturas y Obradores de Pintores</i>	<i>Este aspecto no es menos propio para los Gavinetes de Pinturas y Obradores de Pintores; pues la igualdad de la luz que se goza en ellos en cualquier hora del día mantiene los colores siempre en un mismo estado.</i>
<i>II. De la naturaleza de los Países</i>	<i>No menos atencion merecen los diversos Países, en que los Edificios, por los excesos de calor ó frio, requieren situaciones, posiciones y disposiciones diversas. En los Países Septentrionales deben estar la Casas embobedadas, tener pocas aberturas, y estar vueltas ácia las partes del Mundo en donde mas reyna el calor; y al contrario, en las Regiones calurosas y Meridionales deben tener grandes aberturas que miran al Septentrion, para que el arte y la industria remedien las incomodidades que tienen los sitios por naturaleza.”</i>

Más allá de las recomendaciones sobre la orientación de los edificios y sus distintas dependencias en función de los usos de las mismas, el conocimiento de la gnomónica por parte de los romanos les permitió la construcción de relojes solares, que además de medir la duración de las horas del día, tenían funciones de calendario.

Uno de los mejores ejemplos de reloj-calendario construido por los romanos es el llamado Reloj Solar de Belo, descrito en un artículo del Boletín del Museo Arqueológico Nacional (de España) escrito por el Dr. D. José María Raya Román en 1984<sup>2</sup>.

El reloj, encontrado en la población de Belo, en las proximidades de Tarifa costa de una semiesfera hueca de 602 mm de diámetro, vaciada del interior de un prisma triangular de mármol blanco.

En la cara superior del prisma, tangente a la semiesfera existía una pieza metálica con un orificio, que al permitir el paso de un rayo de luz solar, dejaba que éste incidiera sobre la semiesfera, marcando la hora y la estación del año.

En la superficie interior de la semiesfera están grabadas sobre el mármol las líneas correspondientes a los equinoccios y los solsticios, además de las líneas horarias. La línea correspondiente a los equinoccios resulta de la proyección cónica desde el orificio de la cara superior de la trayectoria solar correspondiente, que por tener una declinación nula produce sobre la esfera una circunferencia, sección plana de la misma, cuya inclinación respecto al plano horizontal corresponde con la colatitud del lugar.

<sup>2</sup> RAYA ROMÁN, JOSÉ MARÍA. (1984): *El Reloj Solar de Belo*. Boletín del Museo Arqueológico Nacional II. Madrid

Las líneas sobre la esfera correspondientes a los solsticios resultan de la proyección cónica de las trayectorias solares correspondientes, con un valor para su declinación  $\delta = \pm 23^{\circ}27'$ . Dichas trayectorias al ser proyectadas definen un cono completo cuyo vértice coincide con el centro de proyección, y que produce por intersección con la semiesfera que actúa como superficie del cuadro, una lemniscata alabeada.

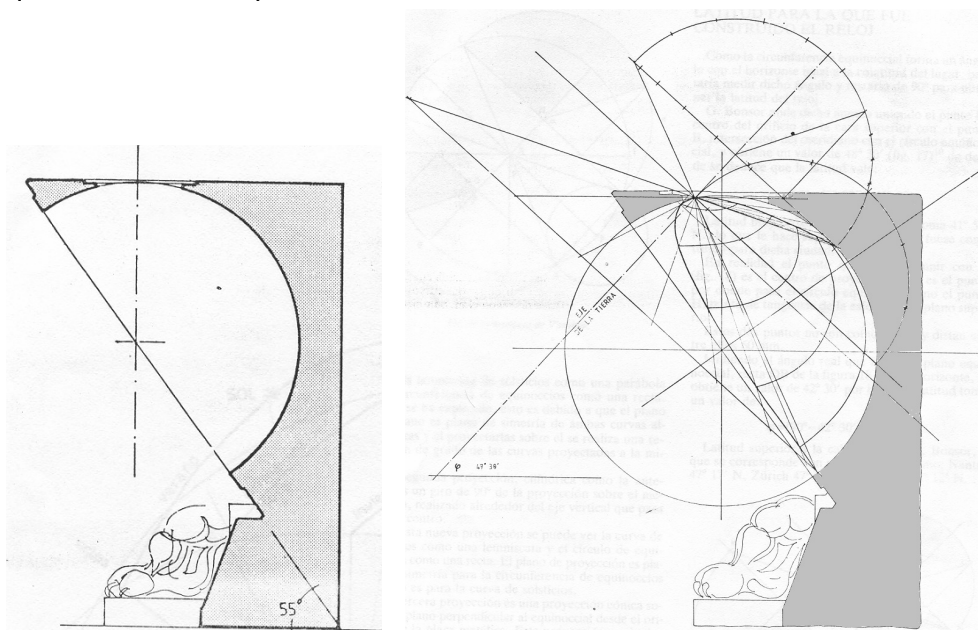


fig. 1 y 2: EL RELOJ SOLAR DE BELO. SECCIÓN y TRAZADO DE LEMNISCATA. D. JOSÉ MARÍA RAYA ROMÁN. BOLETÍN DEL MUSEO ARQUEOLÓGICO NACIONAL. 1984.

La lemniscata así definida tiene dos lóbulos, coincidentes en el centro de proyección. El menor de ellos se corresponde con el solsticio de invierno, mientras que el mayor se corresponde con el solsticio de verano. Las tangentes a la lemniscata en el centro de proyección marcan las direcciones del orto y el ocaso en los solsticios. Las líneas horarias, secciones planas de la esfera dividen las trayectorias en doce partes de igual duración para solsticios y equinoccios. Dichas horas, llamadas italianas o babilónicas, tienen distinta duración en función de la estación, siendo de sesenta minutos durante los equinoccios, de mayor duración en el solsticio de verano, y de menor duración en el solsticio de invierno.

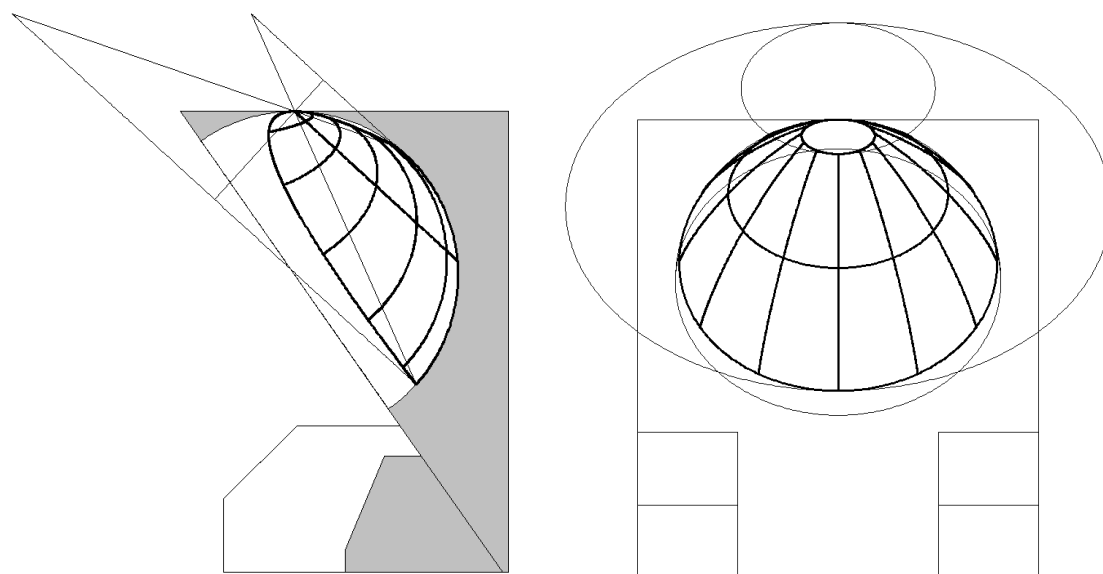


fig. 3: EL RELOJ SOLAR DE BELO. MODELO INFORMÁTICO TRIDIMENSIONAL. TRAZADO DE LEMNISCATA.

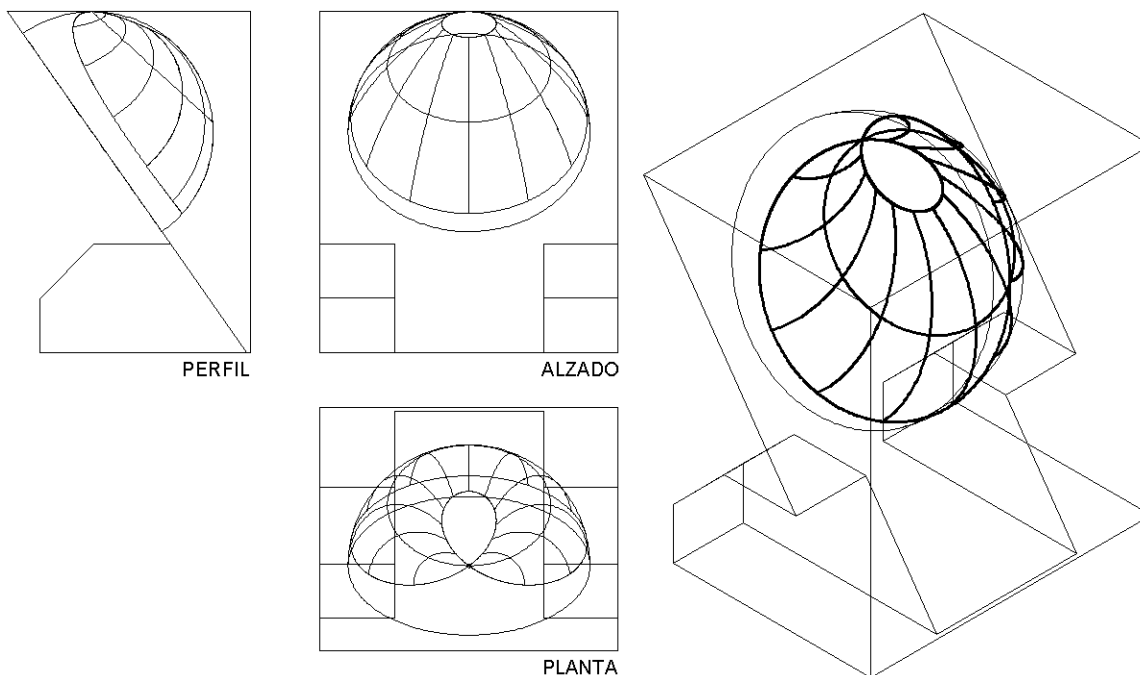


fig. 4 EL RELOJ SOLAR DE BELO. MODELO INFORMÁTICO TRIDIMENSIONAL. ALZADO, PLANTA, PERFIL Y AXONOMETRÍA ISOMÉTRICA.

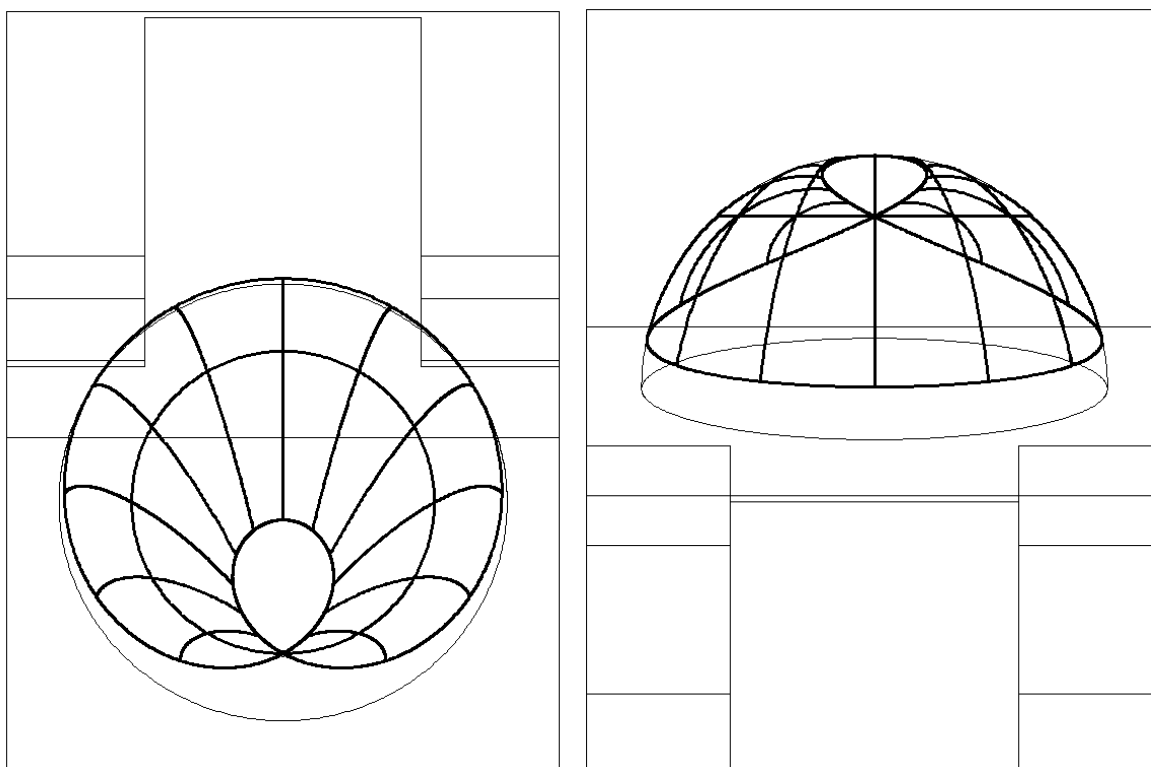


fig. 5: EL RELOJ SOLAR DE BELO. MODELO INFORMÁTICO TRIDIMENSIONAL. PROYECCIÓN EN LA DIRECCIÓN DEL EJE DE LA TIERRA Y PROYECCIÓN EN LA DIRECCIÓN DEL ECUADOR CELESTE.

Un modelo informático tridimensional del reloj solar de Belo puede ayudar a evaluar la profundidad y complejidad de los conocimientos de la civilización romana, tanto sobre geometría en general como sobre astronomía en particular.

Los conocimientos adquiridos por la civilización romana, transmitidos a civilizaciones posteriores, son utilizados para el trazado y construcción de relojes de Sol y calendarios solares, normalmente situados sobre edificios públicos de carácter representativo, o sobre edificios religiosos, y su ideación y ejecución fue obra normalmente de los mismos



artífices encargados de la construcción de las edificaciones sobre las que se encuentran situados. Los conocimientos de geometría y astronomía necesarios para la construcción de relojes de Sol tuvieron durante la Edad Media un carácter esotérico, siendo conocidas y transmitidas únicamente dentro del ámbito de los gremios de canteros y constructores de edificios.

Sin ánimo de ser exhaustivo respecto de la gran variedad de relojes solares existentes, de su cronología y de su ubicación geográfica, se muestran a continuación algunos ejemplos relevantes de relojes construidos sobre arquitecturas, correspondientes a distintas épocas.

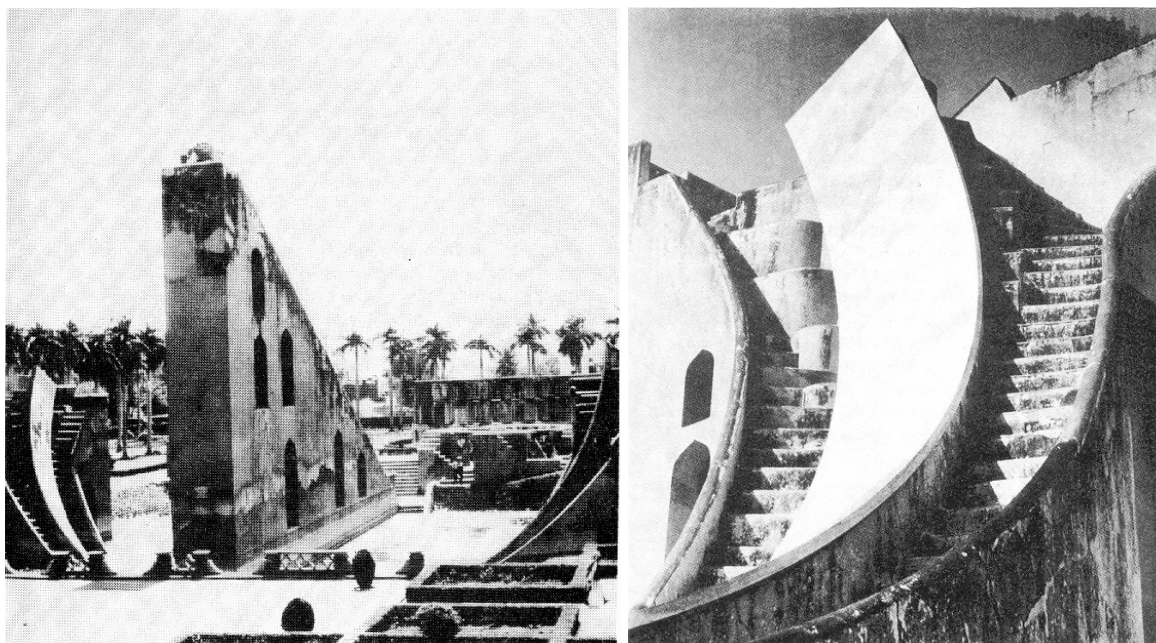


fig. 6: OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DEL SULTAN JAI SINGH, JAIPUR, DELHI, S. XVIII.

Las civilizaciones de Asia, no vinculadas con las culturas mediterráneas cuentan con impresionantes ejemplos de arquitecturas en las que queda patente el conocimiento de la mecánica astronómica y el movimiento solar.

En torno al 1760 el Sultán Jai Singh mandó construir en Jaipur, en las proximidades de Delhi, un complejo arquitectónico con funciones de observatorio astronómico cuya forma es al mismo tiempo un reloj solar.

El complejo consta de diversas edificaciones, y cuenta en su zona central con una escalera que asciende hasta el punto de observación. La escalera, de 18,50 metros de altura tiene una inclinación de  $28.35^\circ$ , que coincide con la latitud del lugar. De este modo, las barandillas de la escalera actúan como gnomon arrojando sombra sobre la superficie curva de unas escaleras laterales. El complejo cuenta con multitud de edificios de menor dimensión, que cumplen funciones de calendario astronómico y permiten la predicción de efemérides relacionadas con el paso de las estaciones, así como el tránsito de las constelaciones que se encuentran sobre la eclíptica por el meridiano del lugar.

Los conocimientos necesarios para la construcción del complejo astronómico de Jai Singh seguramente se encontraron recogidos en textos escritos, en donde las efemérides astronómicas y los principios del movimiento solar, acompañados del aparato matemático necesario para su predicción debían estar descritas con toda exactitud, pero su difusión no es conocida en occidente; aunque la validez de los planteamientos recogidos en dichos textos queda patente por la magnitud de las obras construidas.

En la mayoría de civilizaciones asiáticas pueden encontrarse también ejemplos de relojes solares construidos con posterioridad al S. XV, y aunque se trata de relojes adosados a arquitecturas monumentales, no tienen las dimensiones del descrito anteriormente.

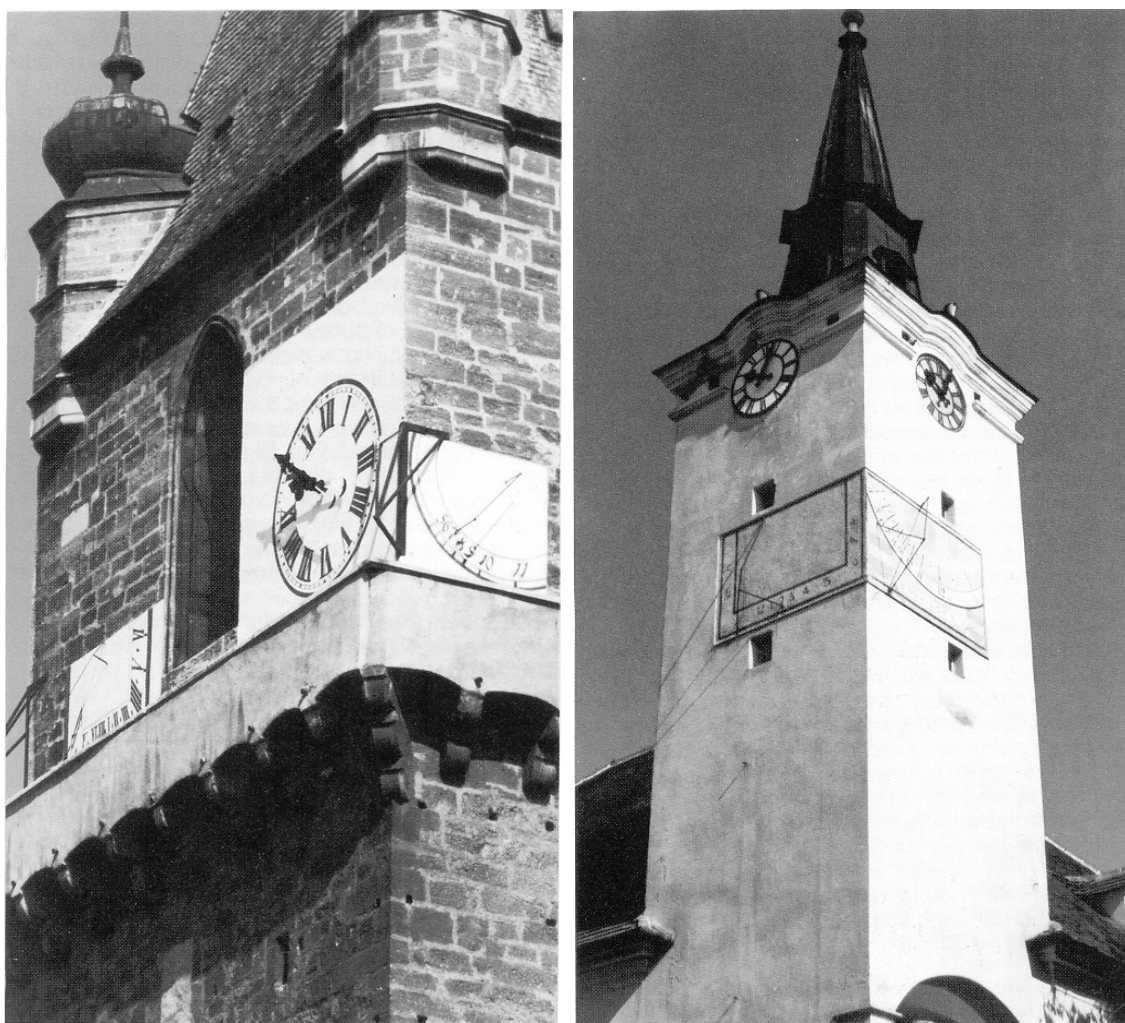


fig. 7: RELOJ VERTICAL SUR Y ESTE, EN LA TORRE DE LA IGLESIA DE PERCHTOLDSFORD, EN LAS CERCANÍAS DE VIENA.  
RELOJ VERTICAL SURESTE Y SUROESTE, EN LA TORRE DE LA IGLESIA DE GUMPOLDSKIRCHEN, EN LAS CERCANÍAS DE VIENA.

En el entorno cultural europeo a partir del Renacimiento<sup>3</sup> proliferan las edificaciones civiles y religiosas que sirven de soporte a relojes de Sol. Estos relojes, que habitualmente se disponen sobre las fachadas de los edificios, y en ocasiones sobre el pavimento de plazas y espacios públicos, aparte de su función utilitaria, responden al espíritu renacentista, que recupera el estudio científico de la geometría.

<sup>3</sup> EMBACHER, FRANZ. (1988): *Relojes de Sol. Teoría y construcción*. Progenza. Barcelona

En la figura 7, se muestran a modo de ejemplo dos relojes de Sol construidos en el entorno de Viena. La orientación de los paramentos de fachada en ambos casos es a sureste y suroeste, lo que obliga a colocar un reloj en cada fachada, con el fin de que al menos uno de ellos reciba los rayos solares durante las horas de Sol disponibles a lo largo del día.

El renacimiento Italiano cuenta también con importantes ejemplos de la aplicación del conocimiento de la gnomónica a la construcción de relojes solares.



fig. 8 y 9: RELOJES SOLARES EN LA VILLA BARBARO. ANDREA PALLADIO. MASER, TREVISO. EN TORNO A 1550

La Villa Barbaro<sup>4</sup> construida por Andrea Palladio en la población de Maser, cerca de Treviso es una residencia privada, donde algunas de sus edificaciones están destinadas al almacenamiento de productos agrícolas. En el frontispicio de las alas laterales de la villa se disponen sendos relojes solares.

El reloj del ala oeste tiene funciones de calendario. En él se indican las trayectorias solares correspondientes a la entrada del Sol en las doce constelaciones del Zodiaco.

También se encuentra grafiado el Analema, que indica la variación del ángulo horario en función de la declinación para las distintas estaciones del año. El gnomon, que indica en este caso la estación del año, está rematado por un disco opaco con una perforación en el centro, que permite el paso de un rayo de Sol, que al incidir sobre el cuadrante indica el mes en curso.

El reloj del ala este muestra en su cuadrante la hora del día en curso, mediante un gnomon alineado con el eje de la Tierra. Las horas del cuadrante están limitadas por la proyección de las trayectorias correspondientes a los solsticios.

Ambos relojes son complementarios, ya que mientras uno cumple las funciones de un reloj al uso, el otro actúa como calendario.

<sup>4</sup> ACKERMAN, J (1966). *Palladio. The Architect and Society*. Ed. Penguin books. Londres. Reedición 1997

El S. XVI marca en España el inicio de la difusión de multitud de tratados de gnomónica, cuya interpretación por parte de canteros y maestros de obra permite incluir relojes de Sol en sus edificaciones civiles y religiosas.

La mayoría de los relojes que datan de esta época son de los llamados de cuadrante vertical. Dicho cuadrante, dispuesto sobre una fachada, presenta unas marcas que indican la hora solar y recibe las sombras proyectadas por el gnomon, que en este tipo de relojes suele ser una varilla metálica, situada en una dirección paralela al eje de rotación de la Tierra.

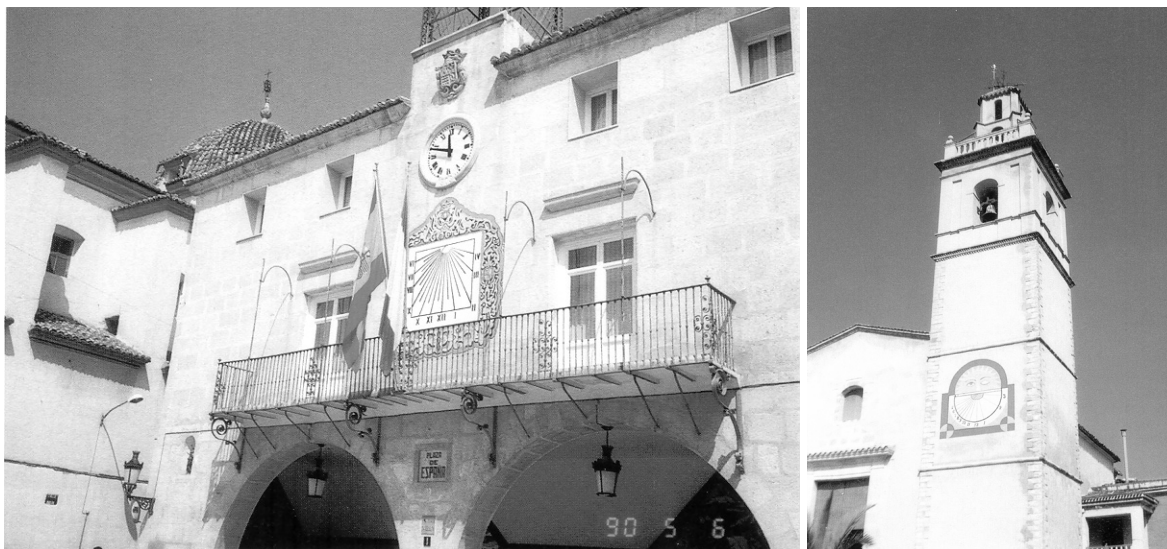


fig. 10: RELOJ DE SOL EN LA FACHADA DEL AYUNTAMIENTO DE NOVELDA. RELOJ SOLAR EN LA TORRE DE LA IGLESIA PARROQUIAL DE NTRA. SRA. DEL ROSARIO. BENILLUP.

A modo de ejemplo, se muestran en la figura 10 dos relojes solares de cuadrante vertical, situados en la provincia de Alicante<sup>5</sup>. Las fachadas sobre las que se han construido ambos relojes se encuentran orientadas al sur.

A mediados del S. XVI se publican en España los tratados de matemáticas escritos por Pedro Sánchez Ciruelo, Juan Pérez de Moya y Jerónimo Muñoz. En dichos tratados aparecen distintas referencias a la gnomónica.

Es el Catedrático de matemáticas en Salamanca, Francisco Sánchez, *El Brocense*, quien traduce del latín un texto escrito por el holandés Hugo Helt. El libro es la primera referencia bibliográfica española dedicada en exclusiva a la gnomónica. El libro fue publicado en 1549, carece de ilustraciones y se tituló "*Declaración y uso del Relox español*".

Años después, en 1575, el sacerdote valenciano Pedro Roiz publicó un libro titulado "*Libro de relojes solares*"<sup>6</sup>. En el libro, Pedro Roiz se declara alumno de Jerónimo Muñoz de quien recibió sus conocimientos de gnomónica y geometría. La primera parte del mismo está dedicada a las construcciones geométricas que serán necesarias para las

<sup>5</sup> DOMENECH, J. (1990): *Trazado y construcción de Relojes de Sol*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Alicante.

<sup>6</sup> ROIZ, PEDRO. (1575): *Libro de Relojes Solares*. Ed. Pedro de Huete. Valencia.

demostraciones contenidas en el texto, seguido de un glosario de términos, y de una clasificación de los relojes de Sol.

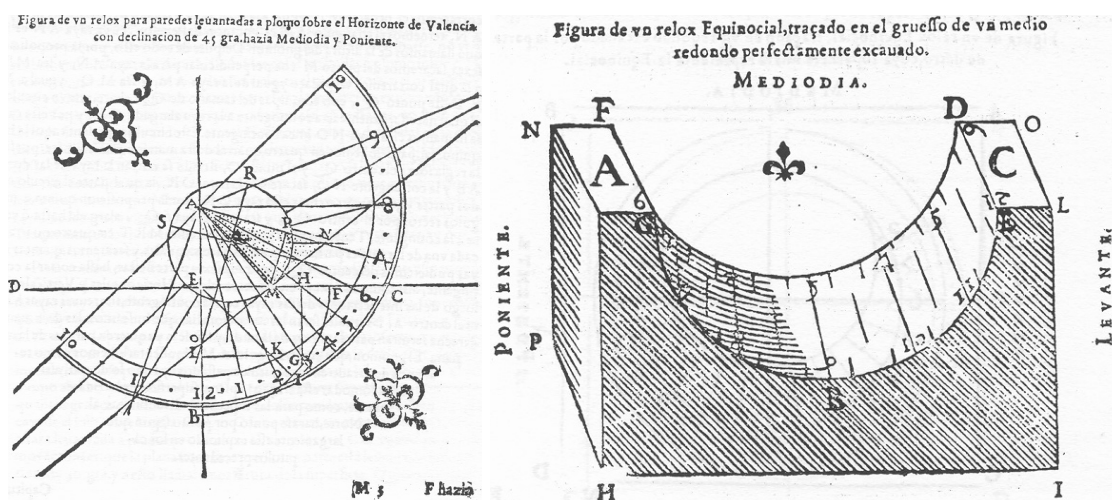


fig. 11 Y 12: RELOJ SOLAR VERTICAL Y RELOJ SOLAR EQUINOCCIAL. PEDRO ROIZ. LIBRO DE RELOJES SOLARES. 1575.

Continúa el texto con la explicación minuciosa del trazado y construcción de los distintos tipos de relojes, además de facilitar la “altura del norte” para multitud de ciudades de España. Los objetivos del libro son claramente divulgativos, tratando de poner al alcance de quien esté interesado en la temática los conocimientos necesarios para el trazado y construcción de relojes de Sol.

En 1585 se publica en Sevilla el libro “*De varia commesuración para la escultura y la Architectura*”<sup>7</sup> escrito por Juan de Arfe y Villafañé. El libro, que trata temas generales sobre geometría, incluye dos capítulos completos dedicados al trazado y construcción de relojes solares.

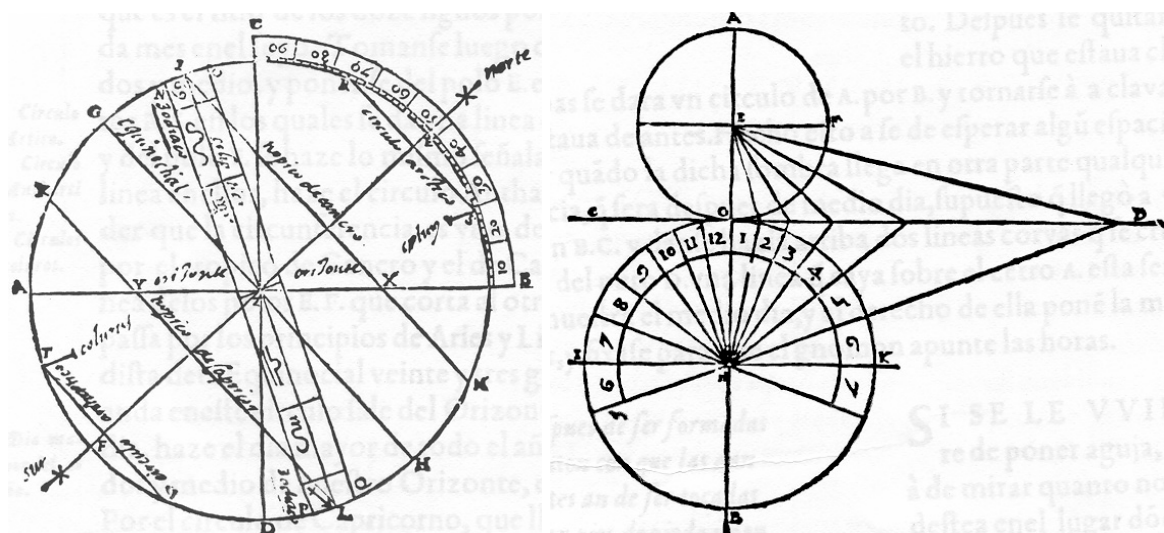


fig. 13: BOVEDA CELESTE Y TRAZADO DE MERIDIANOS HORARIOS. DE VARIA COMMESURACIÓN. JUAN DE ARFE. 1585.

Dichos capítulos se encuentran en el libro primero, título segundo, y son:

- Capítulo III, trata de los círculos de la sphaera y relojes Horizontales: contiene cinco figuras: En este capítulo se definen los principios de funcionamiento del

<sup>7</sup> DE ARFE Y VILLAFANÉ, JUAN. *De varia commesuración para la escultura y la Architectura* 1585 Sevilla.

movimiento solar, la división de la esfera celeste por los trópicos y círculos polares, la construcción de relojes horizontales, el cálculo del norte geográfico y su diferencia con el norte magnético.

- Capítulo IV, trata de los relojes cilindros, contiene seis figuras: Comienza con una clasificación de las ciudades de España en función de su latitud, en nueve zonas geográficas, para tratar posteriormente de la construcción del reloj de Sol cilíndrico y de un reloj de Sol portátil de forma anular.

Aun tratándose de un texto general sobre geometría, la profundidad de los conocimientos expuestos en el tratado permite a los profanos en la materia la construcción de los tres tipos de relojes solares descritos. Solo cabe destacar como deficiencia en el tratado de Juan de Arfe algunos errores en la ubicación geográfica de las ciudades de España. El tratado divide España en nueve zonas geográficas en función de su latitud, donde es aplicable una tabla concreta que permite la predicción del orto y el ocaso para el día 22 de cada mes.

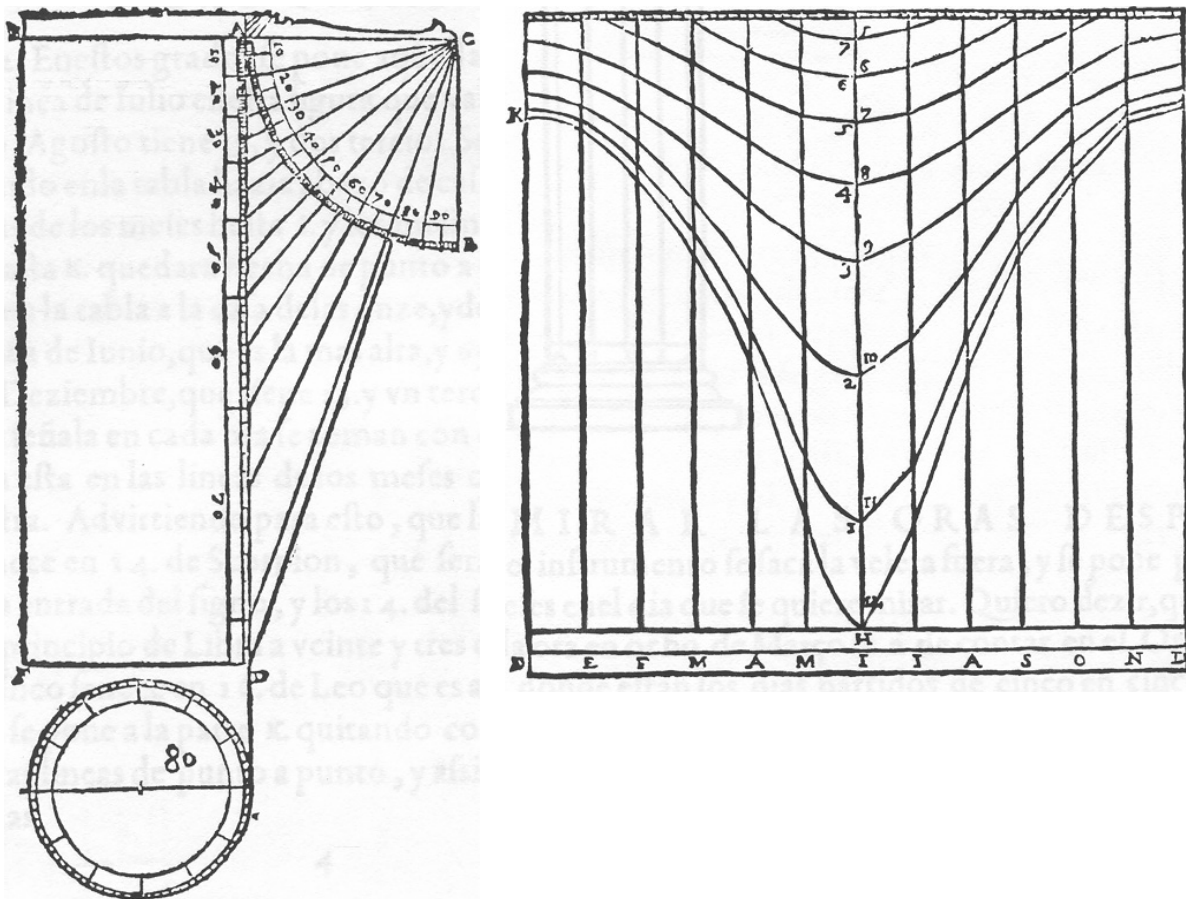


fig. 14: RELOJ SOLAR CILINDRICO. DE VARIA COMMESURACIÓN. JUAN DE ARFE. 1585.

La primera zona, que incluye a Gibraltar como villa más al sur de España, tiene una latitud de  $37^\circ$ , mientras que la novena, que incluye a Santillana del Mar como villa mas al norte de España, tiene una latitud de  $45^\circ$ . Esta división de España en zonas de latitud entera asigna a la ciudad de Valencia una latitud comprendida entre los  $41^\circ$  y los  $42^\circ$  grados, siendo que el dato proporcionado por Pedro Roiz diez años antes, que a su vez lo había tomado de Jerónimo Muñoz es de  $39^\circ 30'$ , es el correcto.



El “*Tractatus de solaribus horologiis*”<sup>8</sup> escrito por el presbítero Juan Bautista Corachán data de finales del S. XVII. El tratado consta de cuatro libros, con una extensión total de 56 páginas, está redactado en latín y cuenta con ilustraciones.

El tratado, que recorre en su exposición los contenidos de los textos publicados con anterioridad sobre el tema, tiene aportaciones interesantes sobre la representación de las trayectorias solares.

La caracterización de las secciones cónicas como curvas de segundo grado, y su clasificación en función de la existencia o no de puntos impropios en las mismas permite la definición de las sombras arrojadas por el gnomon como hipérbolas, parábolas o elipses en función de la latitud del lugar.

El texto manuscrito, y las ilustraciones de pequeñas dimensiones y trazadas a mano alzada hacen en ocasiones que el texto reseñado resulte de difícil interpretación.

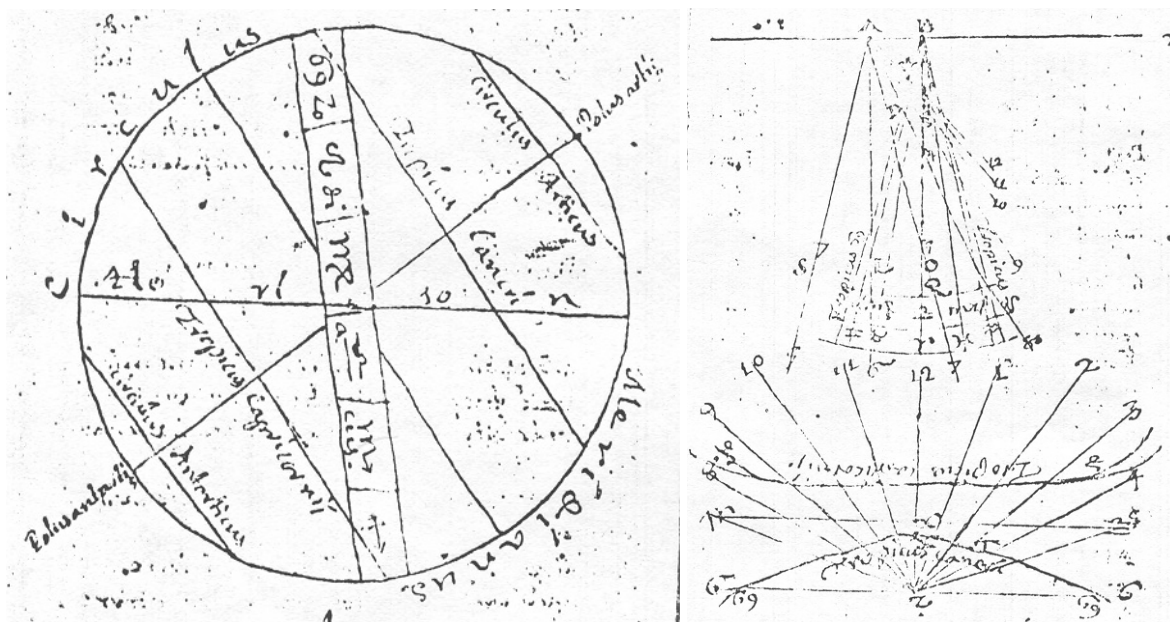


fig. 15 Y 16: BOVEDA CELESTE CON TRAYECTORIAS SOLARES. PROYECCION GNOMONICA DE TRAYECTORIAS SOLARES TRACTATUS SOLARIBUS HOROLOGIIS. JUAN BTA. CORACHAN. S XVII.

En el año 1715 se publica en Valencia el “*Tratado de la Gnomónica, u de la Theorica, y la practica de los Reloxes de Sol*”<sup>9</sup>, escrito por el Doctor Thomas Vicente Tosca, autor en 1704 del primer plano de la ciudad de Valencia trazado con un soporte geométrico.

El tratado del Padre Tosca, escrito en castellano, consta de 240 páginas, y 17 estampas. De mayor extensión y profundidad que los Tratados anteriormente reseñados, cuenta en sus páginas con todos los conocimientos que configuran la gnomónica, y explica de modo exhaustivo la construcción y trazado de gran variedad de relojes de Sol. En su ánimo de exhaustividad a la hora de definir la tipología de relojes basados en el

<sup>8</sup> CORACHAN, JUAN BAUTISTA. (1700): *De Solaribus Horologiis Complectens*. Valencia.

<sup>9</sup> TOSCA, THOMAS VICENTE. (1715): *Tratado de la Gnomónica, u de la Theorica y Práctica de los Reloxes de sol*. Editor Juan Baeza, Valencia.

movimiento de los astros, el Padre Tosca proporciona incluso los datos necesarios para la fabricación e interpretación de relojes lunares.

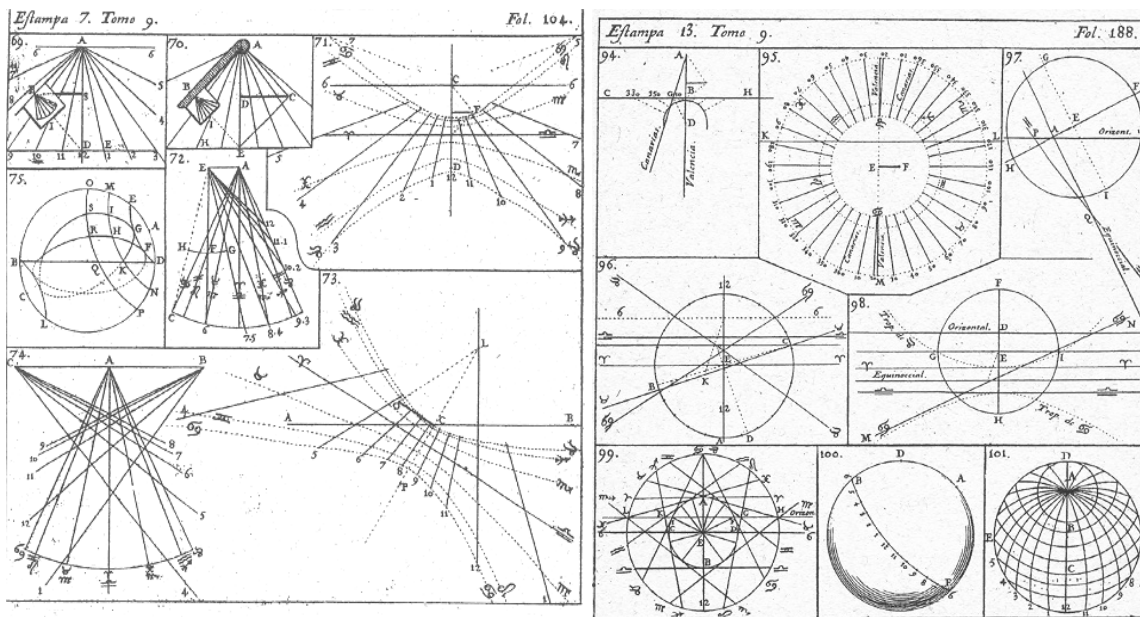


fig. 17 Y 18: PROYECCION GNOMONICA DE TRAYECTORIAS SOLARES. PROYECCION ESTEREOGRAFICA. TRATADO DE LA GNOMONICA. THOMAS VICENTE TOSCA. 1715

En el texto, el Padre Tosca proporciona la latitud de una completa lista de ciudades de España y de Europa, además de algunas de las colonias españolas en América, como Lima y Ciudad de México.

El siglo XIX, con la estructuración y configuración definitiva de los sistemas de representación promueve una revisión de la gnomónica contando con procedimientos gráficos que permiten la perfecta definición del movimiento solar, dada la naturaleza tridimensional del mismo.

De entre las revisiones de la gnomónica que datan de esta época cabe destacar el "*Tratado de Gnomónica*"<sup>10</sup>, escrito por D. Antonio Rovira y Rabasa, arquitecto, Catedrático de las asignaturas de Sombras, Perspectiva, Gnomónica y Estereotomía en la Escuela Superior de Arquitectura de Barcelona.

El texto, desde el rigor que es propio de la geometría descriptiva informa sobre los distintos tipos de relojes de sol que pueden construirse partiendo de los principios de la gnomónica, con un enfoque científico.

En general, las construcciones gráficas que incluye el texto están realizadas para la latitud de Barcelona, aunque al igual que otros autores facilita una lista con la latitud de las principales ciudades españolas y europeas. El Tratado cuenta con 90 ilustraciones, agrupadas en 17 láminas a página completa realizadas con la técnica del grabado, de una gran calidad gráfica.

<sup>10</sup> ROVIRA RABASSA, A. (1896): *Tratado de Gnomónica*. ETSAB. Barcelona.



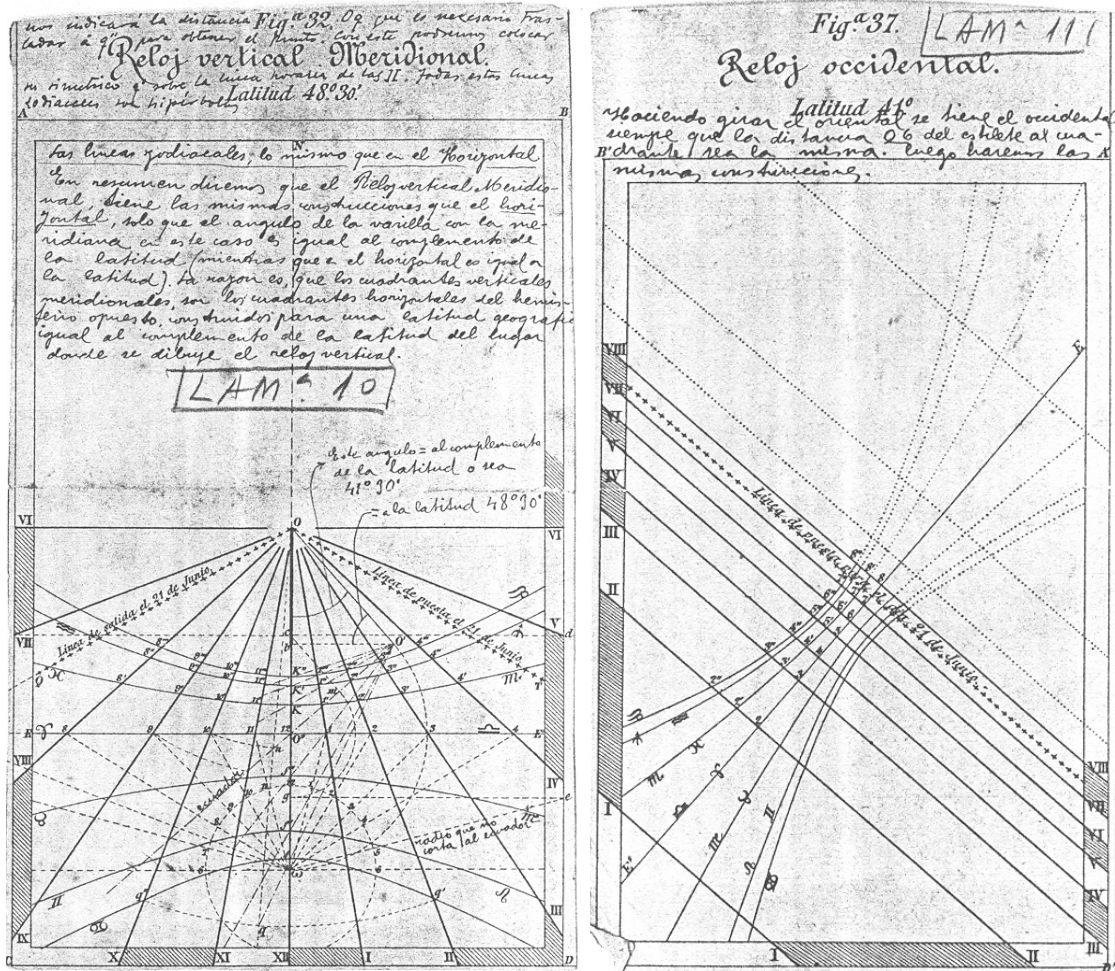


fig. 19: RELOJES SOLARES. TRATADO DE GNOMÓNICA. ANTONIO ROVIRA RABASA. 1896

En el principio del S. XX se produce un cambio sustancial en las relaciones entre la disciplina arquitectónica y las cuestiones relacionadas con el Sol. Si hasta entonces el interés fundamental del conocimiento del movimiento solar era la construcción de relojes de Sol, a partir de este momento se reivindica para todas las edificaciones la necesidad de recibir la luz natural y los rayos de Sol.

Los postulados del Movimiento Moderno<sup>11</sup>, en aras de una vivienda digna saludable para todos, cambian radicalmente los conceptos de partida de urbanismo, planteando la necesidad de viviendas pasantes, con ventilación cruzada, orientadas para recibir debidamente la radiación solar, y situadas entre amplias zonas verdes.

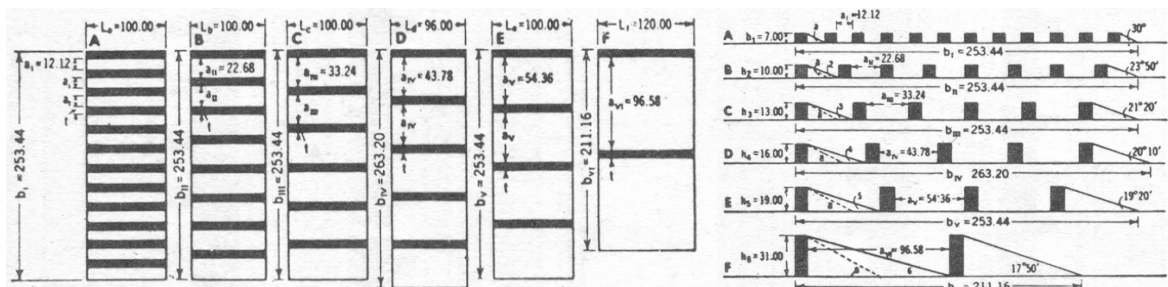


fig. 20: WALTER GROPIUS. DIAGRAMA PRESENTADO EN EL CIAM DE 1930.

<sup>11</sup> FRAMPTON, K. (1987). *Historia crítica de la Arquitectura Moderna*. Ed. G. Gili. Barcelona.

La necesidad de contar con el Sol como dato de partida en el proyecto de arquitectura y urbanismo promueve el desarrollo de multitud de procedimientos gráficos que permiten el cálculo del vector solar, conocida la ubicación geográfica del proyecto. Las cartas solares en sus distintas variantes permiten de un modo sencillo conocer la inclinación de los rayos del Sol en las distintas estaciones del año, y así facilitar o impedir la entrada del Sol en las edificaciones mediante un diseño apropiado, o mediante la colocación de protecciones solares.

En diciembre de 1931, H. T. Fisher publica en la revista *"The Architectural Record"* un artículo titulado "Método rápido para la determinación del soleamiento en los edificios", donde se presenta su conocida carta solar.

En España, E. Pecourt<sup>12</sup> publica en 1934 una obra breve de carácter divulgativo titulada *"Estudio Elemental del Soleamiento en la Edificación"*. El estudio explica con sencillez algunos procedimientos gráficos para la construcción de diagramas que permiten conocer la dirección de la radiación solar. Además de las cuestiones de soleamiento, el estudio hace hincapié en los beneficios para la salud que se derivan del adecuado soleamiento de las viviendas, evitando así la propagación de algunas enfermedades contagiosas.

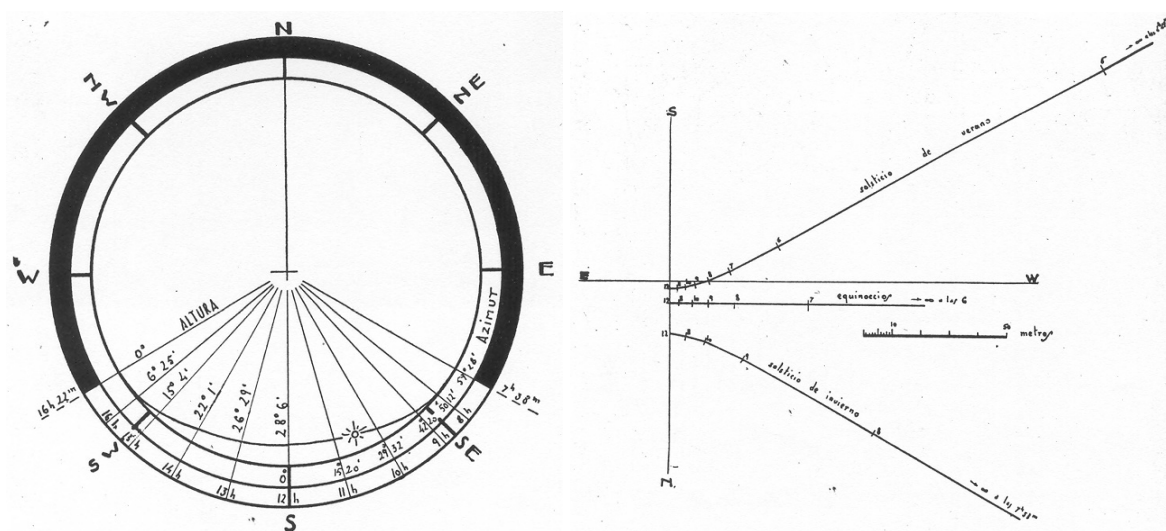


fig. 21: TRAYECTORIAS SOLARES. ESTUDIO ELEMENTAL DEL SOLEAMIENTO EN LA EDIFICACIÓN. E. PECOURT. 1934.

En los años 50 se proponen nuevos modelos de cartas solares, que además de permitir el cálculo de la dirección del vector solar son capaces de cuantificar los periodos en que un punto concreto incluido en un entorno se encuentra expuesto al sol, o bien en sombra. Se trata de las cartas cilíndrica y estereográfica, que en sus diversas variantes permiten la confección de los diagramas que se utilizan para el cálculo de obstrucciones solares.

También en esta época se generaliza el estudio de las cuestiones de soleamiento en las Escuelas de Arquitectura de España, introduciendo en diversas asignaturas de los

<sup>12</sup> PECOURT, E. (1934): *Estudio Elemental del Soleamiento en la Edificación*. Ed. La Semana Gráfica. Valencia.

planes de estudio los conocimientos sobre gnomónica y cartas solares y sus aplicaciones al proyecto de arquitectura.

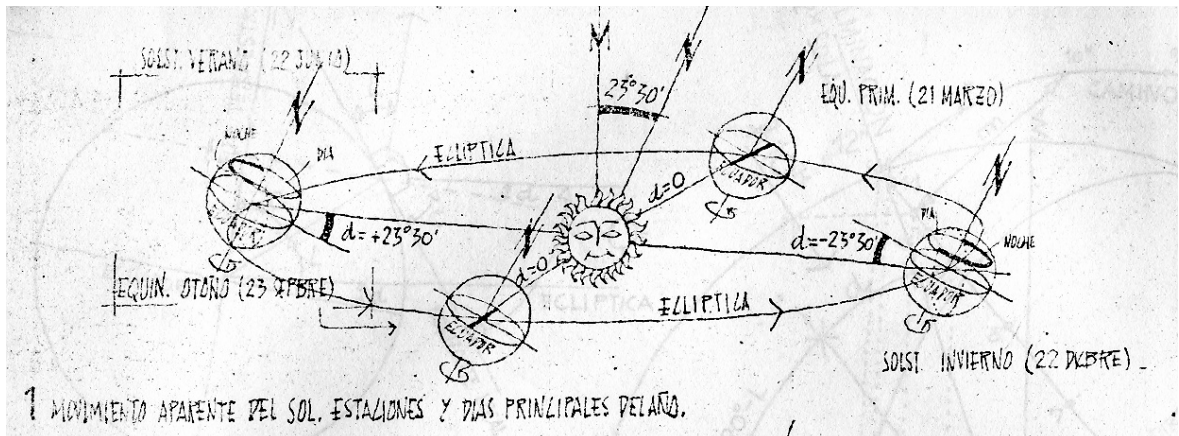


fig. 22: APUNTES DE SOLEAMIENTO 1. SAENZ DE OIZA. 1958

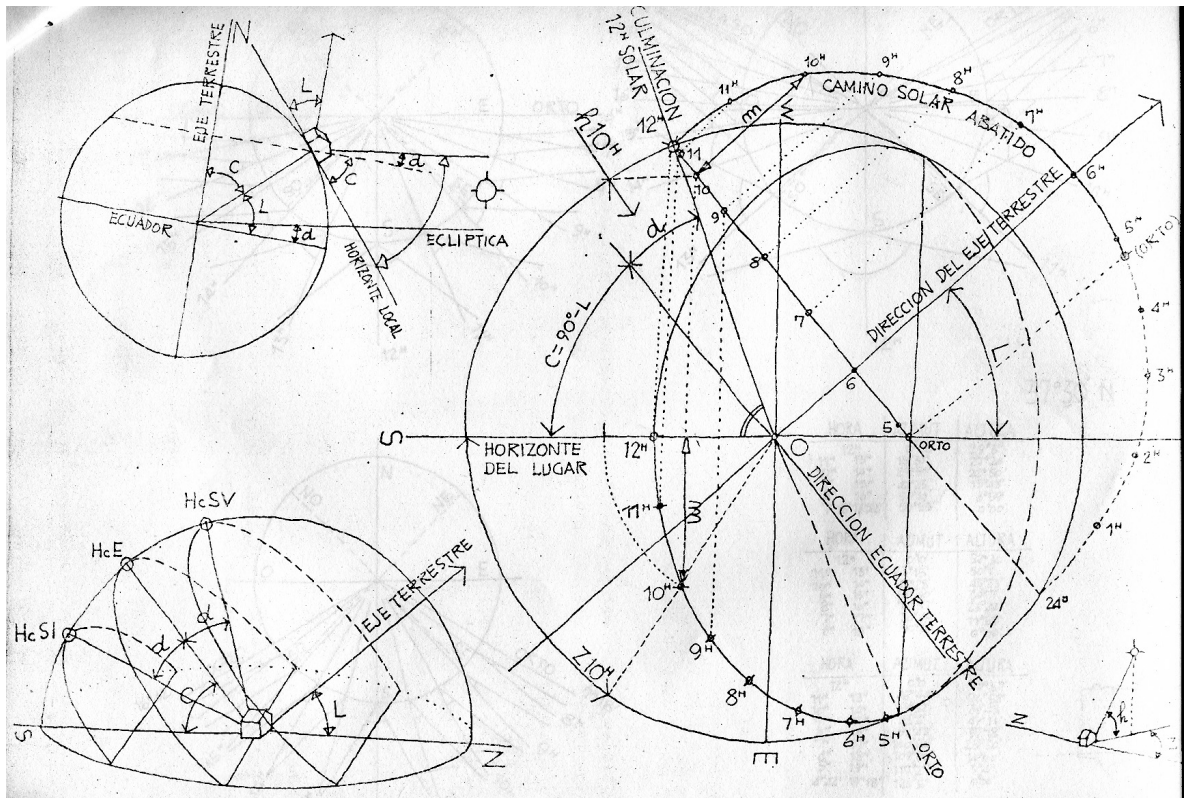


fig. 23: APUNTES DE SOLEAMIENTO 2. SAENZ DE OIZA. 1958

Entre los que ayudaron a su difusión cabe destacar la labor de D. Francisco Javier Sáenz de Oiza,<sup>13</sup> como el maestro que supo transmitir a toda una generación de arquitectos el interés por las cuestiones relacionadas con el soleamiento y sus aplicaciones a la edificación.

La generalización de las aplicaciones de la informática, y sobre todo la popularización del ordenador personal a mediados de la década de los 80 provee de nuevas herramientas para el cálculo del soleamiento aplicado a la edificación.

<sup>13</sup> SÁENZ DE OIZA, F. J. (1958): *Apuntes de Soleamiento*. E.T.S. Arquitectura de Madrid.

Las primeras aplicaciones relacionadas con el soleamiento procedían del campo de la astronomía. Los programas de cálculo astronómico permiten obtener datos gráficos y numéricos relativos a la posición de un astro sobre la bóveda celeste, una vez definido el momento y el lugar desde donde se efectúa la observación. Dado que el sol es una estrella, los programas astronómicos permiten obtener información sobre sus coordenadas en la bóveda celeste, sustituyendo de un modo muy ventajoso los Almanques, que publicados por los observatorios astronómicos o las autoridades náuticas, constituían la fuente de información disponible para predecir con exactitud las coordenadas astronómicas de la posición del Sol.

Con posterioridad estuvieron disponibles programas específicos para el cálculo de soleamiento. Dichos programas permiten obtener cartas solares a partir del dato de la latitud del lugar, o bien permiten el cálculo de las sombras propias y arrojadas por objetos tridimensionales definidos a partir de las coordenadas de sus vértices. En general la aplicación de dichos programas resulta laboriosa en exceso, dado que la introducción de datos de la configuración de objetos complejos resulta tediosa en ocasiones.

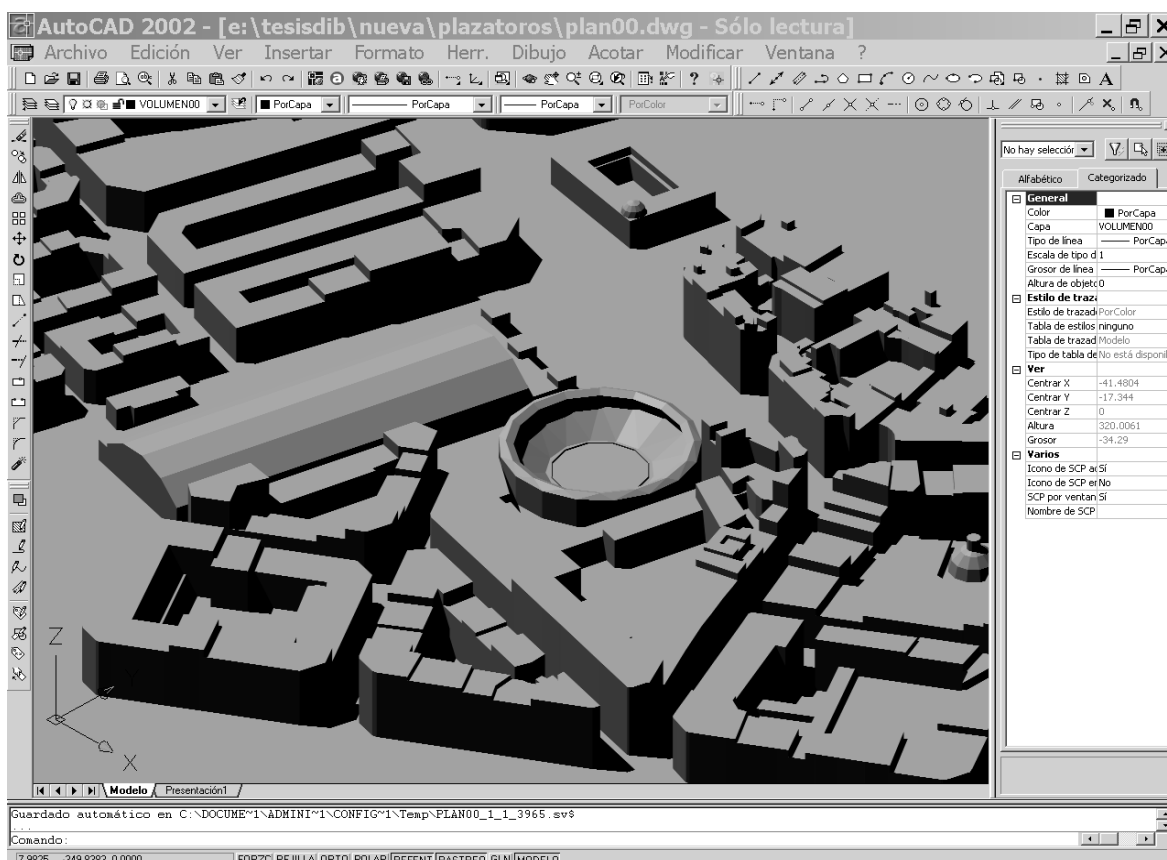


fig. 23: AXONOMETRÍA ORTOGONAL DE UN ENTORNO URBANO CON SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS EN UN PROGRAMA CAD.

La incorporación de módulos específicos para el cálculo de soleamiento dentro del contexto de los programas de diseño asistido (CAD) supone un importante avance en su aplicación práctica. Dichos módulos permiten la definición de las sombras propias y arrojadas por cualquier objeto, conocida su ubicación geográfica, la fecha y la hora en la que se quieren calcular, sustituyendo de un modo ventajoso las cartas solares.

## 2.2. La superficie terrestre: coordenadas geográficas

Para ser definida, la ubicación geográfica de un punto sobre la superficie de la Tierra necesita de un sistema de coordenadas. El sistema de coordenadas geográficas se basa en un tramado de líneas ortogonales entre sí, generadas por el movimiento de rotación de la Tierra sobre su eje. Estas líneas son:

- Los meridianos: son círculos máximos de la esfera terrestre, cuyo plano contiene al eje de rotación de la Tierra. Definen por intersección la situación de los polos norte y sur geográficos.
- Los paralelos: son círculos situados sobre la esfera terrestre, contenidos en planos perpendiculares al eje de rotación de la Tierra, y por tanto paralelos al plano del ecuador.

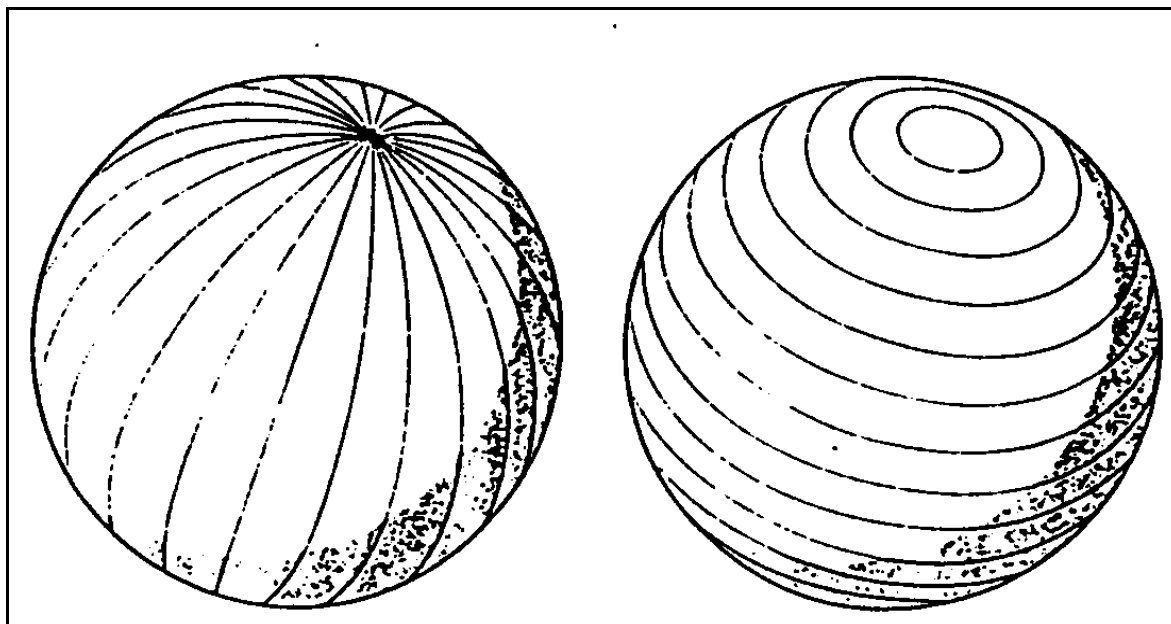
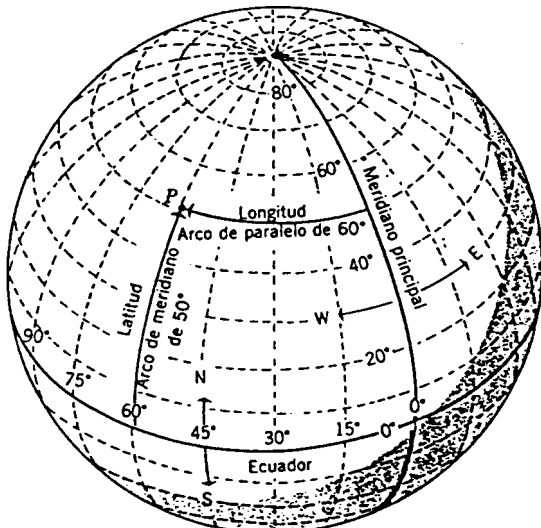


fig. 24: RED DE MERIDIANOS Y PARALELOS DE LAS COORDENADAS GEOGRÁFICAS

La trama definida por estas líneas sobre la superficie de la Tierra establece un sistema de coordenadas, que permite definir un punto cualquiera por intersección de dos de estas líneas (una de cada familia.) El origen para cada una de estas familias se establece del modo siguiente:

- Origen de los Meridianos: tienen origen en el meridiano que pasa sobre la ciudad de Greenwich (Gran Bretaña) que se considera como meridiano  $0^\circ$ . La posición de los meridianos se mide en grados sexagesimales, a partir del meridiano origen, tomando signo positivo los situados al este y con signo negativo los situados al oeste del origen. El valor del ángulo entre meridianos medido desde el origen se define como longitud geográfica.
- Origen de los Paralelos: se establece a partir del círculo máximo situado sobre el ecuador terrestre. La posición de un paralelo queda definida en grados

sexagesimales por el ángulo que define la vertical del lugar respecto del plano del ecuador. Dicho ángulo se mide en grados sexagesimales, tomando valores positivos si el paralelo se encuentra al norte del ecuador, y valores negativos si el paralelo se encuentra al sur del ecuador. El valor del ángulo entre paralelos medido desde el origen se define como latitud geográfica.



La posición de un punto cualquiera queda pues definida por los valores angulares de latitud y longitud,  $(\varphi, \lambda)$ .

Un punto como el indicado en el gráfico queda definido por sus coordenadas del modo siguiente:

P:  $(60^\circ \text{ N}, -60^\circ \text{ O})$ .

Como ejemplo, las coordenadas geográficas de la ciudad de Valencia son:

V:  $(39^\circ 28' 0.1'' \text{ N}, -0^\circ 22' 58.5'' \text{ O})$ .

fig. 25: LOCALIZACIÓN DE UN PUNTO SOBRE LA TIERRA POR SUS COORDENADAS GEOGRÁFICAS

### 2.3. La esfera celeste: coordenadas astronómicas

Para ser desentrañado, el movimiento solar necesita de un análisis global del fenómeno desde la perspectiva de la mecánica astronómica. El análisis de esta mecánica se basa en el estudio de la imagen del cielo, entendido como proyección. Con independencia de cuál sea la distancia real a la que se encuentran los objetos observables en el cielo; estrellas, planetas, la Luna o el Sol, se recurre para su análisis a la proyección de dichos objetos sobre una esfera de radio arbitrario, cuyo centro se encuentra en el punto de observación.

Suponiendo que la Tierra carece de una topografía relevante, la porción observable de dicha esfera queda limitada en su parte inferior por el plano tangente a la Tierra en el punto de observación. Dicho plano, que produce una sección sobre la esfera, recibe el nombre de plano del horizonte. Esta semiesfera, que se encuentra a la parte superior del plano del horizonte, asume las funciones de superficie del cuadro sobre la que se proyecta la porción observable del cielo desde un punto concreto de la Tierra, se define como esfera celeste. También llamada bóveda celeste, permite representar el movimiento aparente de los astros mediante su proyección desde el centro de la misma.

La localización de puntos concretos sobre la esfera celeste necesita de la definición de sistemas de coordenadas astronómicas. De entre los distintos tipos de coordenadas astronómicas, las más usuales son las coordenadas horizontales y las ecuatoriales.

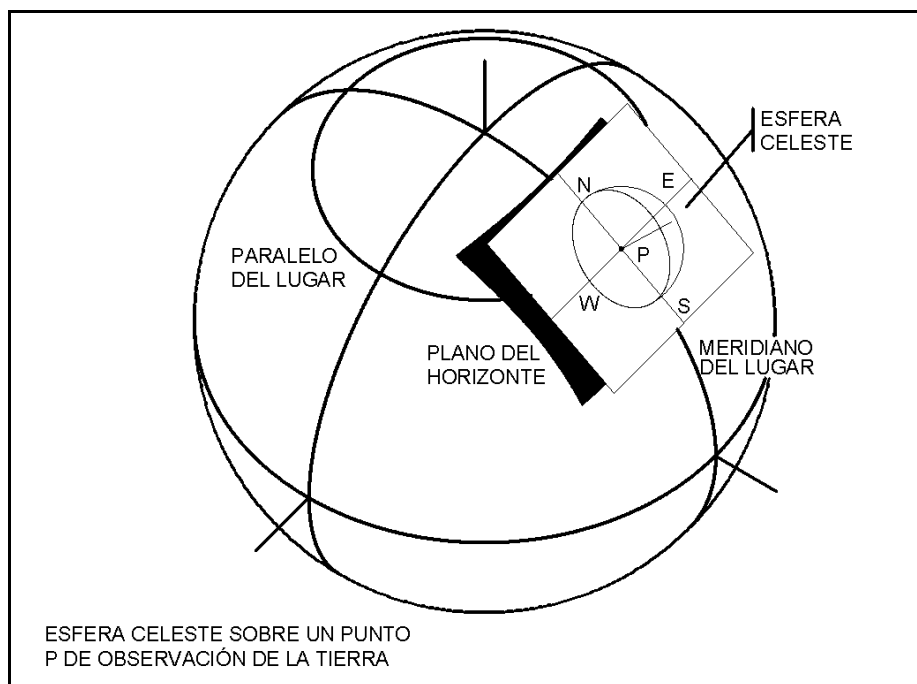


fig. 26: LA ESFERA CELESTE.

### 2.3.1. Coordenadas horizontales

Las coordenadas de un punto cualquiera sobre la superficie de la esfera celeste se determina mediante un sistema de coordenadas, llamadas horizontales, en el que se aprecian dos valores angulares. Estos valores son:

- El azimut ( $a$ ): es el ángulo que forma la proyección del vector que identifica un punto sobre el plano horizontal respecto de la dirección del norte geográfico del Lugar.
- La altura sobre el horizonte ( $h$ ): es el ángulo que forma el vector que identifica un punto con su proyección sobre el plano horizontal.

De la variación de estos valores aparece sobre la esfera celeste algunos puntos y líneas singulares que sirven para definir el sistema de coordenadas:

- Vertical del lugar: se define como la recta que pasa por el centro de la Tierra y por el punto de observación. Define dos puntos por intersección con la esfera celeste: el zenit, donde el valor de  $h = 90^\circ$ , y el Nadir, donde el valor de  $h = -90^\circ$
- Verticales: son los círculos máximos de la esfera celeste que contienen al zenit y al nadir.
- Horizonte del lugar: se define como el círculo máximo sobre la esfera celeste con valor angular  $h = 0$
- Almicantarates: se definen como los círculos sobre la esfera celeste con un valor constante de altura sobre el horizonte.

Los círculos verticales y los almicantarates definen sobre la esfera celeste dos familias de circunferencias con intersecciones ortogonales que es la base de las coordenadas horizontales celestes.

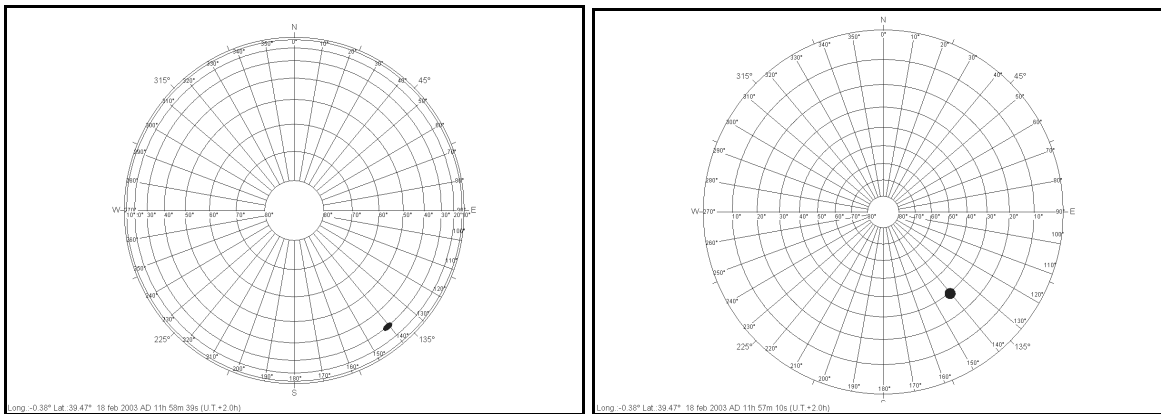


fig. 27: RED DE ALMICANTARATES Y VERTICALES DE COORDENADAS HORIZONTALES EN PROYECCIÓN CILINDRICA Y ESTEREOGRÁFICA

De este modo, un punto cualquiera de la esfera celeste queda determinado por el valor de estas dos magnitudes angulares, por lectura directa sobre las escalas que se producen en la imagen.

Definiendo un sistema de ejes cartesianos en el punto de observación, con dirección de ejes OX para la tangente al meridiano del lugar en dirección sur, OY para la tangente al paralelo del lugar en dirección este, y OZ para la vertical del lugar, las componentes del vector de posición  $r_p$  de un punto cualquiera de la esfera celeste vienen expresados del modo siguiente:

$$\begin{aligned}
 X_I &= r_p \cos(h)\cos(a) \\
 Y_I &= r_p \cos(h)\sen(a) \\
 Z_I &= r_p \sen(h)
 \end{aligned}$$

El interés de las coordenadas horizontales radica en que están referidas al lugar de observación, siendo sus datos fácilmente obtenibles por medición directa de los ángulos que forma la visual del astro con el sistema de referencia definido.

### 2.3.2. Coordenadas ecuatoriales

Aceptando que la variación de la posición de los astros sobre la esfera celeste, viene determinada por los movimientos de traslación y rotación de la Tierra, dichos movimientos producen también sobre la esfera celeste determinadas líneas y puntos singulares que producen otro sistema de coordenadas distinto del anterior, que conviene tener en cuenta por su importancia y aplicación en estudios posteriores. Estas líneas son:

- El eje de la Tierra: es la recta imaginaria sobre la que se produce el movimiento de rotación de la Tierra. Debido a que el punto de observación está vinculado a la Tierra, este movimiento produce un giro aparente de la esfera celeste en el sentido contrario al del giro de la Tierra. El eje de la Tierra produce dos puntos por intersección con la esfera celeste de una paralela al mismo por el punto de observación, los polos norte y sur celeste, que permanecen invariantes al giro.



- Meridianos: son los círculos máximos de la esfera celeste que contienen a los polos norte y sur. Los planos que los contienen son paralelos al eje de la Tierra.
- El ecuador celeste: es el círculo máximo de la esfera celeste contenido en un plano perpendicular al eje de la Tierra. El plano que lo contiene es paralelo al ecuador de la Tierra.
- Paralelos: son círculos de la esfera celeste contenidos en planos perpendiculares al eje de la Tierra, que resultan a su vez paralelos al ecuador celeste.

Las familias de círculos meridianos y paralelos definen sobre la esfera celeste una trama con intersecciones ortogonales que es la base de las coordenadas ecuatoriales celestes o coordenadas horarias.

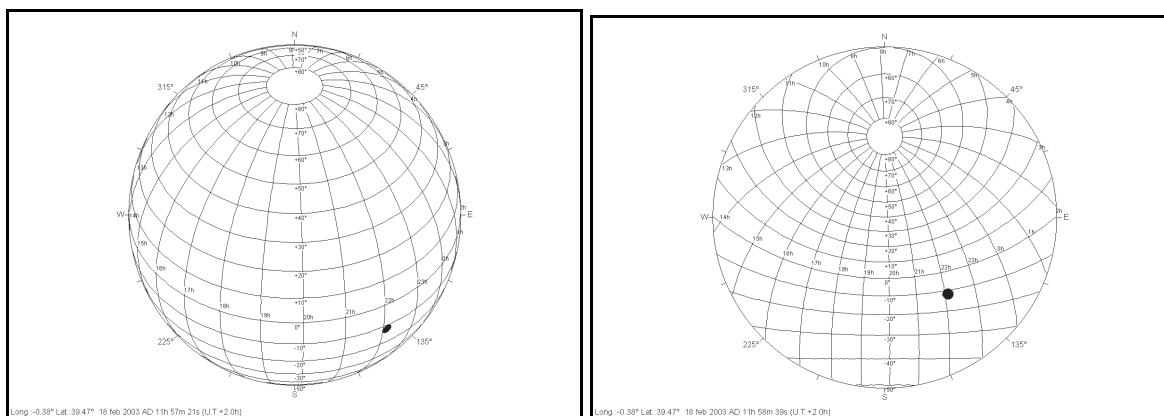


fig. 28: RED DE MERIDIANOS Y PARALELOS DE COORDENADAS ECUATORIALES EN PROYECCIÓN CILINDRICA Y ESTEREOGRÁFICA

Los valores angulares que definen la posición de un punto sobre la esfera celeste en coordenadas ecuatoriales son los siguientes:

- El ángulo horario ( $H$ ): es el que forma el meridiano del astro con el meridiano del lugar. Su valor se mide tanto en grados sexagesimales como en horas, considerando que la rotación que le corresponde a una hora es un desplazamiento angular de  $15^\circ$  sexagesimales.
- La declinación ( $\delta$ ): es el ángulo que forma la visual del astro con el plano del ecuador celeste. Se mide en grados sexagesimales tomando valores positivos si el punto referido se encuentra en el hemisferio norte celeste, y valores negativos si el punto se encuentra en el hemisferio sur celeste.

Definido un sistema de ejes cartesianos con origen en el punto de observación, donde el eje  $OX$  lleva la dirección de la intersección del plano del meridiano del lugar con el plano de ecuador,  $OZ$  lleva la dirección del eje de la Tierra, y  $OY$  es perpendicular a los ejes definidos anteriormente, el vector de posición  $r_h$  de un punto cualquiera queda definido por las expresiones siguientes:

$$X_2 = r_p \cos(\delta)\cos(H)$$

$$Y_2 = r_p \cos(\delta)\sen(H)$$

$$Z_2 = r_p \sen(\delta)$$

El interés de las coordenadas horarias o ecuatoriales radica en que están referidas a la variación de posición debida al movimiento de la Tierra; así, con una relativa independencia de la situación del punto de observación, permiten generalizar con facilidad el movimiento de los astros al margen de cual sea el punto de observación. De hecho, dos observadores situados en distintos puntos de la Tierra que observen un mismo punto sobre la esfera celeste, en el mismo momento obtendrán valores distintos para la posición del astro. Sin embargo, dado que los sistemas de referencia asociados a ambos puntos de observación tienen en común la dirección del eje Z, la transformación de las coordenadas horarias del punto considerado por los dos observadores se produce mediante un giro en dirección perpendicular al eje Y, de amplitud igual a la diferencia entre los ángulos horarios en los dos puntos de observación. El valor de la declinación será el mismo para ambos observadores, ya que esta viene referida a la posición del punto observado respecto del ecuador celeste.

Conocidos pues los valores de  $\delta_0$  y  $H_0$  para un meridiano origen, y llamando  $\lambda$  a la diferencia del ángulo horario entre el punto de observación y el meridiano origen, se pueden obtener las coordenadas de un astro, para el mismo momento, pero desde otro punto de observación mediante las relaciones siguientes:

$$\begin{aligned}\delta &= \delta_0 \\ H &= H_0 + \lambda\end{aligned}$$

Siendo los valores de  $\delta_0$  y  $H_0$  las coordenadas horarias referidas al meridiano origen y  $\delta$  y  $H$  las coordenadas en el nuevo punto de observación y  $\lambda$  representa la diferencia angular entre el meridiano de origen y el nuevo punto de observación.

Aunque las coordenadas horarias permiten la conversión de coordenadas entre distintas ubicaciones geográficas y el posicionado un punto sobre la esfera celeste con gran facilidad, habitualmente se utilizan las coordenadas horizontales para la resolución de cuestiones referidas al soleamiento. La conversión de coordenadas de un sistema a otro, puede abordarse por aplicación del concepto de cambio de base entre sistemas de referencia ortogonales.

En este caso bastará con girar un sistema respecto del otro, de modo que el plano de ecuador coincida con el plano del horizonte. Dicho giro se produce en torno al eje Y, común a ambos sistemas, con una amplitud de  $90-\varphi$  grados sexagesimales, siendo  $\varphi$  el valor de la latitud del lugar de observación. En este caso dicho giro produce las siguientes expresiones matriciales:

$$\begin{bmatrix} x_1 \\ y_1 \\ z_1 \end{bmatrix} = [G]^* \begin{bmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{bmatrix}$$

Donde la matriz  $G$ , representa un giro en torno a OY. Asignando el valor a cada coordenada en función de los valores angulares de cada sistema se obtiene la siguiente expresión matricial:

$$\begin{bmatrix} r_a \cos(h) \cos(a) \\ r_a \cos(h) \sin(a) \\ r_a \sin(h) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin(\varphi) & 0 & -\cos(\varphi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \cos(\varphi) & 0 & \sin(\varphi) \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} r_h \cos(\delta) \cos(H) \\ r_h \cos(\delta) \sin(H) \\ r_h \sin(\delta) \end{bmatrix}$$

Que desarrollando el producto matricial genera las ecuaciones de cambio siguientes:

- (1)  $\cos(h) \cos(a) = \sin(\varphi) \cos(\delta) \cos(H) - \cos(\varphi) \sin(\delta)$
- (2)  $\cos(h) \sin(a) = \cos(\delta) \sin(H)$
- (3)  $\sin(h) = \cos(\varphi) \cos(\delta) \cos(H) + \sin(\varphi) \sin(\delta)$

Donde dividiendo la expresión (2) entre la (1) se obtiene:

$$(4) \quad \text{tg}(a) = \frac{\cos(\delta) \sin(H)}{\sin(\varphi) \cos(\delta) \cos(H) - \cos(\varphi) \sin(\delta)}$$

Que permite calcular el valor de azimut en función de las otras variables angulares y que, por otra parte, será de gran utilidad para el cálculo de la posición del Sol en coordenadas horizontales.

Las variables que intervienen en esta fórmula dependen de la latitud geográfica del punto de observación ( $\varphi$ ), del día del año ( $\delta$ ) y de la hora de observación ( $H$ ) y serán desarrolladas, en cuanto a la mecánica solar, en fases siguientes del presente estudio.

## 2.4. Mecánica astronómica del movimiento solar

Para dar cuenta del movimiento aparente del Sol sobre la esfera celeste, y de su variación tanto a lo largo del día como a lo largo del año, se requiere de la descripción del movimiento relativo de los objetos que componen el sistema Sol-Tierra. El movimiento completo del sistema, observado desde un punto concreto de la Tierra es el que produce dicho movimiento aparente. Los dos movimientos relativos del sistema, traslación y rotación, influyen en la apreciación del movimiento aparente de modo distinto. Pasamos a estudiar pues, estos dos movimientos de modo independiente.

### 2.4.1. Descripción astronómica del movimiento de traslación: la eclíptica

El planeta Tierra gira alrededor del Sol, completando el recorrido de su órbita en un año astronómico. Dicho movimiento recibe el nombre de movimiento ánuo. La órbita es una curva cerrada y plana, en cuyo plano está también incluido el Sol. La forma de la

órbita, por aplicación de los principios de Johannes Kepler, resulta ser una elipse; de tal modo que el Sol ocupa uno de los focos de la elipse y el área barrida por el radio vector que une el centro de la Tierra con el centro del Sol es constante en periodos iguales. Esto implica variaciones en la velocidad instantánea de traslación de la Tierra, aceleraciones cuando el punto de la trayectoria que recorre está más próximo al Sol, así como deceleraciones en el caso contrario.

La elipse trayectoria del movimiento solar proyectada sobre la esfera celeste produce una línea llamada eclíptica. La geometría de la eclíptica queda definida por los datos siguientes:

- Eje mayor (a):  $1,495978 * 10^{11}$  m.
- Eje menor (b):  $1,495768 * 10^{11}$  m.

La semidistancia interfocal puede deducirse por aplicación directa del teorema de Pitágoras, obteniéndose el resultado siguiente:

$$c = \sqrt{(1,495978)^2 - (1,495768)^2} = 0,025059 * 10^{11} m.$$

Siendo el valor de la excentricidad de la elipse el cociente entre la semidistancia interfocal y el valor del eje mayor:

$$e = \frac{c}{a}; \quad e = \frac{0,025059}{1,495978} = 0,01675509$$

La relación entre el eje mayor y menor, que produciría un cociente igual a 1 en el caso de una circunferencia, en este caso da como resultado:

$$r = \frac{b}{a}; \quad r = \frac{1,495768}{1,495978} = 0,99985962$$

Lo que establece la diferencia entre los semiejes en dos diezmilésimas respecto de la unidad del eje mayor, con un valor absoluto de 21.000 km.

El eje mayor de la eclíptica determina sobre ésta dos puntos llamados ápsides, en los que la Tierra está en sus posiciones más próxima (perihelio) y más lejana (afelio) al Sol. El perihelio se considera el origen del calendario anual y se corresponde con el día 1 de enero.

El eje la Tierra, en torno al cual se produce el movimiento de rotación terrestre, no es ortogonal al plano de la eclíptica, sino que forma con éste un ángulo de valor  $66^{\circ}33'$  grados sexagesimales. Dado que el plano del ecuador es perpendicular al eje de rotación de la Tierra, el ángulo que forma con el plano de la eclíptica tiene un valor de  $23^{\circ}27'$  grados sexagesimales. La recta intersección de ambos planos produce sobre la eclíptica un diámetro, cuyos extremos definen sobre la curva dos puntos en los que la dirección del radio vector Sol-Tierra está contenido en el plano del ecuador celeste. Dichos puntos reciben el nombre de equinoccios, y se corresponden con el inicio de las estaciones de primavera y otoño respectivamente.

El diámetro conjugado del anterior sobre la eclíptica define sobre ésta dos puntos llamados solsticios, que marcan respectivamente el inicio de las estaciones de invierno y

verano respectivamente. En los momentos de paso por dichos puntos, la dirección de los rayos del Sol incidentes sobre la Tierra es el que sigue:

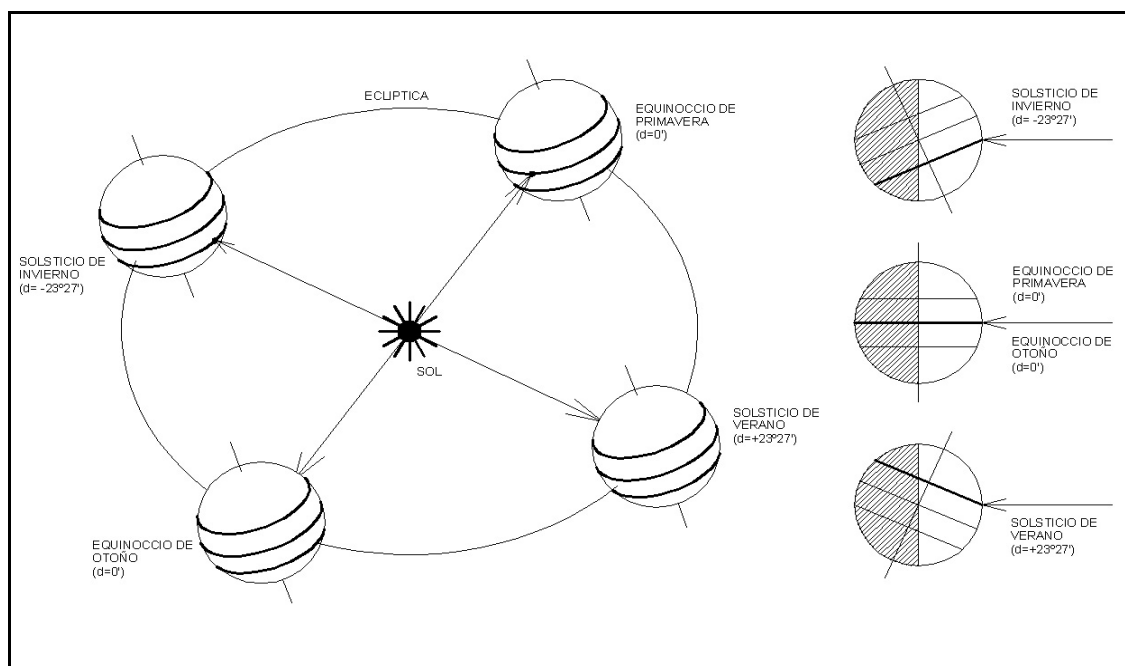


fig. 29: DIRECCION DE INCIDENCIA DE LOS RAYOS SOLARES EN LOS EQUINOCCIOS Y SOLSTICIOS

En el paso por los equinoccios la dirección del radio vector Sol-Tierra es paralela al plano del ecuador celeste, y por tanto, perpendicular al eje de la Tierra. El valor de la declinación aumenta hasta alcanzar el máximo anual  $\delta = +23^{\circ}27'$  durante el solsticio de verano, y disminuye hasta alcanzar el mínimo anual  $\delta = -23^{\circ}27'$  durante el solsticio de invierno, definiendo así el paso de las estaciones.

Estudiando la incidencia de los rayos solares sobre la superficie de la Tierra queda ésta definida en cinco zonas climáticas que son:

- Zona tropical: es aquella que recibe en algún momento del año la radiación solar en la dirección de la vertical del lugar, y está comprendida entre las latitudes  $\varphi = \pm 23^{\circ}27'$ . Los paralelos así definidos reciben respectivamente el nombre de Trópico de Cáncer para la latitud norte, y Trópico de Capricornio para la latitud sur.
- Zonas polares: son dos casquetes situados en torno a los polos de la Tierra en los que, en algún momento del año, la altura del Sol sobre el horizonte es cero al menos durante 24 horas consecutivas. Estos casquetes quedan limitados por los paralelos de latitudes  $\varphi = \pm 66^{\circ}33'$ , que definen respectivamente los círculos polares ártico y antártico para los valores de latitud positiva y negativa.
- Zonas templadas: son las dos zonas comprendidas entre los Trópicos y los círculos polares. En estas zonas, el Sol nunca se encuentra sobre la vertical del lugar, y nunca llega a producirse un periodo consecutivo de luz o sombra superior a 24 horas.

La relación entre el movimiento de traslación de la Tierra sobre la eclíptica, y sobre todo, la inclinación del eje de la Tierra respecto del plano que la contiene son pues, los factores determinantes de la sucesión de las estaciones a lo largo del año.

## 2.4.2. Descripción astronómica del movimiento de rotación

El movimiento de rotación de la Tierra en torno a su eje produce un movimiento aparente del Sol llamado movimiento diurno, cuya duración es de un día.

Considerando que la variación de la declinación solar a lo largo del día es prácticamente despreciable, se puede considerar que la trayectoria del Sol a lo largo de un día coincide sensiblemente con un paralelo celeste. La posición de dicho paralelo, expresada por la declinación sí que varía a lo largo del año, es distinta para cada día, y alcanza sus valores extremos en los solsticios, como se vio en el punto anterior.

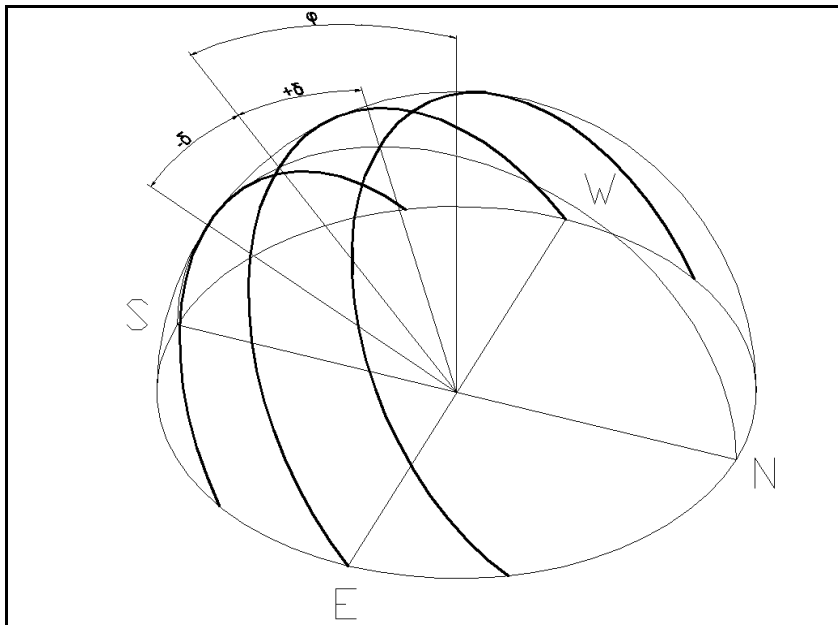


fig. 30: TRAYECTORIAS SOLARES SOBRE LA BÓVEDA CELESTE EN UN PUNTO DE LA ZONA TEMPLADA.

Durante los equinoccios, el movimiento diurno del Sol produce un círculo máximo perpendicular al eje de rotación de la Tierra, que coincide con el ecuador de la esfera celeste. Para cualquier otro día del año, la trayectoria del sol sobre la esfera celeste es asimilable a una circunferencia contenida en un plano paralelo al ecuador celeste, separado del mismo un ángulo igual a la declinación correspondiente al día que se estudia.

## 2.5. El cálculo del tiempo

Con el fin de establecer predicciones sobre la posición del Sol en la esfera celeste<sup>14</sup>, en un lugar geográfico concreto, es necesario definir unas escalas de tiempos que

<sup>14</sup> Cfr. RAYA ROMÁN, JOSÉ MARÍA. (2001): *Manual de Soleamiento Integral*. Servicio de Publicaciones. Instituto de Ciencias de la Construcción. Sevilla. p 41 y ss.

permitan verificar la exactitud de los cálculos realizados respecto de los fenómenos reales vinculados a la mecánica solar. Se establecen así tres valores de tiempo distintos:

- Tiempo verdadero: los cuadrantes solares consideran el origen de tiempos respecto al meridiano del lugar. Este dato recibe el nombre de tiempo solar local o tiempo verdadero (TV).
- Tiempo universal: el tiempo verdadero medido sobre el meridiano de Greenwich recibe el nombre de tiempo universal (TU).
- Tiempo oficial: (TO) es el tiempo que marcan los relojes en un lugar geográfico concreto. Este valor de tiempo se obtiene corrigiendo en un número entero de horas el tiempo universal, en función de los husos horarios establecidos dentro del país. En Europa, las directivas destinadas al ahorro energético obligan al adelanto de la hora oficial en una hora durante el horario de verano, con el fin de aumentar el número de horas aprovechables de luz solar.

Las necesidades del cálculo de soleamiento obligan a obtener las relaciones entre el tiempo verdadero (TV) y el tiempo oficial (TO), a través de los valores del tiempo oficial en el meridiano de Greenwich (TU).

El tiempo verdadero depende exclusivamente del momento en que el sol pasa en la esfera celeste sobre el meridiano del lugar. Dado que el movimiento del Sol sobre la Eclíptica no es uniforme, por estar sometido a las Leyes de Kepler, y debido también a otros fenómenos vinculados a la mecánica de la rotación terrestre, como la precesión y la nutación, el paso del Sol por el meridiano del lugar no se produce todos los días a la misma hora, sino que se adelanta o se retrasa respecto de la hora de paso del día del equinoccio de primavera.

Se define ecuación del tiempo, como la diferencia de tiempos entre el momento del paso del Sol verdadero por el meridiano de Greenwich respecto del tiempo universal para cada día del año:

$$Et = TV - TU$$

El valor de la ecuación del tiempo, obtenido para cada día del año, no es el mismo valor para el año siguiente. La determinación exacta de dicho valor necesita de la observación astronómica, y puede encontrarse en los Almanques Náuticos que publica el Instituto Geográfico Nacional. Una aproximación al valor de la Ecuación del Tiempo, de carácter empírico, es la que facilita Whillier:

$$Et = 9,87 \text{sen}(2B) - 7,53 \text{cos}(B) - 1.5 \text{sen}(B)$$

Donde  $B = 360n/364$ , y el valor de  $n$  corresponde al número del día del año contado a partir del 21 de marzo.

La ecuación de tiempo permite corregir las diferencias entre TV y TU, pero no hay que olvidar que esta corrección se hace respecto del meridiano de Greenwich. Si el lugar de

observación es distinto, será necesario corregir la diferencia de tiempos que habrá entre el meridiano del lugar y el meridiano de Greenwich.

Suponiendo constante la velocidad de rotación de la Tierra sobre su eje, la equivalencia entre horas y ángulos recorridos medidos en grados sexagesimales es:

$$1\text{Hora} = 360^\circ / 24 = 15^\circ \text{sexagesimales}$$

$$1^\circ = 60 / 15 = 4(\lambda) \text{minutos}$$

De donde se deduce que el valor del tiempo verdadero resulta de corregir el tiempo universal con el valor de la diferencia de longitud entre el lugar de observación y el meridiano de Greenwich, expresada con el signo que le corresponda, en función de que el punto de observación se encuentre al este o al oeste de dicho meridiano:

$$TV = TU + 4\lambda + Et$$

El valor del monomio  $4\lambda$  expresa dicha diferencia en minutos.

Es necesaria una nueva corrección debida al valor de la hora oficial en el punto de observación. La diferencia entre la hora oficial y el tiempo universal siempre es un número entero de horas, que depende del Huso Horario en el que esté contenido en punto de observación. Llamando  $A$  a dicha diferencia se obtiene:

$$TO = TU + A$$

Y sustituyendo su valor en la ecuación obtenida anteriormente resulta:

$$TV = TO + 4\lambda + Et - A$$

De donde se puede despejar el valor del Tiempo Oficial en función de los otros valores, resultando:

$$TO = TV - 4\lambda - Et + A$$

## 2.6. El cálculo de la declinación

Conocido en valor del tiempo para una posición concreta del Sol, y supuesto que la posición de éste se exprese en coordenadas horarias, es necesario definir un procedimiento para el cálculo de la otra coordenada, el valor angular de la declinación.

Como se vio anteriormente, los valores de la declinación solar varían a lo largo del año, debido a la inclinación del eje de rotación de la Tierra con el plano de la eclíptica. Esta variación registra unos valores extremos de  $\delta = \pm 23^\circ 27'$  en los solsticios, registrando un valor  $\delta = 0^\circ$  en los equinoccios.



Para cualquier otro día del año, el valor de  $\delta$  deberá ser calculado. Aunque los observatorios astronómicos publican almanaques con los valores medios previstos para la declinación en cada día del año, existen algunas fórmulas empíricas que permiten su cálculo. Una primera fórmula para el valor de  $\delta$  es:

$$\delta = \frac{360}{2\pi} [0.006918 - 0.399912 \cos \theta + 0.070257 \sin \theta - 0.06758 \cos 2\theta - 0.000908 \sin 2\theta]$$

Siendo  $\theta = \frac{360}{365}n$  y  $n$  el número de días del año contado a partir de 1 de enero.

Con el fin de facilitar la identificación de un día concreto del año, contado a partir del 1 de enero se recoge a continuación una tabla en la que se relaciona la fecha con el día del año en cuestión.

Días del año contados a partir del 1 de enero:

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D												
1	1	1	32	1	60	1	91	1	121	1	152	1	182	1	213	1	244	1	274	1	305	1	335
2	2	2	33	2	61	2	92	2	122	2	153	2	183	2	214	2	245	2	275	2	306	2	336
3	3	3	34	3	62	3	93	3	123	3	154	3	184	3	215	3	246	3	276	3	307	3	337
4	4	4	35	4	63	4	94	4	124	4	155	4	185	4	216	4	247	4	277	4	308	4	338
5	5	5	36	5	64	5	95	5	125	5	156	5	186	5	217	5	248	5	278	5	309	5	339
6	6	6	37	6	65	6	96	6	126	6	157	6	187	6	218	6	249	6	279	6	310	6	340
7	7	7	38	7	66	7	97	7	127	7	158	7	188	7	219	7	250	7	280	7	311	7	341
8	8	8	39	8	67	8	98	8	128	8	159	8	189	8	220	8	251	8	281	8	312	8	342
9	9	9	40	9	68	9	99	9	129	9	160	9	190	9	221	9	252	9	282	9	313	9	343
10	10	10	41	10	69	10	100	10	130	10	161	10	191	10	222	10	253	10	283	10	314	10	344
11	11	11	42	11	70	11	101	11	131	11	162	11	192	11	223	11	254	11	284	11	315	11	345
12	12	12	43	12	71	12	102	12	132	12	163	12	193	12	224	12	255	12	285	12	316	12	346
13	13	13	44	13	72	13	103	13	133	13	164	13	194	13	225	13	256	13	286	13	317	13	347
14	14	14	45	14	73	14	104	14	134	14	165	14	195	14	226	14	257	14	287	14	318	14	348
15	15	15	46	15	74	15	105	15	135	15	166	15	196	15	227	15	258	15	288	15	319	15	349
16	16	16	47	16	75	16	106	16	136	16	167	16	197	16	228	16	259	16	289	16	320	16	350
17	17	17	48	17	76	17	107	17	137	17	168	17	198	17	229	17	260	17	290	17	321	17	351
18	18	18	49	18	77	18	108	18	138	18	169	18	199	18	230	18	261	18	291	18	322	18	352
19	19	19	50	19	78	19	109	19	139	19	170	19	200	19	231	19	262	19	292	19	323	19	353
20	20	20	51	20	79	20	110	20	140	20	171	20	201	20	232	20	263	20	293	20	324	20	354
21	21	21	52	21	80	21	111	21	141	21	172	21	202	21	233	21	264	21	294	21	325	21	355
22	22	22	53	22	81	22	112	22	142	22	173	22	203	22	234	22	265	22	295	22	326	22	356
23	23	23	54	23	82	23	113	23	143	23	174	23	204	23	235	23	266	23	296	23	327	23	357
24	24	24	55	24	83	24	114	24	144	24	175	24	205	24	236	24	267	24	297	24	328	24	358
25	25	25	56	25	84	25	115	25	145	25	176	25	206	25	237	25	268	25	298	25	329	25	359
26	26	26	57	26	85	26	116	26	146	26	177	26	207	26	238	26	269	26	299	26	330	26	360
27	27	27	58	27	86	27	117	27	147	27	178	27	208	27	239	27	270	27	300	27	331	27	361
28	28	28	59	28	87	28	118	28	148	28	179	28	209	28	240	28	271	28	301	28	332	28	362
29	29			29	88	29	119	29	149	29	180	29	210	29	241	29	272	29	302	29	333	29	363
30	30			30	89	30	120	30	150	30	181	30	211	30	242	30	273	30	303	30	334	30	364
31	31			31	90			31	151			31	212	31	243			31	304			31	365

A continuación se recogen otras expresiones que permiten el cálculo de la declinación a partir de otras fórmulas empíricas:

La ecuación de Linacre calcula la variación de la declinación a partir de sus valores extremos y suponiendo que su variación anual se ajusta a una función senoidal:

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360}{365}n\right)$$

Siendo  $n$  el número de día del año contado a partir del 21 de marzo. Con el fin de facilitar la identificación de un día concreto del año, contado a partir del 21 de marzo se

recoge a continuación una tabla en la que se relaciona la fecha con el día del año en cuestión:

Días del año contados a partir del 21 de marzo:

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D												
1	286	1	317	1	345	1	11	1	41	1	72	1	102	1	133	1	164	1	194	1	225	1	255
2	287	2	318	2	346	2	12	2	42	2	73	2	103	2	134	2	165	2	195	2	226	2	256
3	288	3	319	3	347	3	13	3	43	3	74	3	104	3	135	3	166	3	196	3	227	3	257
4	289	4	320	4	348	4	14	4	44	4	75	4	105	4	136	4	167	4	197	4	228	4	258
5	290	5	321	5	349	5	15	5	45	5	76	5	106	5	137	5	168	5	198	5	229	5	259
6	291	6	322	6	350	6	16	6	46	6	77	6	107	6	138	6	169	6	199	6	230	6	260
7	292	7	323	7	351	7	17	7	47	7	78	7	108	7	139	7	170	7	200	7	231	7	261
8	293	8	324	8	352	8	18	8	48	8	79	8	109	8	140	8	171	8	201	8	232	8	262
9	294	9	325	9	353	9	19	9	49	9	80	9	110	9	141	9	172	9	202	9	233	9	263
10	295	10	326	10	354	10	20	10	50	10	81	10	111	10	142	10	173	10	203	10	234	10	264
11	296	11	327	11	355	11	21	11	51	11	82	11	112	11	143	11	174	11	204	11	235	11	265
12	297	12	328	12	356	12	22	12	52	12	83	12	113	12	144	12	175	12	205	12	236	12	266
13	298	13	329	13	357	13	23	13	53	13	84	13	114	13	145	13	176	13	206	13	237	13	267
14	299	14	330	14	358	14	24	14	54	14	85	14	115	14	146	14	177	14	207	14	238	14	268
15	300	15	331	15	359	15	25	15	55	15	86	15	116	15	147	15	178	15	208	15	239	15	269
16	301	16	332	16	360	16	26	16	56	16	87	16	117	16	148	16	179	16	209	16	240	16	270
17	302	17	333	17	361	17	27	17	57	17	88	17	118	17	149	17	180	17	210	17	241	17	271
18	303	18	334	18	362	18	28	18	58	18	89	18	119	18	150	18	181	18	211	18	242	18	272
19	304	19	335	19	363	19	29	19	59	19	90	19	120	19	151	19	182	19	212	19	243	19	273
20	305	20	336	20	364	20	30	20	60	20	91	20	121	20	152	20	183	20	213	20	244	20	274
21	306	21	337	21	0	21	31	21	61	21	92	21	122	21	153	21	184	21	214	21	245	21	275
22	307	22	338	22	1	22	32	22	62	22	93	22	123	22	154	22	185	22	215	22	246	22	276
23	308	23	339	23	2	23	33	23	63	23	94	23	124	23	155	23	186	23	216	23	247	23	277
24	309	24	340	24	3	24	34	24	64	24	95	24	125	24	156	24	187	24	217	24	248	24	278
25	310	25	341	25	4	25	35	25	65	25	96	25	126	25	157	25	188	25	218	25	249	25	279
26	311	26	342	26	5	26	36	26	66	26	97	26	127	26	158	26	189	26	219	26	250	26	280
27	312	27	343	27	6	27	37	27	67	27	98	27	128	27	159	27	190	27	220	27	251	27	281
28	313	28	344	28	7	28	38	28	68	28	99	28	129	28	160	28	191	28	221	28	252	28	282
29	314			29	8	29	39	29	69	29	100	29	130	29	161	29	192	29	222	29	253	29	283
30	315			30	9	30	40	30	70	30	101	30	131	30	162	30	193	30	223	30	254	30	284
31	316			31	10			31	71			31	132	31	163			31	224			31	285

Esta misma expresión puede encontrarse también referida al día 1 de enero como origen de tiempos. Esta expresión de la declinación es debida a Cooper. En este caso la expresión resulta:

$$\delta = 23.45 \sin\left(360 \frac{284 + n}{365}\right);$$

Obteniéndose en ambos casos el valor medio de la declinación para un día concreto del año medido en grados sexagesimales. Resulta interesante hacer un estudio comparativo entre los valores obtenidos mediante las distintas expresiones que proporcionan la declinación para una fecha concreta. Si, por ejemplo, calculamos el valor de la declinación para el día 6 de febrero de 2003, obtenemos los valores siguientes:

- 6 febrero:
  - Día nº 37 contado desde el 1 de enero.
  - Día nº 322 contado desde el 21 de marzo.
  - Valor de  $\theta = \frac{360 * 37}{365} = 36.4531^\circ$

Sustituyendo valores:

$$\delta = \frac{360}{2\pi} [0.006918 - 0.399912 \cos \theta + 0.070257 \sin \theta - 0.06758 \cos 2\theta - 0.000908 \sin 2\theta]$$

$$\delta_1 = \frac{360}{2\pi} [0,006918 - 0,3215004390 + 0,0417837128 - 0,019773930 - 0,0008682612];$$

donde  $\delta_1 = -16,812926103467001539808822923278^\circ$

Sustituyendo valores en la ecuación de Linacre para  $\theta = \frac{360 * 322}{365} = 316,6027^\circ$

$$\delta = 23.45 \text{sen}\left(\frac{360}{365}n\right)$$

$$\delta_2 = 23.45 \text{sen}(316,6027)$$

donde  $\delta_2 = -16,111387391394992258238986945775^\circ$

Sustituyendo el valor del día en la ecuación de Cooper se obtiene:

$$\delta = 23.45 \text{sen}\left(360\frac{284+n}{365}\right)$$

$$\delta_3 = 23.45 \text{sen}(316,6027)$$

donde  $\delta_3 = -16,111387391394992258238986945775^\circ$

Como se ha podido comprobar el valor obtenido para la ecuación empírica propuesta difiere levemente de los valores obtenidos por aplicación de las ecuaciones propuestas por Linacre y Cooper, esta variación de  $0,701^\circ$  justifica la necesidad de consultar en los Almanques Náuticos, o en los programas de cálculo astronómicos, el valor de la declinación en caso de que la exactitud de los cálculos así lo requiera.

### 2.6.1. Relación entre la declinación y la ecuación del tiempo

Los valores obtenidos para la declinación, bien deducidos de alguna de las fórmulas anteriores, o extraídos de un Almanaque Náutico permiten recoger dichos valores en una tabla para todos los días del año:

DATOS DE LA DECLINACION A LAS 12h. DE U.T.  
CORRESPONDIENTES AL AÑO 1999

=====

ENERO*	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
-23.014	-17.143	-7.645	4.48	15.029	22.032	23.117	18.054	8.336	-3.126	-14.378	-21.777
-22.929	-16.856	-7.264	4.866	15.33	22.166	23.048	17.801	7.972	-3.513	-14.697	-21.93
-22.837	-16.565	-6.882	5.25	15.627	22.293	22.972	17.543	7.607	-3.9	-15.012	-22.076
-22.736	-16.269	-6.498	5.632	15.92	22.413	22.889	17.28	7.239	-4.287	-15.323	-22.215
-22.629	-15.969	-6.113	6.013	16.208	22.527	22.799	17.013	6.87	-4.672	-15.63	-22.347
-22.513	-15.663	-5.726	6.392	16.492	22.635	22.703	16.74	6.498	-5.057	-15.932	-22.472
-22.391	-15.354	-5.338	6.769	16.771	22.736	22.6	16.464	6.125	-5.44	-16.23	-22.589
-22.261	-15.04	-4.948	7.145	17.045	22.83	22.491	16.183	5.751	-5.822	-16.524	-22.699
-22.123	-14.721	-4.558	7.518	17.315	22.918	22.375	15.897	5.374	-6.203	-16.812	-22.801
-21.979	-14.399	-4.166	7.889	17.58	22.999	22.253	15.608	4.996	-6.583	-17.097	-22.897
-21.827	-14.073	-3.774	8.258	17.84	23.073	22.125	15.314	4.617	-6.961	-17.376	-22.984
-21.669	-13.742	-3.381	8.625	18.095	23.14	21.99	15.016	4.236	-7.338	-17.65	-23.064
-21.503	-13.408	-2.988	8.989	18.345	23.201	21.849	14.714	3.854	-7.713	-17.919	-23.137
-21.33	-13.071	-2.593	9.351	18.59	23.254	21.701	14.408	3.471	-8.086	-18.183	-23.201
-21.151	-12.729	-2.199	9.71	18.829	23.301	21.548	14.099	3.087	-8.457	-18.442	-23.258
-20.964	-12.385	-1.804	10.066	19.063	23.341	21.388	13.785	2.702	-8.826	-18.696	-23.308
-20.771	-12.037	-1.409	10.42	19.292	23.375	21.222	13.468	2.316	-9.194	-18.943	-23.349
-20.572	-11.686	-1.013	10.771	19.516	23.401	21.05	13.148	1.929	-9.559	-19.186	-23.383
-20.366	-11.331	-0.618	11.119	19.734	23.42	20.873	12.824	1.542	-9.921	-19.422	-23.409
-20.154	-10.974	-0.222	11.464	19.946	23.433	20.689	12.496	1.154	-10.282	-19.653	-23.427
-19.935	-10.614	.173	11.805	20.152	23.439	20.5	12.166	.766	-10.639	-19.877	-23.437
-19.71	-10.251	.568	12.144	20.353	23.437	20.305	11.832	.377	-10.995	-20.096	-23.44
-19.479	-9.886	.962	12.479	20.548	23.429	20.104	11.495	-.013	-11.347	-20.309	-23.434
-19.242	-9.518	1.356	12.811	20.738	23.414	19.898	11.155	-.402	-11.697	-20.515	-23.421
-18.999	-9.148	1.75	13.139	20.921	23.392	19.686	10.812	-.791	-12.043	-20.715	-23.4
-18.75	-8.775	2.143	13.464	21.098	23.364	19.469	10.466	-1.181	-12.387	-20.908	-23.371
-18.496	-8.4	2.535	13.784	21.269	23.328	19.246	10.117	-1.57	-12.727	-21.095	-23.334
-18.236	-8.024	2.926	14.102	21.434	23.286	19.018	9.766	-1.96	-13.064	-21.276	-23.29
-17.971		3.316	14.415	21.593	23.236	18.785	9.412	-2.349	-13.398	-21.45	-23.237
-17.7		3.705	14.724	21.746	23.18	18.546	9.056	-2.737	-13.728	-21.617	-23.177
-17.424		4.093		21.892		18.303	8.697		-14.055		-23.109

Tabla 2.1. Tabla de los valores de la declinación solar a las 12h.

FIG 31: TABLA I EXTRAIDA DE: MANUAL DE SOLEAMIENTO INTEGRAL D. JOSÉ MARÍA RAYA ROMÁN. 2001

Puede observarse en la tabla que el valor de la declinación correspondiente al día 6 de Febrero es  $\delta = -15,663^\circ$ , que no se corresponde exactamente con los valores calculados, presentando un margen de error próximo a  $1,5^\circ$  sexagesimales. Dejando patente una vez más la necesidad de acudir a los almanques náuticos en el caso de que

la exactitud de los cálculos así lo requiera. Los datos de la declinación pueden relacionarse con los obtenidos para cada día del año en la Ecuación del tiempo. Estos datos expresados en forma de tabla son:

ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
-3,60	-13,70	-12,50	-4,00	2,80	2,20	-3,80	-6,40	-0,10	10,20	16,30	10,90
-4,10	-13,80	-12,30	-3,70	2,90	2,00	-4,00	-6,30	0,20	10,50	16,30	10,60
-4,50	-13,90	12,10	-3,40	3,00	1,90	-4,20	-6,20	0,50	10,80	16,30	10,20
-5,00	-14,00	-11,90	-3,10	3,10	1,70	-4,40	-6,20	0,80	11,10	16,30	9,80
-5,40	-14,10	-11,60	-2,80	3,20	1,50	-4,60	-6,10	1,20	11,40	16,30	9,40
-5,90	-14,20	11,40	-2,60	3,30	1,30	-4,80	-6,00	1,50	11,70	16,30	9,00
-6,30	-14,20	-11,20	-2,30	3,40	1,20	-4,90	-5,80	1,90	12,00	16,20	8,50
-6,70	-14,30	-10,90	-2,00	3,50	1,00	-5,10	-5,70	2,20	12,30	16,20	8,10
-7,20	-14,30	-10,70	-1,70	3,50	0,80	-5,20	-5,60	2,50	12,60	16,10	7,70
-7,60	-14,30	-10,40	-1,40	3,50	0,60	-5,40	-5,40	2,90	12,90	16,00	7,20
-8,00	-14,30	-10,20	-1,20	3,60	0,40	-5,50	-5,30	3,20	13,10	15,90	6,70
-8,40	-14,30	-9,90	-0,90	3,60	0,20	-5,60	-5,10	3,60	13,40	15,80	6,30
-8,70	-14,30	-9,60	-0,70	3,60	0,00	-5,80	-4,90	3,90	13,60	15,60	5,80
-9,10	-14,30	-9,40	-0,40	3,60	-0,20	-5,90	-4,80	4,30	13,90	15,50	5,30
-9,50	-14,30	-9,10	-0,20	3,60	-0,50	-6,00	-4,60	4,70	14,10	15,30	4,90
-9,80	-14,20	-8,80	0,10	3,60	-0,70	-6,10	-4,40	5,00	14,30	15,20	4,40
-10,20	-14,20	-8,50	0,30	3,60	-0,90	-6,20	-4,20	5,40	14,50	15,00	3,90
-10,50	-14,10	-8,20	0,50	3,50	-1,10	-6,30	-3,90	5,70	14,70	14,80	3,40
-10,80	-14,00	-7,90	0,80	3,50	-1,30	-6,30	-3,70	6,10	14,90	14,60	2,90
-11,10	-13,90	-7,60	1,00	3,50	-1,50	-6,40	-3,50	6,40	15,10	14,30	2,40
-11,40	-13,70	-7,30	1,20	3,30	-1,80	-6,40	-3,20	6,80	15,20	14,10	1,90
-11,70	-13,60	-7,00	1,40	3,20	-2,00	-6,50	-3,00	7,10	15,40	13,80	1,40
-11,90	-13,50	-6,70	1,60	3,20	-2,20	-6,50	-2,70	7,50	15,60	13,60	0,90
-12,20	-13,30	-6,40	1,80	3,20	-2,40	-6,50	-2,50	7,80	15,70	13,30	0,40
-12,40	-13,20	-6,10	1,90	3,10	-2,60	-6,60	-2,20	8,20	15,80	13,00	-0,10
-12,60	-13,00	-5,80	2,10	3,00	-2,80	-6,60	-1,90	8,50	15,90	12,70	-0,60
-12,80	-12,90	-5,50	2,30	2,80	-3,00	-6,60	-1,60	8,90	16,00	12,30	-1,10
-13,00	-12,70	-5,20	2,40	2,70	-3,20	-6,50	-1,30	9,20	16,10	12,00	-1,60
-13,20		-4,90	2,60	2,60	-3,40	-6,50	-1,00	9,50	16,20	11,70	-2,00
-13,40		-4,60	2,70	2,50	-3,60	-6,50	-0,70	9,90	16,20	11,30	-2,50
-13,50		-4,30		2,30		-6,40	-0,40		16,30		-3,00

Tabla 2.3. Tabla de los valores de la ecuación del tiempo a las 12h. de cada día del año.

FIG 32: TABLA II EXTRAIDA DE LA OBRA: MANUAL DE SOLEAMIENTO INTEGRAL. D. JOSÉ MARÍA RAYA ROMÁN. 2001

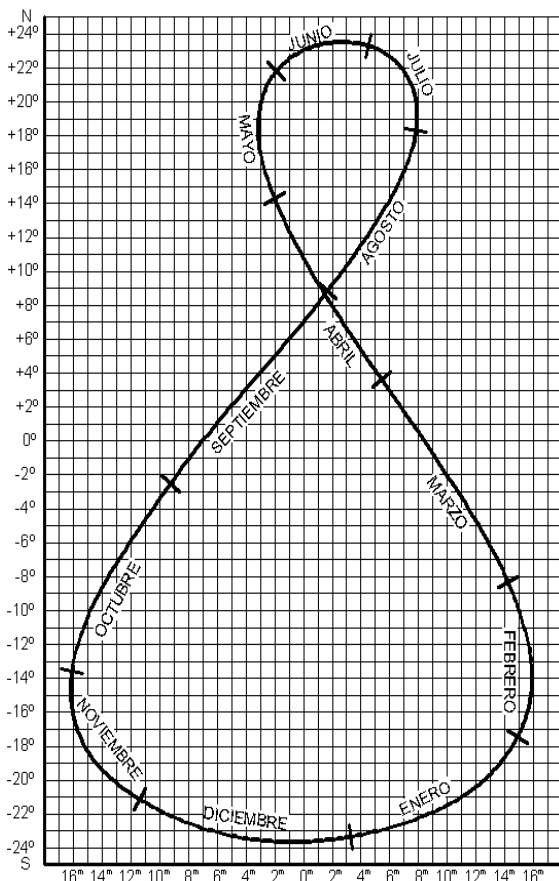


fig. 33: ANALEMMA.

Las dos tablas anteriores, con los valores de ecuación de tiempo y declinación para cada día del año, permiten dibujar un gráfico donde ambos valores se relacionan. Dicho gráfico recibe el nombre de analema. De la observación del mismo se deduce que la posición del Sol a lo largo del año para una hora concreta, no varía sobre un arco de ángulo horario constante variando la declinación; sino que produce una curva en forma de ocho, debido al adelanto y al atraso que, a lo largo del año, produce la ecuación del tiempo respecto del momento de paso del sol por el meridiano del lugar. En el gráfico anterior, también puede observarse que las oscilaciones introducidas por la ecuación del tiempo registran sus valores extremos de adelanto y atraso los días 1 de noviembre y 12 de febrero respectivamente.

## 2.7. La posición del Sol

El objeto del desarrollo de los apartados anteriores era conocer, para una ubicación geográfica concreta, un día concreto del año, y a una hora concreta cuáles son las coordenadas horizontales de la posición del Sol, es decir el valor del azimut ( $a$ ) y de la altura sobre el horizonte ( $h$ ) medidos en grados sexagesimales desde el punto de observación. Los datos de partida eran los siguientes:

- situación geográfica, expresada en latitud y longitud:  $(\varphi, \lambda)$ .
- fecha de observación, que permitirá calcular la declinación  $\delta$ .
- hora de observación, que junto con la situación geográfica permitirá deducir el tiempo verdadero mediante la ecuación del tiempo, y de estos el ángulo horario del Sol para ese momento ( $H$ ).

A partir de los datos anteriores el valor del azimut ( $a$ ) y la altura sobre el horizonte ( $h$ ) se deduce por aplicación de las fórmulas siguientes:

$$\text{Sen}(h) = \text{sen}(\varphi)\text{sen}(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(H)$$

$$\text{Sen}(a) = \frac{\text{Sen}(H)\cos(\delta)}{\cos(h)}$$

De los datos anteriores puede deducirse no sólo la posición del Sol sobre la esfera celeste, sino que haciendo que la altura sobre el horizonte valga cero, se puede calcular el ángulo horario correspondiente al orto (salida) y al ocaso (puesta) del Sol. Sustituyendo en las ecuaciones anteriores el valor  $h=0$  se obtiene:

$$\text{Sen}(h) = 0; H = \pm H_p$$

$$0 = \text{sen}(\varphi)\text{sen}(\delta) + \cos(\varphi)\cos(\delta)\cos(H)$$

$$H_p = \text{Arc cos}(-\text{tg}(\varphi)\text{tg}(\delta))$$

Si el valor del ángulo horario ( $H$ ) está expresado en grados sexagesimales, el número de horas de sol puede calcularse mediante la expresión siguiente:

$$N = \frac{2|H_p|}{15}$$

A modo de ejemplo, calcularemos el número de horas de sol correspondiente al día 6 de febrero en Valencia, con unas coordenadas geográficas  $V$ : ( $39^{\circ}47'$  N,  $-0^{\circ}38'$  O) y un valor de la declinación  $\delta = -16,11^{\circ}$

$$N = \frac{2}{15} \text{Arc cos}(-\text{tg}(39.47)\text{tg}(-16.11)); \quad N = \frac{2}{15} \text{Arc cos}(0,2487732657); \text{ resultando:}$$

$$N = \frac{2}{15}(75,595067) = 10,07934 \text{ horas, que resultan:}$$

$$N = 10 \text{ h, } 4 \text{ min, } 45.6 \text{ seg.}$$

## 2.8. Métodos gráficos para la obtención del vector solar

Aunque como se ha visto, los cálculos analíticos tendentes a la obtención de los valores del azimut y de la altura sobre el horizonte, pueden ser deducidos para cualquier ubicación geográfica y a cualquier hora, tienen el inconveniente de no contar con la necesaria agilidad para la toma de decisiones durante el proceso del proyecto de arquitectura.

En este sentido, se suele recurrir a procedimientos gráficos que representen los valores angulares calculados y que permitan definir sobre las edificaciones proyectadas cuál es la dirección de los rayos solares en un momento concreto. Estas representaciones gráficas reciben el nombre de cartas solares. Existe una amplia gama, dependiendo fundamentalmente del tipo de superficie sobre la que se proyecta la trayectoria solar y del dato que de ella se quiera extraer, pero todas ellas parten de una serie de simplificaciones de la mecánica del movimiento solar que será necesario considerar de antemano.

### 2.8.1. Simplificaciones en la mecánica solar adoptadas en todas las cartas solares

Estas simplificaciones que permiten adoptar un modelo abordable desde el punto de vista gráfico son las siguientes:

- la Tierra es una esfera perfecta de radio  $R$ , sin achatamiento en los polos, de modo que los valores de longitud y latitud geográfica coinciden con los puntos situados sobre esta esfera ideal;
- el Sol es una masa puntual que coincide con su centro geométrico y su distancia a la Tierra puede considerarse tan grande que la luz incidente sobre la Tierra actúa como un haz de rayos paralelos;
- el centro de gravedad del sistema Sol-Tierra se encuentra en el centro de la Tierra;
- la trayectoria del Sol sobre la esfera celeste, la eclíptica, puede considerarse una circunferencia perfecta;
- el desplazamiento del sol sobre la eclíptica se produce a velocidad constante.
- el movimiento de rotación de la Tierra se produce de manera constante, completándose una vuelta cada 24 horas;
- la inclinación del eje de rotación de la Tierra sobre el plano de la eclíptica se considera constante y de valor  $\delta=23.5^\circ$ ;
- el efecto de la ecuación del tiempo sobre la hora de paso del Sol sobre el meridiano del lugar se considera despreciable;
- el valor de la declinación se considera constante a lo largo del día, tomando el valor de la declinación en el paso del Sol por el meridiano de Greenwich;
- se desprecian los efectos que la refracción atmosférica pueda producir sobre la dirección de la radiación incidente desde el sol.

## 2.8.2. Las cartas solares. Su utilización en el cálculo del vector solar

Las cartas solares, como representación gráfica de la trayectoria del Sol sobre la esfera celeste, se generan por proyección de dichas trayectorias sobre una superficie, que asume las funciones de superficie del cuadro. Generalmente suelen representarse las trayectorias correspondientes a los días en que se producen las efemérides astronómicas de solsticios y equinoccios; que coinciden aproximadamente con los días 22 de los meses de diciembre, de marzo, de junio y de septiembre, como valores extremos. Es también habitual interpolar entre dichas trayectorias los días correspondientes al 22 de los meses intermedios, con el fin de dotar a las cartas de una cierta continuidad.

La identificación de la hora solar sobre una trayectoria concreta se lleva a cabo tomando el valor de las 12:00h solar, en el punto de la trayectoria que se encuentra sobre el meridiano del lugar, y midiendo desde dicho punto distancias angulares de 15° sexagesimales. Por los puntos así calculados pasan los meridianos horarios de la esfera celeste, que al ser proyectados junto con las trayectorias solares identifican por intersección con éstas las horas solares sobre cada trayectoria.

El vector solar para un día concreto y una hora concreta queda definido por la dirección de la recta que une el punto considerado con el centro de la esfera celeste, siendo su sentido el que tiene origen en este punto considerado, y su extremo en el centro de la esfera celeste.

### 2.8.2.1. La carta solar de Fisher

La carta solar de Fisher<sup>15</sup> es una representación diédrica de la esfera celeste sobre la que se han grafiado los recorridos del Sol correspondientes a los valores máximos y mínimos de la declinación (correspondientes a los solsticios) además de los recorridos de declinación nula (correspondientes a los equinoccios.) Se puede interpolar la trayectoria correspondiente a un día concreto, resultando una sección plana de la bóveda celeste a una distancia angular del ecuador celeste igual a la declinación correspondiente a dicha fecha.

Elegida una ubicación geográfica concreta, el valor de su latitud ( $\varphi$ ) proporciona el dato necesario para orientar las trayectorias solares en paralelo al ecuador celeste del lugar. De este modo, las trayectorias solares correspondientes a los equinoccios se encuentran sobre un plano, que forma con el horizonte del lugar un ángulo igual al complemento de la latitud ( $90-\varphi$ ), llamado también colatitud, siendo dicho plano perpendicular al eje de la Tierra.

---

<sup>15</sup> FISHER. H, T, (1931), *Método rápido para la determinación del soleamiento en los edificios*. The Architectural Record. Londres.

Las trayectorias solares grafiadas suelen estar divididas en ángulos de 15° sexagesimales medidos desde el meridiano del lugar, de manera que estas divisiones representan el valor de las horas en tiempo verdadero.

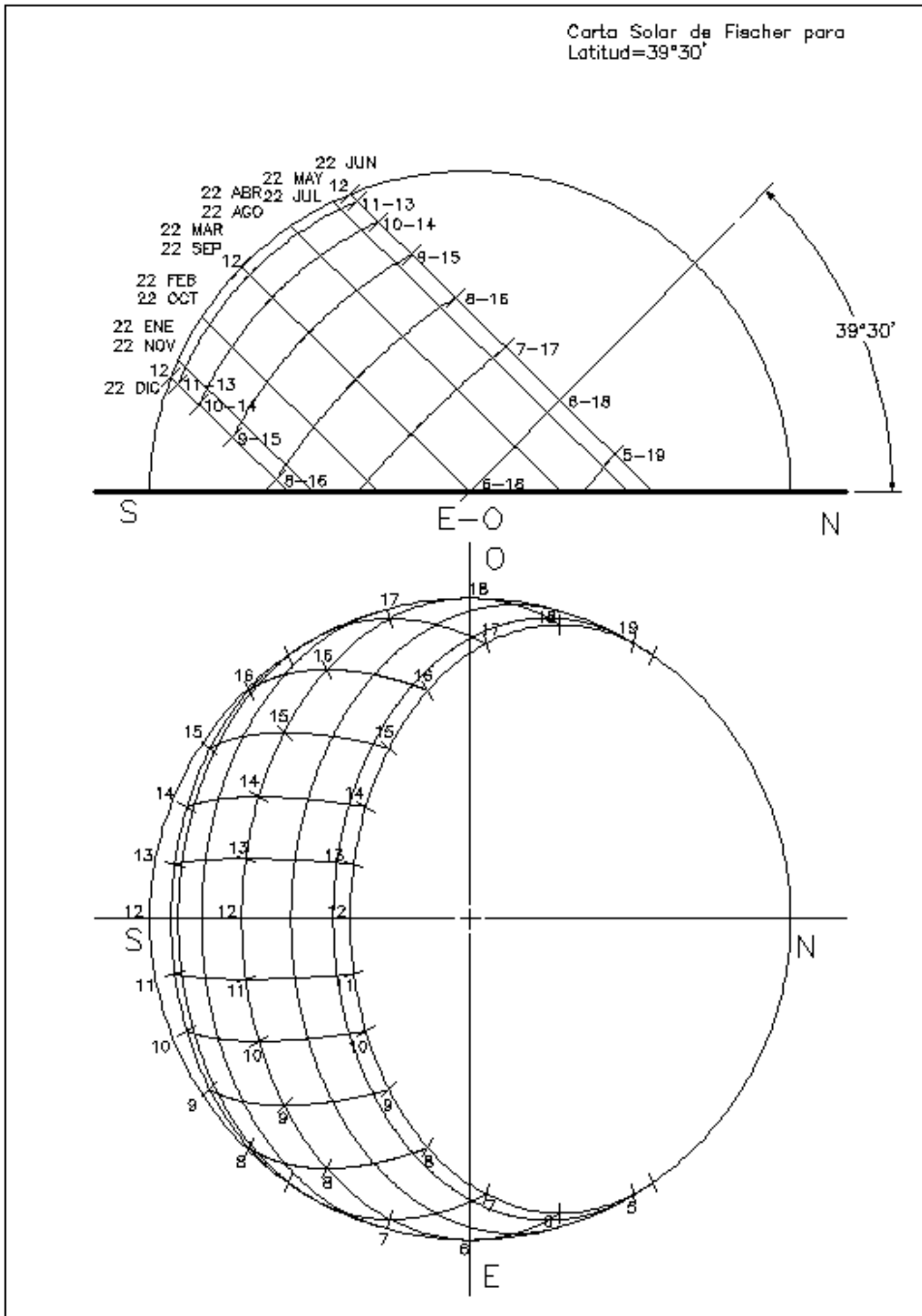


fig. 34: CARTA SOLAR DE FISHER PARA UNA LATITUD DE 39°30'

En esta imagen se representa la carta solar de Fisher correspondiente a la ciudad de Valencia, de latitud  $\varphi = 39.^\circ 30'$ . La carta solar de Fisher permite conocer los datos del vector solar para una hora y un día concreto por lectura directa de los valores del azimut y la altura sobre el horizonte sobre la carta. Elegida la fecha y la hora en cuestión basta con unir el punto que la representa sobre la esfera celeste con el centro de la esfera, quedando dicho vector representado en planta y alzado, pudiéndose trasladar al dibujo a condición de conocer sobre este cual es la dirección norte, respecto de la que se mide el



azimut del vector. A continuación se recoge un ejemplo de aplicación del cálculo de la sombra arrojada por un objeto, el día 22 de junio a la 7.00h de tiempo verdadero para una latitud de 40° por aplicación de la carta solar de Fisher.

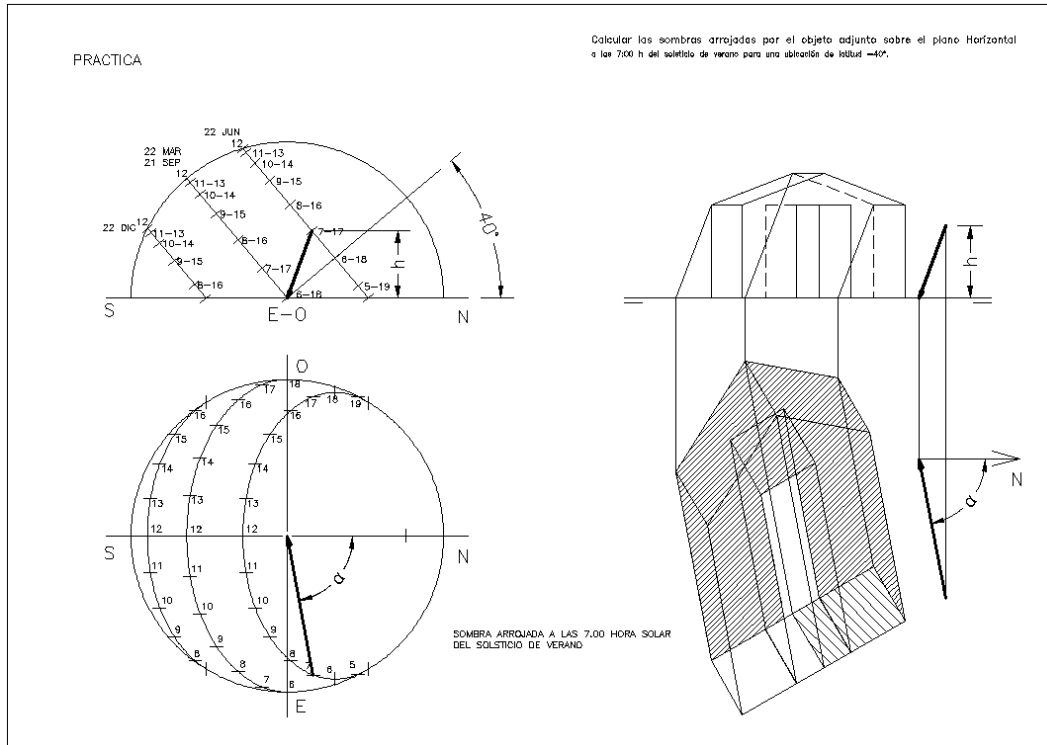


fig. 35: APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA CARTA SOLAR DE FISHER 1

A continuación se recoge en otro ejemplo práctico la aplicación de la carta solar de Fisher al estudio del soleamiento de una fachada en la ubicación geográfica de Utrech, con una latitud  $\varphi = 52.10^\circ$ , fachada que forma  $60^\circ$  con la dirección norte:

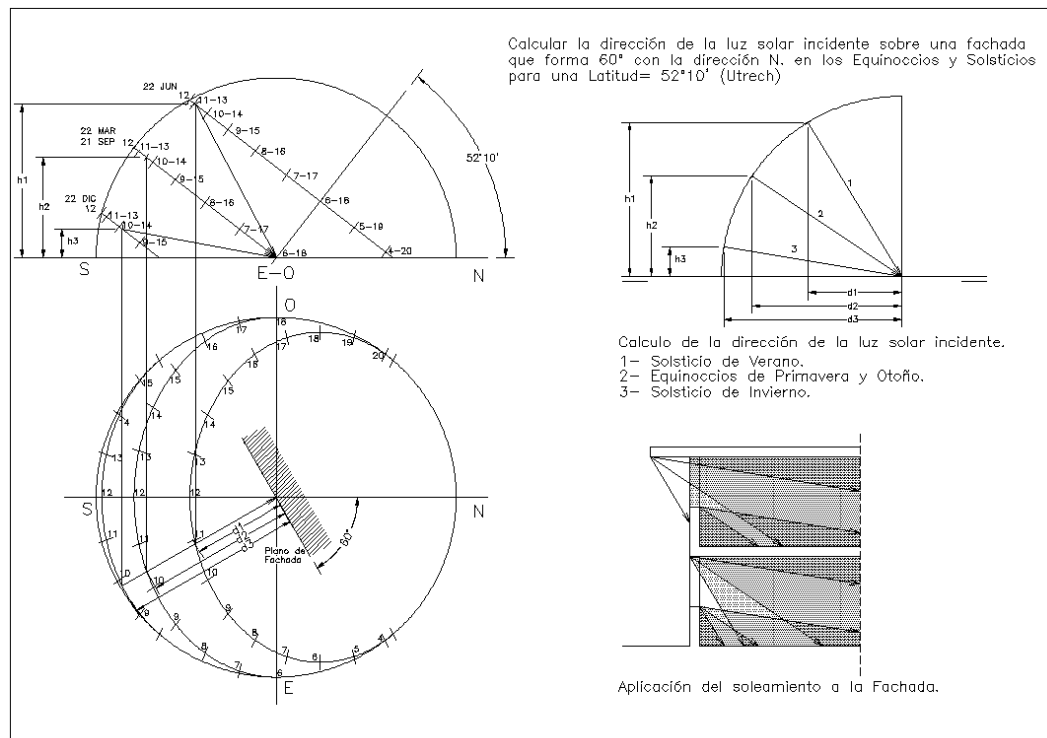


fig. 36: APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA CARTA SOLAR DE FISHER 2

Por su sencillez, La carta solar de Fisher permite calcular con facilidad las situaciones extremas que se producen respecto de la dirección de la incidencia de los rayos solares sobre la superficie terrestre.

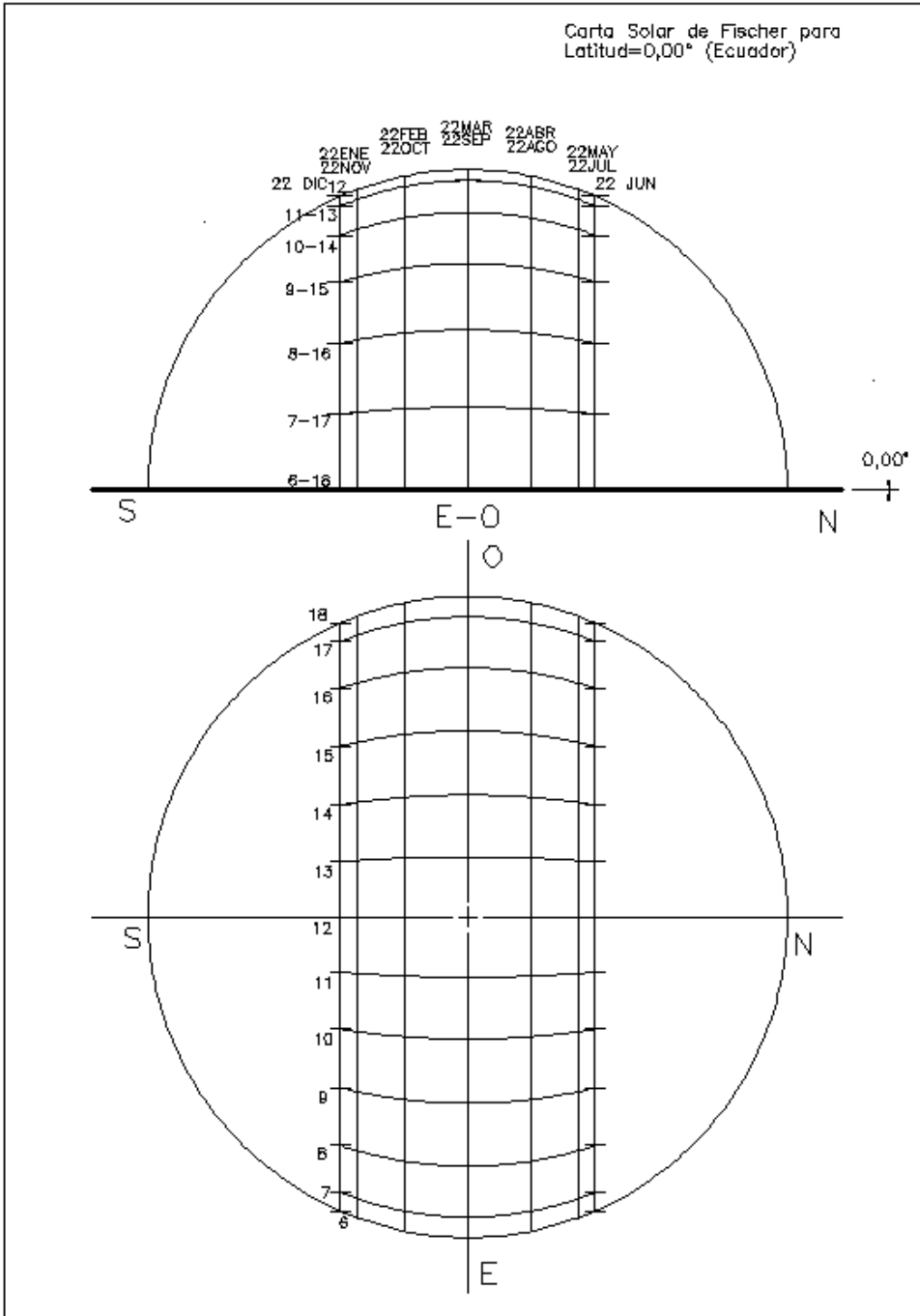


fig. 37: CARTA SOLAR DE FISHER PARA UNA LATITUD DE 0,00°

En la imagen es muestra la carta de Fisher para una latitud  $\varphi=0.00^\circ$ , correspondiente al Ecuador. En esta latitud, las trayectorias solares presentan las siguientes particularidades:

- durante los equinoccios (el 22 de marzo y el 22 de septiembre) el Sol recorre el ecuador celeste, que en esta latitud define un plano que contiene a la vertical del lugar, coincidiendo su dirección con dicha vertical a las 12h de tiempo verdadero;

- cualquier otro día, la trayectoria solar se desplaza hacia el norte, si el valor de la declinación es positivo, durante las estaciones de primavera y verano. Si el valor de la declinación es negativo, las trayectorias solares se desplazan hacia el sur, durante las estaciones de otoño e invierno. En cualquier caso, la duración del día, para cualquier día del año es siempre de 12 horas de sol, recibiendo la radiación solar desde el norte para las estaciones de primavera y verano, y desde el sur para las estaciones de Otoño e invierno.

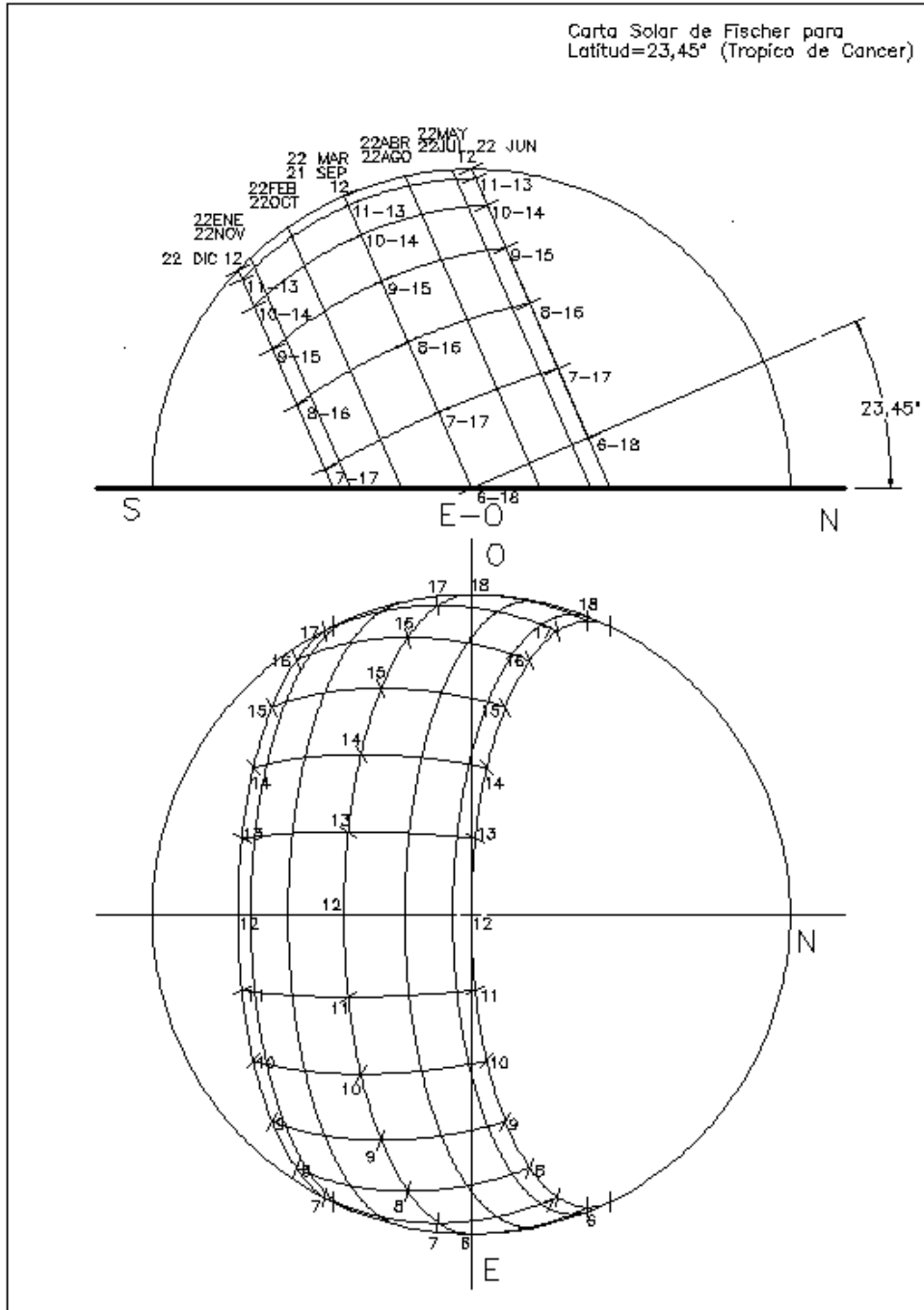


fig. 38: CARTA SOLAR DE FISHER PARA UNA LATITUD DE 23°27'

En la imagen es muestra la carta de Fisher para una latitud  $\phi=23^{\circ}27'$ , correspondiente al Trópico de Cáncer. En esta latitud, que marca el inicio de la zona tropical las trayectorias solares presenta las siguientes particularidades:

- durante el solsticio de verano (el 22 de junio), la altura sobre el horizonte (h) a las 12h de tiempo verdadero, vale  $h=90^\circ$ , por lo que el Sol en ese instante se encuentra en el zenit, sobre la vertical del lugar.
- cualquier punto que se encuentre a una latitud superior a la del trópico, no registra en ningún momento del año el paso del Sol por la vertical del lugar. Por el contrario, cualquier punto situado al sur del trópico registra al menos dos días en que a las 12h de tiempo verdadero el Sol se encuentra sobre la Vertical del lugar, días que coinciden con el momento en que la declinación tiene un valor igual a la latitud del lugar.

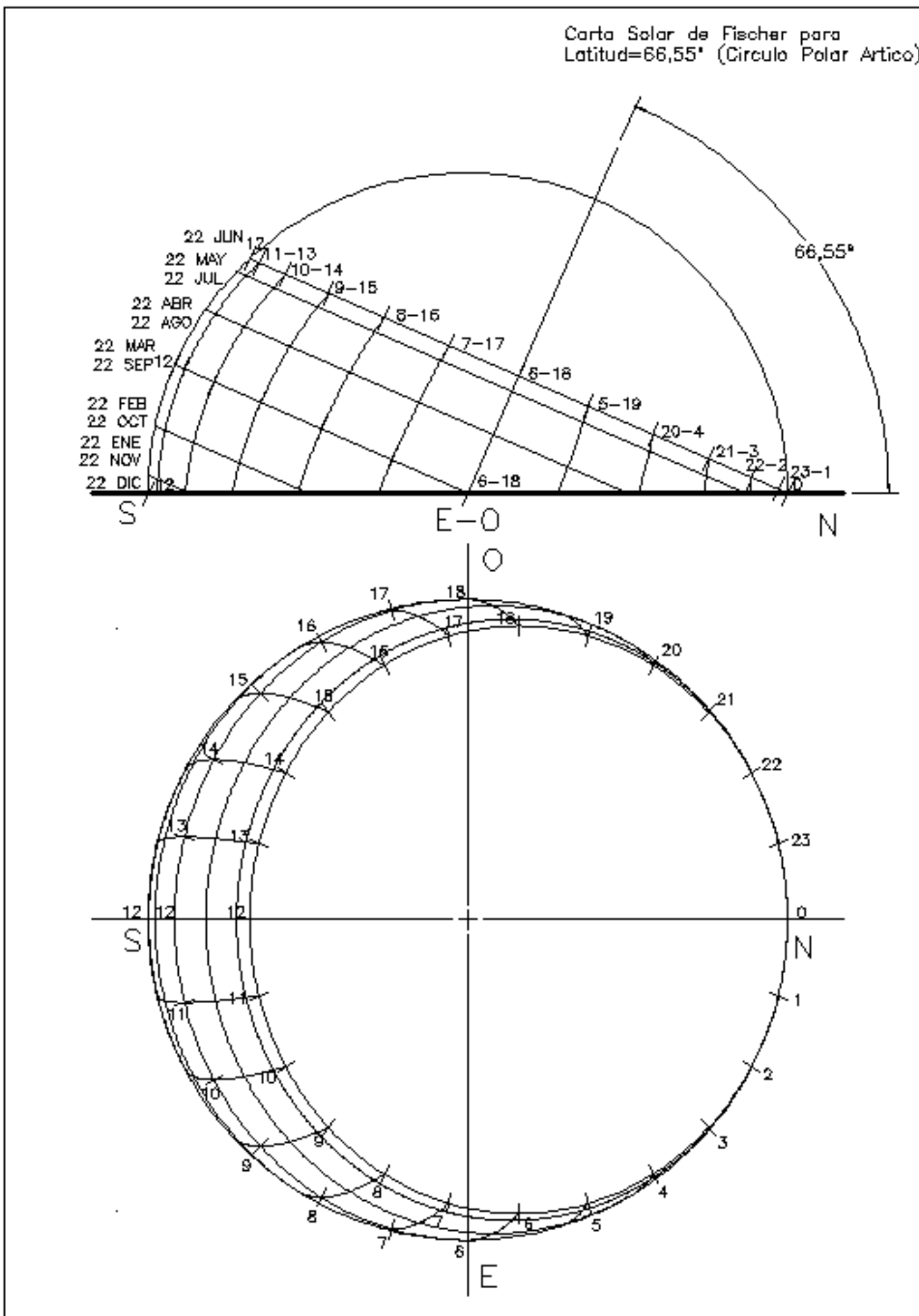


fig. 39: CARTA SOLAR DE FISHER PARA UNA LATITUD DE 66°33'

En la imagen se muestra la carta solar de Fisher para una latitud  $\phi=66^{\circ}33'$ , correspondiente al círculo polar ártico. En esta latitud, la trayectoria solar correspondiente a los solsticios, presenta las siguientes particularidades:

- durante el solsticio de verano (el 22 de junio) la altura sobre el horizonte (h) es mayor que cero durante todo el día, por lo que el sol no llega a ponerse, y durante ese día se producen 24 horas consecutivas de Sol;
- durante el solsticio de invierno, el 22 de Diciembre, la altura sobre el horizonte (h) es menor que cero durante todo el día, por lo que el sol no llega a salir, y durante ese día se producen 24 horas consecutivas de oscuridad.

Para latitudes inferiores a la reflejada en la carta, la trayectoria solar correspondiente al solsticio de invierno tiene puntos con altura sobre el horizonte mayor que cero, por lo que el sol llega a salir todos los días. Para latitudes superiores, aumentará el número de días en que el sol no llega a salir sobre el horizonte en el entorno del solsticio de invierno.

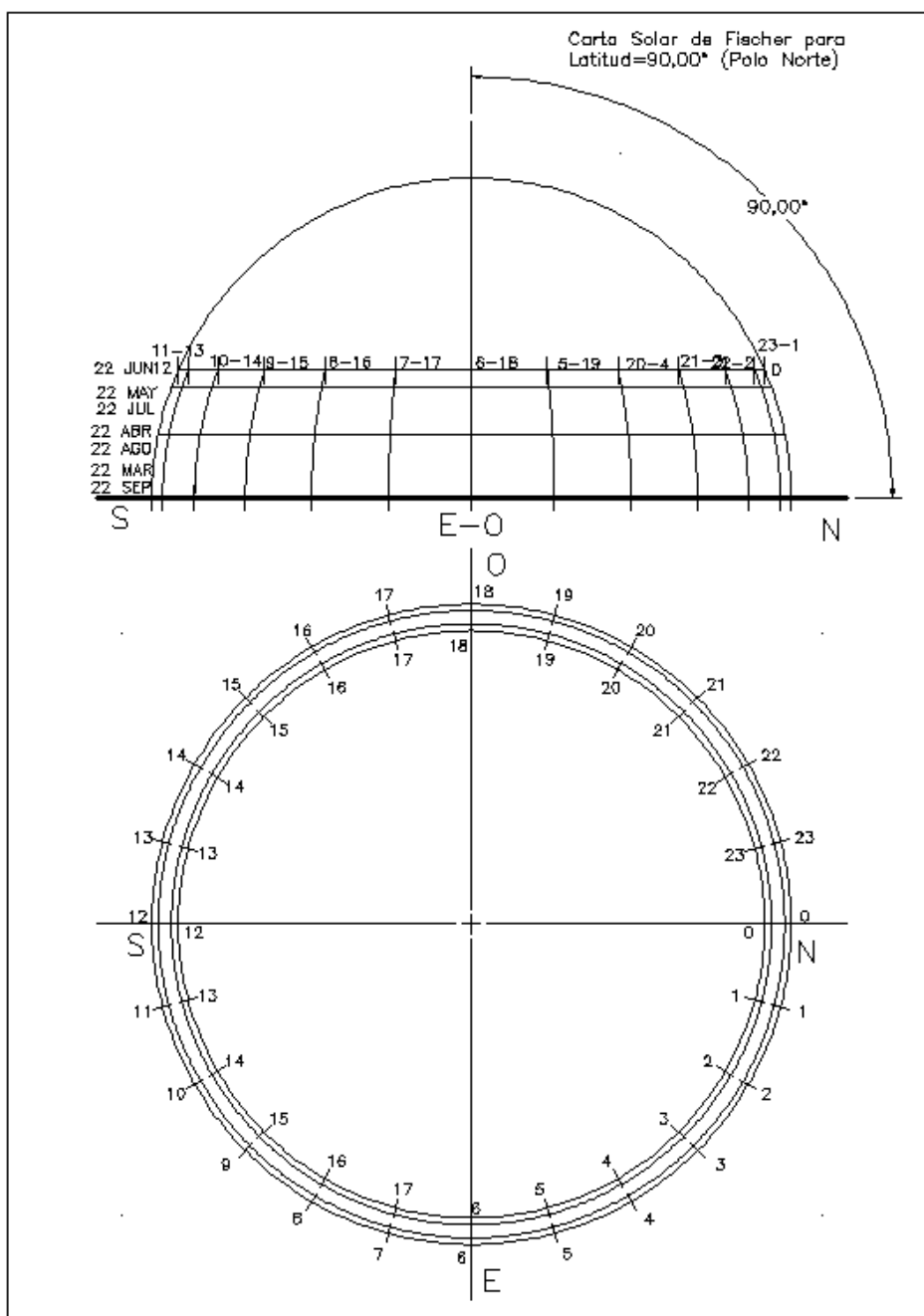


fig. 40: CARTA SOLAR DE FISHER PARA UNA LATITUD DE 90,00°

En la imagen es muestra la carta de Fisher para una latitud  $\varphi=90,00^\circ$ , correspondiente al Polo norte. En esta latitud, las trayectorias solares presentan las siguientes particularidades:

- durante el periodo entre equinoccios, que comprende el solsticio de verano (el 22 de junio) la altura del Sol sobre el horizonte (h) es mayor que cero, e igual a la declinación, por lo que el sol no llega a ponerse hasta la llegada del equinoccio siguiente, produciéndose seis meses consecutivos de radiación solar.
- durante el periodo entre equinoccios, que comprende el solsticio de invierno (el 22 de diciembre), la altura del Sol sobre el horizonte (h) es menor que cero, e igual a la declinación, por lo que el sol no llega a salir hasta la llegada del equinoccio siguiente, produciéndose seis meses consecutivos de oscuridad.

La carta de Fisher permite conocer las componentes del vector solar con relativa simplicidad y economía de medios, siendo sus valores extrapolables con sencillez a representaciones gráficas diédricas de objetos, en los que además de conocer la situación geográfica definida por la latitud y la longitud, habrá que conocer la dirección del norte geográfico, con el fin de transportar los ángulos correspondientes al vector solar.

La obtención de la carta solar de Fisher puede abordarse por procedimientos informáticos, mediante la utilización de cualquier programa capaz de representaciones tridimensionales.

En el ejemplo que se muestra, se ha modelizado una esfera sobre la que se han grafiado las trayectorias correspondientes a solsticios y equinoccios, además de los círculos máximos correspondientes a los meridianos horarios, separados entre sí por una distancia de  $15^\circ$  sexagesimales.

Dicha representación tridimensional debe estar orientada respecto del azimut de la dirección norte del lugar, y debe tener la inclinación sobre el plano horizontal correspondiente a la latitud del lugar.

La posición correspondiente a una latitud concreta se obtiene girando la esfera celeste sobre el diámetro correspondiente al orto y al ocaso de los equinoccios un ángulo igual a la colatitud del lugar, quedando definidas por intersección con el plano del horizonte los puntos correspondientes al orto y al ocaso para cada trayectoria.

La imagen correspondiente a la carta solar de Fisher se obtiene generando dos proyecciones cilíndricas ortogonales de la esfera celeste correspondientes entre sí, que representan respectivamente a la planta y al alzado de la misma.

Con el fin de hacer operativa la carta se han eliminado los arcos en los que la trayectoria solar tiene un valor negativo de altura sobre el horizonte, dejando solamente los arcos diurnos.

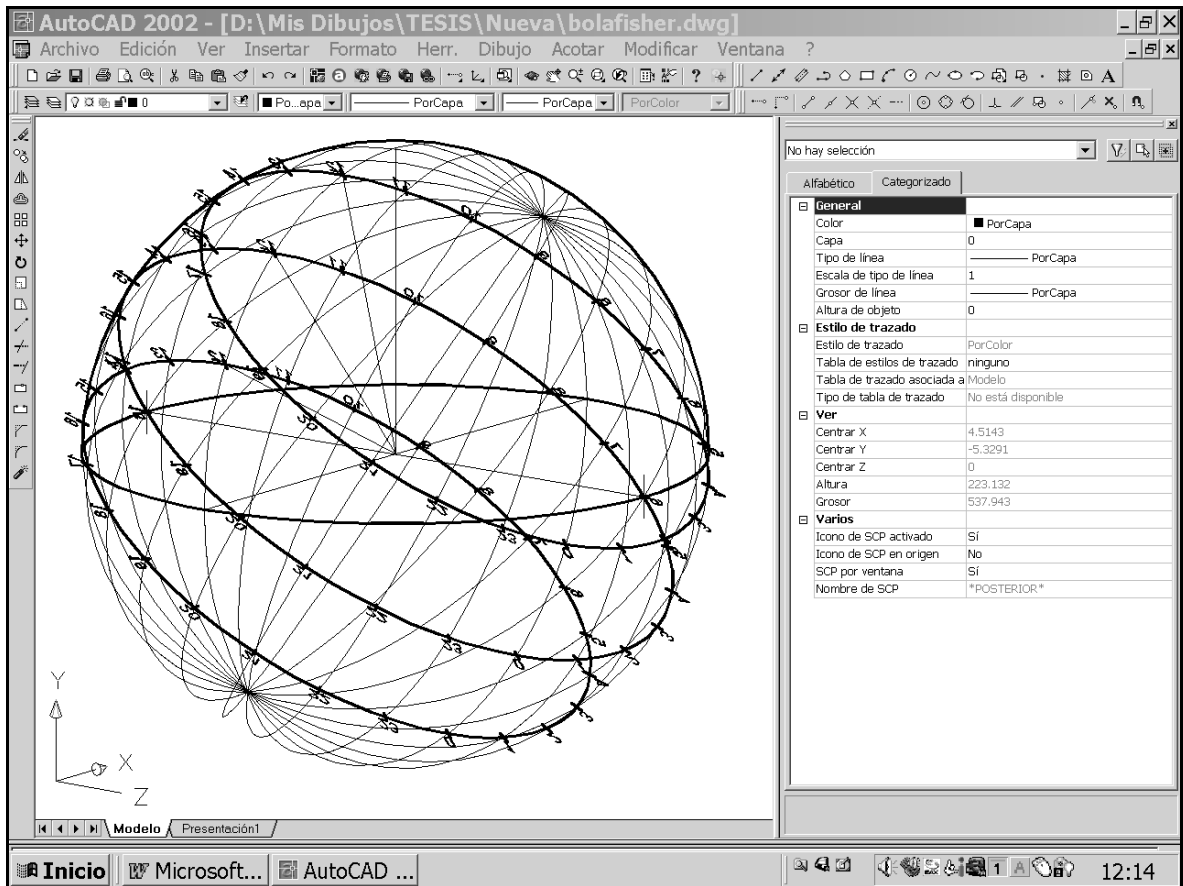


fig. 41: MODELO INFORMATICO DE LA CARTA DE FISHER. AXONOMETRÍA

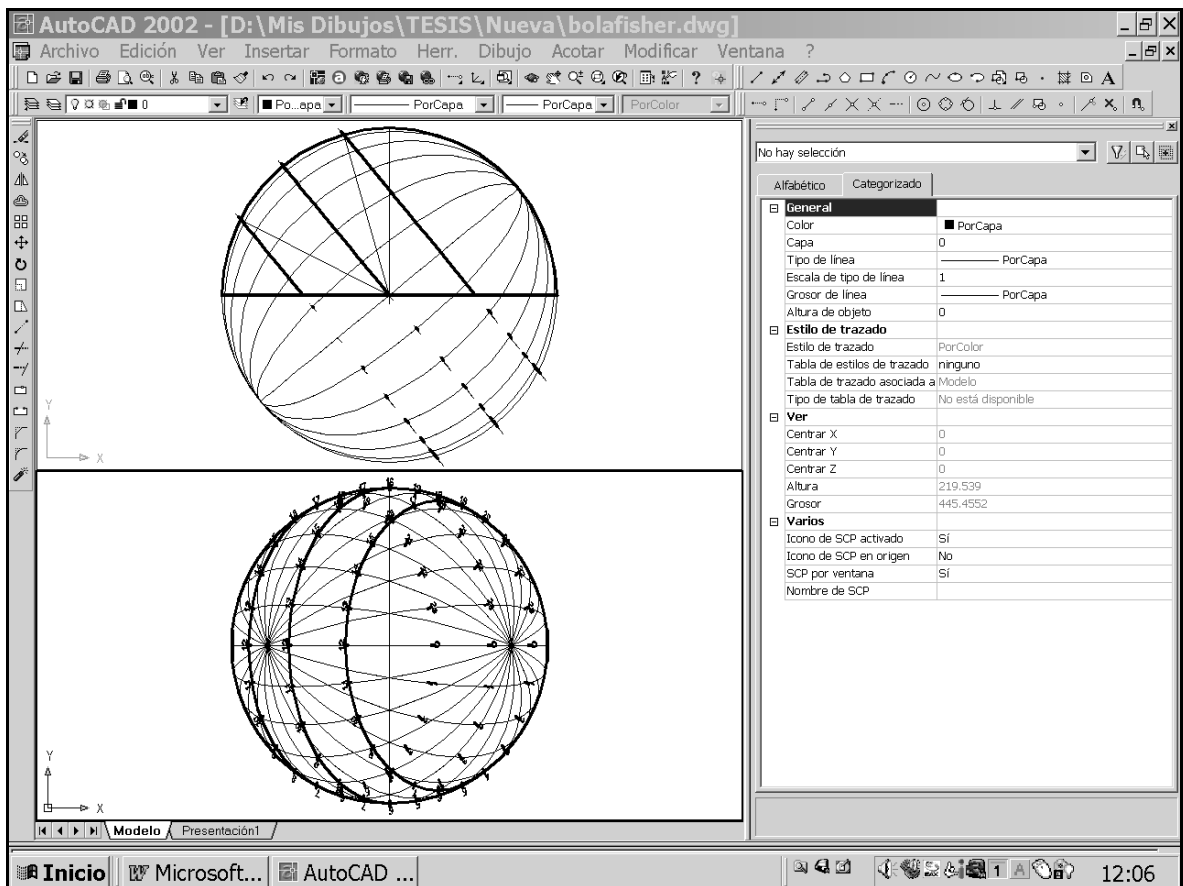


fig. 42: MODELO INFORMATICO DE LA CARTA DE FISHER. PLANTA Y ALZADO

### 2.8.2.2. El diagrama gnomónico

El diagrama gnomónico<sup>16</sup> para el cálculo de soleamiento está basado en la aplicación del sistema gnomónico de proyección.

Dicho sistema queda definido por un plano del cuadro, y un segmento perpendicular a él, el gnomon. El sistema gnomónico permite la representación de las radiaciones de rectas y planos que inciden en el extremo del gnomon, identificados por su traza sobre el plano del cuadro. Se trata por tanto de un sistema de proyección cónica, donde el abatido del gnomon en todas direcciones respecto de su extremo sobre el plano del cuadro, el punto principal, produce un círculo de distancias.

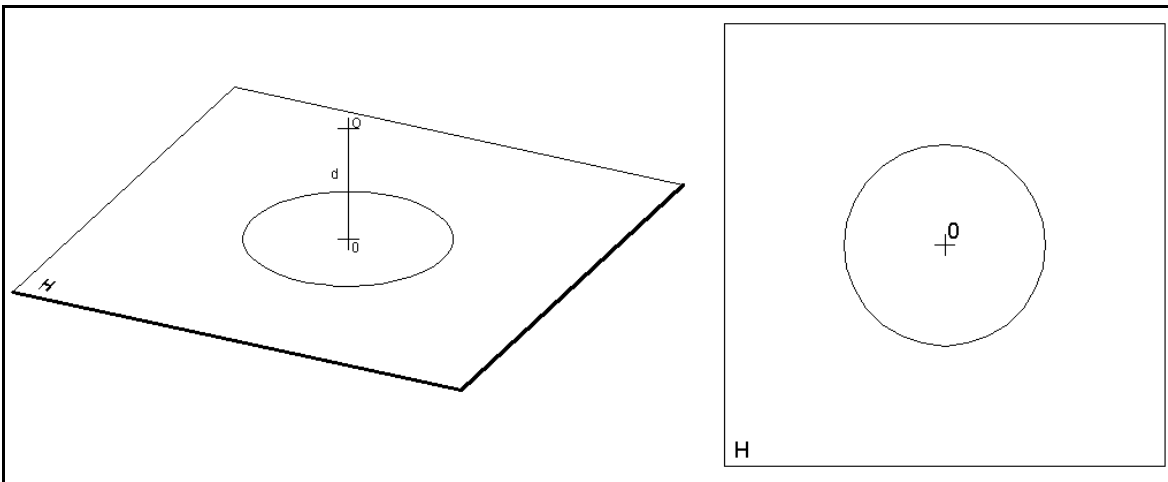


fig. 43: ELEMENTOS DEL SISTEMA GNOMÓNICO

El sistema gnomónico permite medir con gran sencillez el ángulo que una recta o un plano forman con el plano del cuadro, siendo el único dato necesario la posición de la traza de dicho elemento.

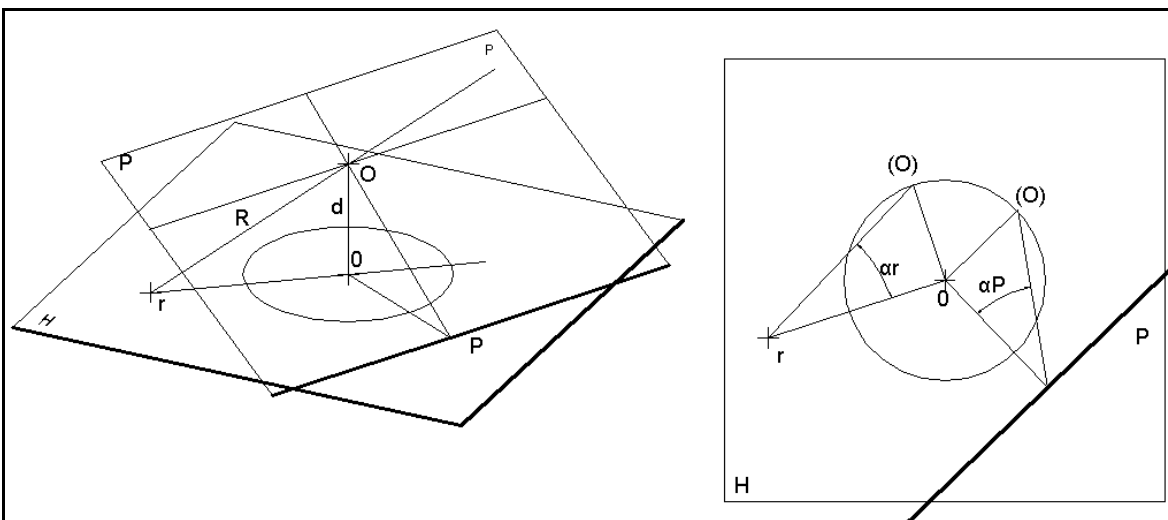


fig. 44: REPRESENTACIÓN DE RECTAS Y PLANOS EN SISTEMA GNOMÓNICO

<sup>16</sup> RAYA ROMÁN, JOSÉ MARÍA. (2001): *Manual de Soleamiento Integral*. Servicio de Publicaciones. Instituto de Ciencias de la Construcción. Sevilla. p71 y ss.



Dado que todos los elementos representados en sistema gnomónico inciden en el extremo del gnomon, el ángulo que forma un elemento cualquiera con el plano del cuadro puede calcularse abatiendo el plano proyectante que lo contiene. En el caso de las rectas, el abatimiento utiliza como charnela la proyección ortogonal de la recta sobre el plano del cuadro, coincidiendo la posición abatida del extremo del gnomon con un punto del círculo de distancias. El ángulo en verdadera magnitud se mide entre el abatido de la recta y su proyección sobre el plano del cuadro. En el caso de la representación de planos se procede de igual modo respecto de la recta de máxima pendiente.

La representación gnomónica de las trayectorias solares produce las cartas solares gnomónicas. En estas representaciones, las trayectorias solares grafiadas sobre la esfera celeste aparecen como secciones planas de conos de revolución, que tienen sus vértices en el centro de proyección, y sus bases son circunferencias sobre la esfera celeste. En el caso de los equinoccios el cono degenera en un plano coincidente con el ecuador celeste. Dichas secciones planas son curvas cónicas, están caracterizadas como circunferencias, elipses, parábolas o hipérbolas en función de la posición relativa de los conos respecto del plano del horizonte, que en este caso sirve de plano del cuadro.

Si el cono tiene dos generatrices paralelas al plano del horizonte, la sección resultante es una hipérbola. Dichas generatrices definen la dirección de las asíntotas a la hipérbola, y marcan la dirección del orto y el ocaso correspondiente al día representado por dicho cono.

Si el cono tiene una sola generatriz paralela al plano del horizonte, la sección resultante es una parábola. Dicha generatriz produce un punto impropio, y se da en el caso de que la circunferencia sobre la esfera celeste que representa al día en cuestión sea tangente al plano del cuadro. A lo largo del día representado, el sol tiene una altura positiva sobre el horizonte, para todos sus puntos, excepto para el punto impropio, siendo nulo el valor de la altura sobre el horizonte en ese instante.

Si el cono no tiene ninguna generatriz paralela al plano de horizonte, la sección resultante es una elipse. En este caso el valor de la altura del horizonte es siempre positivo, por lo que el sol no llega a ponerse sobre el horizonte.

Si la carta gnomónica se calcula para una latitud de  $\pm 90^\circ$ , correspondiente a los polos terrestres, las trayectorias solares se transforman en circunferencias, dado que el eje de la Tierra y eje de revolución de los conos coinciden con la vertical del lugar.

La radiación de planos que representa los valores horarios se definen en proyección gnomónica por sus trazas. El plano correspondiente a las 12h hora solar fija la dirección norte-sur, y los demás planos están separados  $15^\circ$  sexagesimales de este. Dado que el haz de planos tiene por eje una recta paralela al eje de la Tierra, la intersección de dicho eje con el plano del horizonte es punto de paso para las trazas de todos los planos que representan los valores horarios. A continuación se recogen las cartas solares gnomónicas correspondientes a los valores significativos de latitud.

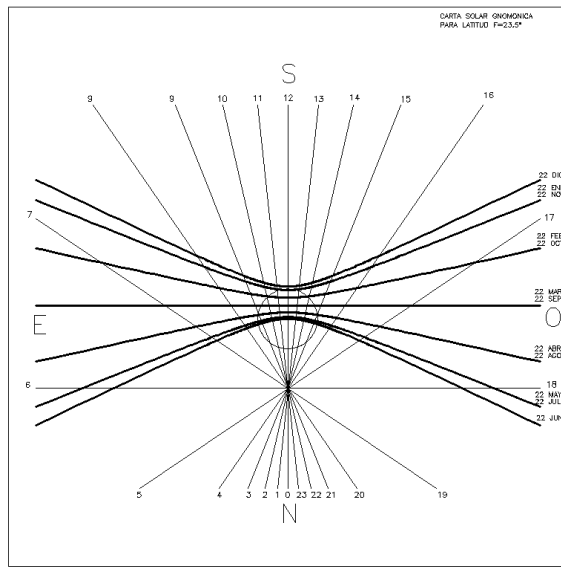
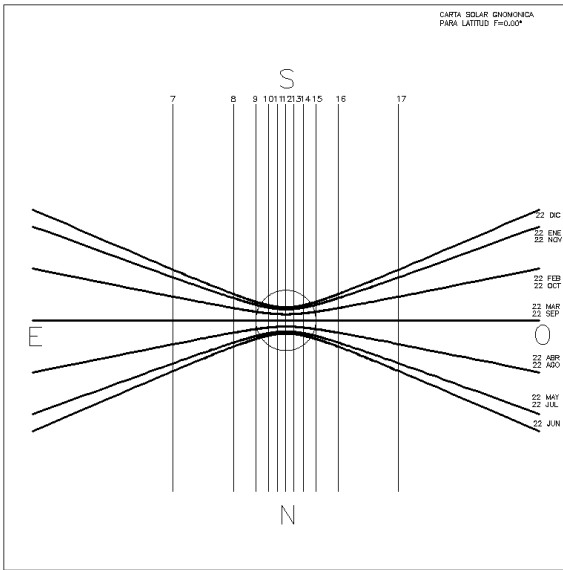


fig. 45: DIAGRAMA GNOMÓNICO PARA LATITUDES 0,00° Y 23°27'

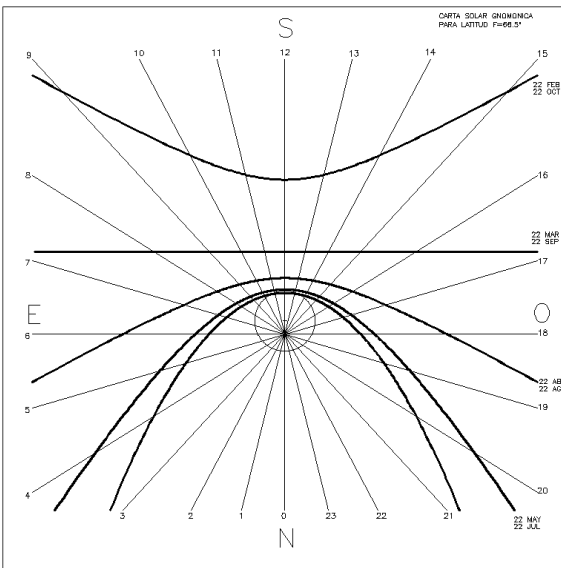
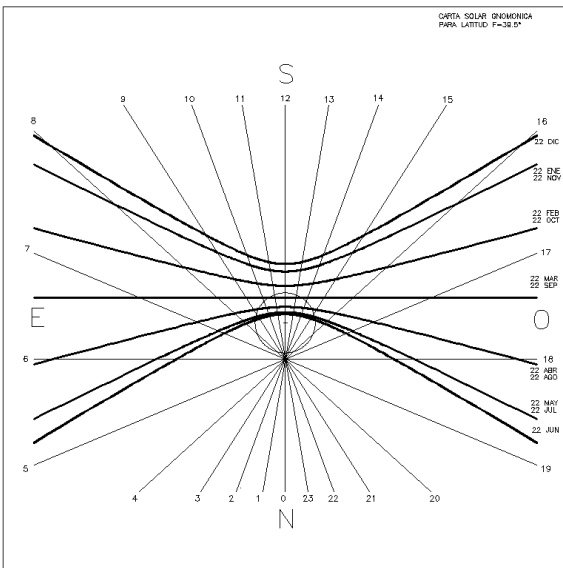


fig. 46: DIAGRAMA GNOMÓNICO PARA LATITUDES 39,30° Y 66°33'

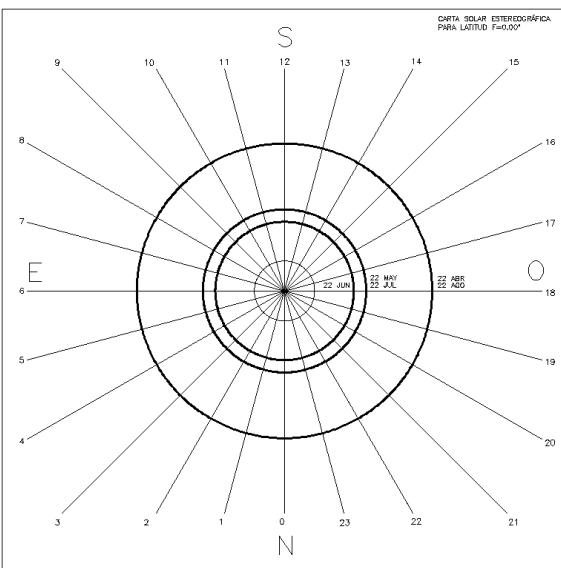
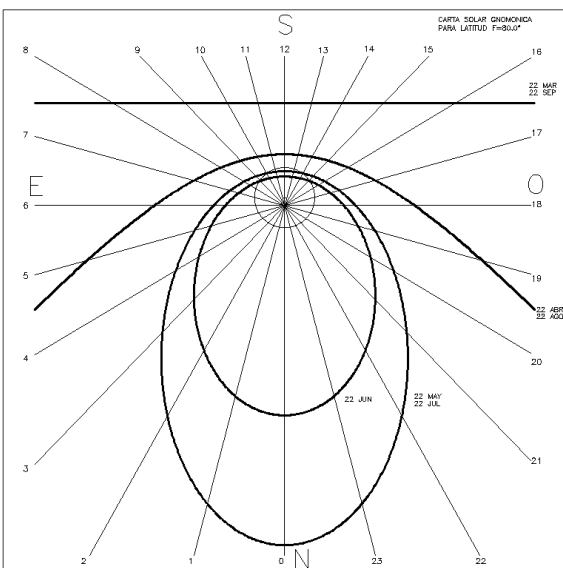


fig. 47: DIAGRAMA GNOMÓNICO PARA LATITUDES 80,00° Y 90,00°

El uso de las cartas solares gnomónicas permite, definida la carta para una latitud concreta, conocer la dirección del vector solar para un día y una hora concretas. En el ejemplo que se recoge a continuación, se muestra la carta solar gnomónica correspondiente a una latitud de 39°30'. Para calcular la dirección del vector solar correspondiente a las 7.00 hora solar del solsticio de verano basta con unir el punto principal del diagrama con el punto que representa dicha fecha y hora. El azimut es el ángulo que dicho segmento forma con la dirección norte del diagrama.

Para calcular la altura sobre el horizonte, se abate el extremo del gnomon sobre el círculo de distancias, trazando una perpendicular a la proyección ortogonal del vector sobre el plano del horizonte. Uniendo el punto que representa la fecha y la hora con el abatido de O, se define la dirección del vector abatido, pudiendo entonces apreciar en verdadera magnitud el ángulo que forma el vector sobre el plano del horizonte.

Para trasladar el vector obtenido a una representación diédrica de un objeto simple, del que se pretenden calcular las sombras arrojadas, basta con grafiar el vector en planta, formando un ángulo igual al azimut respecto de la dirección norte, dándole al vector una longitud arbitraria.

El alzado del vector se calcula dibujando en planta el vector abatido respecto del grafiado, calculando la altura que le corresponde al origen del vector mediante el trazado de una perpendicular. Dicha altura es la diferencia de cota que registra el vector entre su extremo y su origen, y puede trasladarse al alzado.

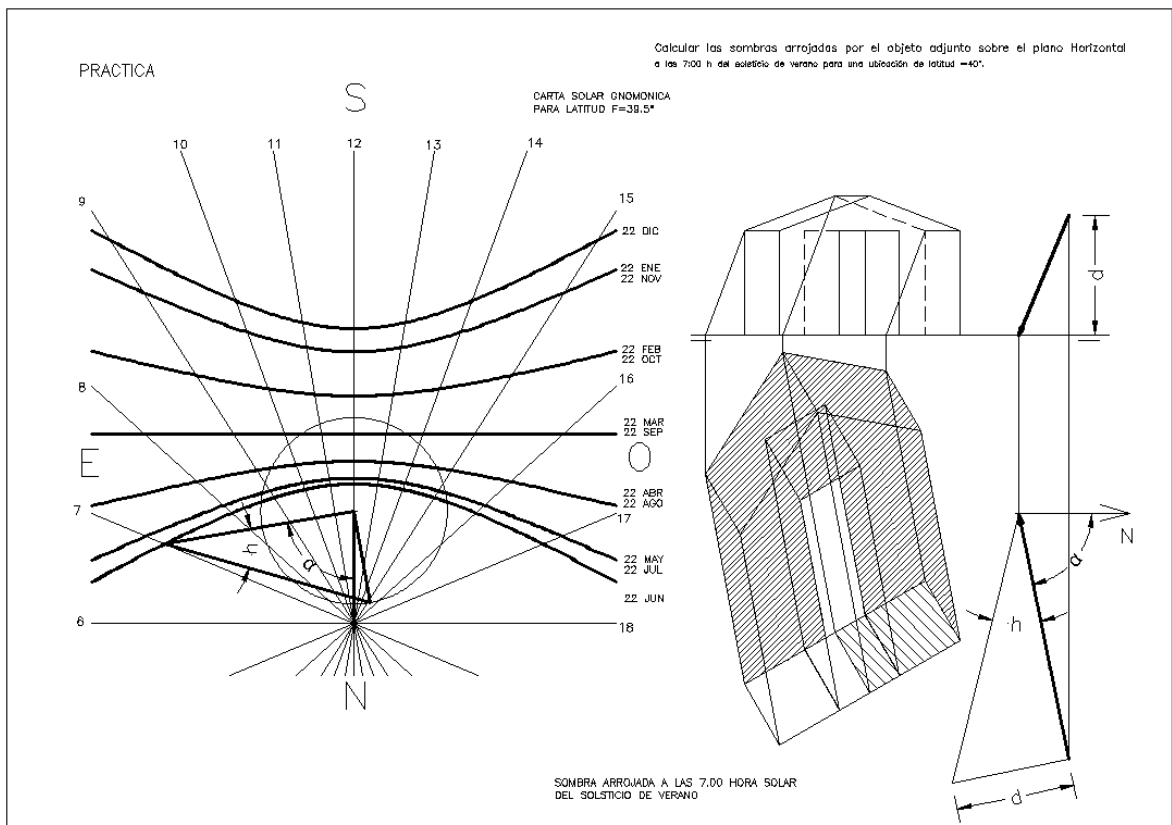


fig. 48: APLICACIÓN PRÁCTICA DEL DIAGRAMA GNOMÓNICO

La carta solar gnomónica para una latitud concreta puede obtenerse por procedimientos informáticos, mediante la utilización de cualquier programa capaz de obtener proyecciones cónicas de representaciones tridimensionales. En el ejemplo que se muestra, se ha modelizado una esfera sobre la que se han grafiado las trayectorias correspondientes a solsticios y equinoccios, además de las trayectorias correspondientes al día 22 de cada mes. También se han grafiado los círculos máximos correspondientes a los meridianos horarios, separados entre sí una distancia de 15° sexagesimales.

La proyección gnomónica, es asimilable a una proyección cónica. En este caso se ha situado el punto de vista en el centro de la esfera, y como plano del cuadro se utiliza un plano horizontal

La imagen correspondiente a la carta gnomónica para una latitud concreta se obtiene girando la esfera celeste sobre el diámetro correspondiente al orto y al ocaso de los equinoccios un ángulo igual a la colatitud del lugar, obteniéndose así una proyección cónica sobre un plano, exportable como archivo de dibujo.

Para hacer operativa la carta solar gnomónica es necesario introducir en la imagen obtenida el círculo de distancias, que puede obtenerse grafiando una perpendicular por el punto principal al arco capaz de 90° que tiene por extremos el punto correspondiente a las 12 hora solar de los equinoccios, y el eje del haz de planos correspondiente a los ángulos horarios.

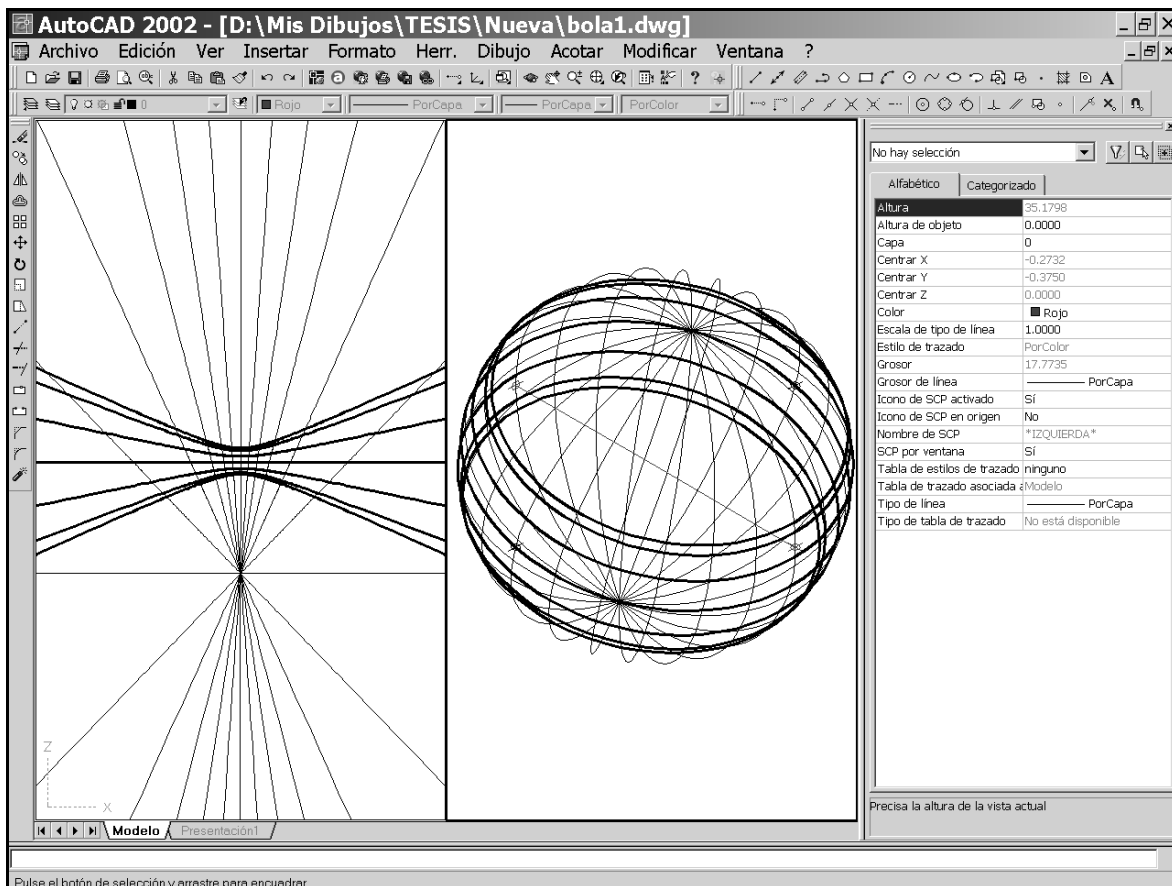


fig. 49: MODELO INFORMÁTICO DEL DIAGRAMA GNOMÓNICO

### 2.8.2.3. La carta solar estereográfica

La carta solar estereográfica<sup>17</sup> utiliza para la representación de la bóveda celeste el sistema de proyección estereográfica. Dicho sistema representa por proyección cónica los puntos situados sobre la superficie de una esfera, utilizando para ello un punto de la propia esfera como centro de proyección, y el plano ecuatorial perpendicular al radio definido por el centro de proyección como plano del cuadro.

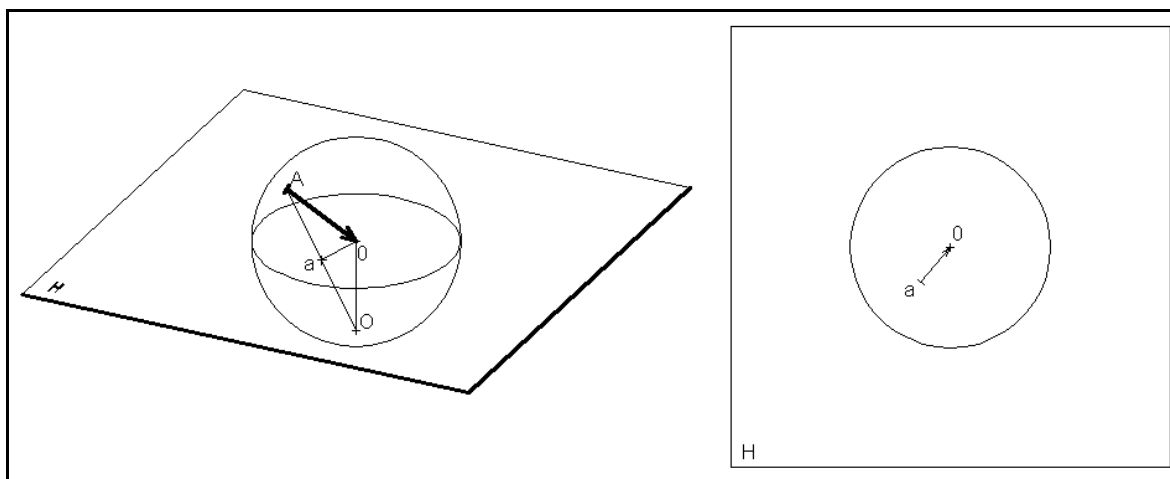


fig. 50: ELEMENTOS DEL SISTEMA DE PROYECCION ESTEREOGRAFICO

Definida la proyección estereográfica de un punto A, sobre la superficie esférica por su imagen sobre el plano del cuadro a, se pueden calcular las coordenadas horizontales de dicho punto por aplicación del procedimiento siguiente:

- el azimut del vector definido por el punto A y el centro de la esfera coincide con el azimut de su proyección estereográfica, dado que el vector se proyecta sobre la traza del plano proyectante sobre el plano del cuadro;
- la altura sobre el horizonte se puede calcular abatiendo en centro de proyección sobre el plano del cuadro. Dado que el centro de proyección se encuentra sobre la superficie de la esfera, su distancia principal coincide con el radio de ésta, y se encuentra en la perpendicular a la proyección del vector.

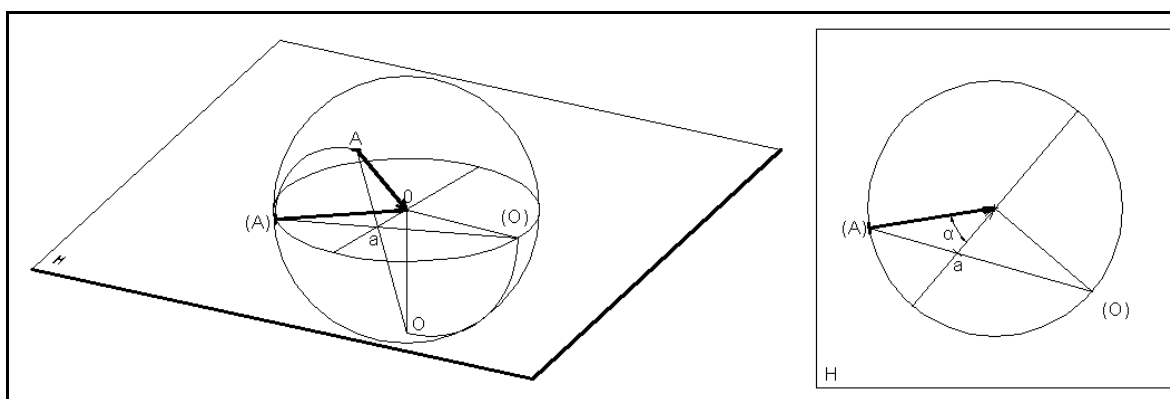


fig. 51: ABATIMIENTO DE UN VECTOR EN SISTEMA DE PROYECCION ESTEREOGRAFICO

<sup>17</sup> SOLER SANZ, F. (1989): *Soleamiento*. Servicio de Publicaciones de la UPV. Valencia. p 85 y ss.

Además de su sencillez operativa, la proyección estereográfica tiene otras características que la hacen especialmente apta para la representación de la esfera celeste. Estas son:

- se trata de una proyección conforme. El ángulo que definen dos líneas sobre la superficie de la esfera al cortarse es el mismo que definen en proyección estereográfica;
- la proyección de una circunferencia situada sobre la esfera, es otra circunferencia situada sobre el plano del cuadro.

Este hecho supone una gran ventaja para la representación de los paralelos y los meridianos celestes, dado que al ser éstos ortogonales en el espacio, lo son también en proyección estereográfica. Las dos familias de circunferencias se proyectan como dos haces de circunferencias ortogonales, cuyos polos resultan de la proyección de los polos norte y sur celestes.

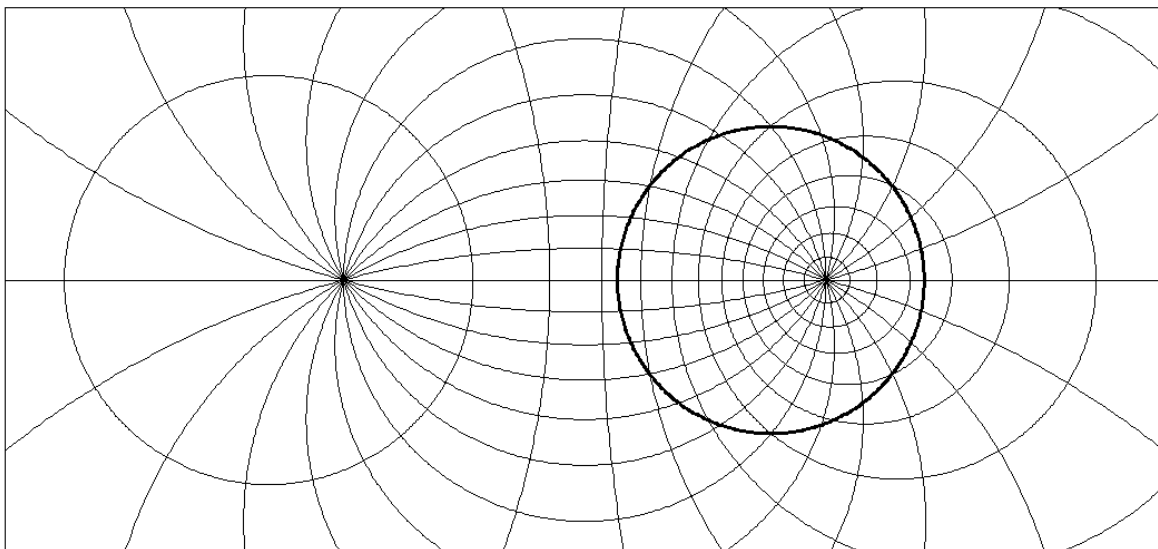


fig. 52: PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LA RED DE MERIDIANOS Y PARALELOS CELESTES

En la representación se aprecia la red completa de meridianos y paralelos celestes, siendo los meridianos las circunferencias que pasan por la proyección de los polos norte y sur celeste; y los paralelos, las circunferencias ortogonales a los meridianos.

Atendiendo a las necesidades de representación de la carta solar estereográfica, lo habitual es representar exclusivamente el hemisferio correspondiente a las trayectorias diurnas; por lo que la carta solar queda limitada por la sección producida en la esfera por el plano del horizonte.

La carta solar correspondiente a una latitud concreta resulta de la proyección de la esfera celeste, en la que el ecuador celeste forma un ángulo con el plano del horizonte igual a la colatitud del lugar. A continuación se muestran las cartas solares correspondientes a valores significativos de latitud.

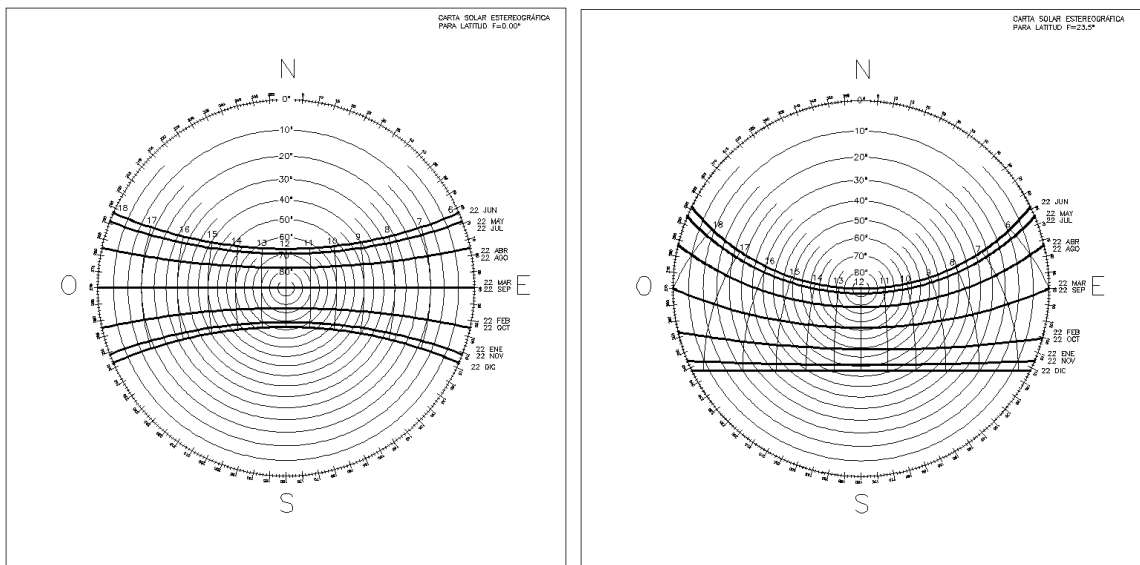


fig. 53: CARTAS SOLARES ESTEREOGRÁFICAS PARA LATITUDES 0.00° Y 23°27'

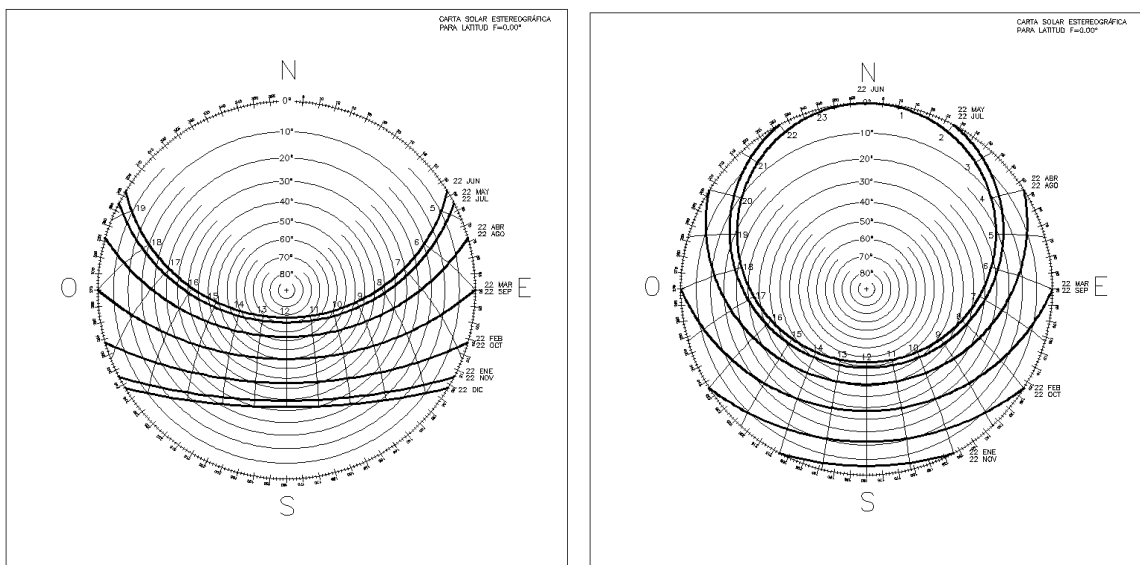


fig. 54: CARTAS SOLARES ESTEREOGRÁFICAS PARA LATITUDES 39°30' Y 66°33'

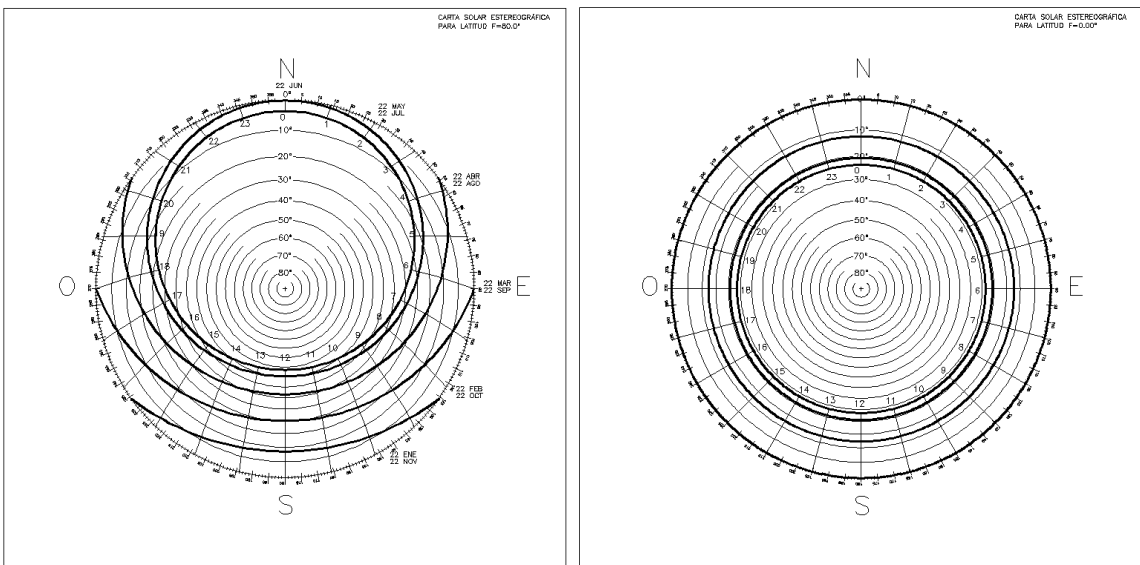


fig. 55: CARTAS SOLARES ESTEREOGRÁFICAS PARA LATITUDES 80,00° Y 90,00°

El uso de las cartas solares estereográficas permite conocer la dirección del vector solar para un día y una hora concreta, siempre que se haya definido la carta para una latitud determinada. En el ejemplo que se recoge a continuación se muestra la carta solar estereográfica correspondiente a una latitud de 39°30'. Para calcular la dirección del vector solar correspondiente a las 7.00 hora solar del solsticio de verano, basta con unir el punto principal del diagrama con el punto que representa dicha fecha y hora. El azimut es el ángulo que éste segmento forma con la dirección norte del diagrama.

Para calcular la altura sobre el horizonte, se abate el vector solar sobre el plano del horizonte, trazando una perpendicular a la proyección ortogonal del vector por el centro del diagrama. Dicha perpendicular define la posición del centro de proyección abatido sobre el círculo de distancias, que coincide con la intersección de la esfera celeste con el plano del horizonte. Uniendo el punto que representa la fecha y la hora con el abatido de O, se define el punto origen del vector sobre la sección abatida de la esfera. La altura sobre el horizonte es el ángulo que forma el vector abatido con su proyección sobre el plano del cuadro.

Para trasladar el vector obtenido a una representación diédrica de un objeto simple, del que se pretenden calcular las sombras arrojadas, basta con grafiar el vector en planta, formando un ángulo igual al azimut respecto de la dirección norte, asignando al vector una longitud  $d$ , igual a su proyección ortogonal sobre el plano del cuadro. El alzado del vector puede calcularse por correspondencia diédrica de los puntos origen y extremo que definen el vector. La diferencia de cota que registra el vector entre su extremo y su origen,  $h$  se traslada al alzado, quedando así definida su dirección en alzado.

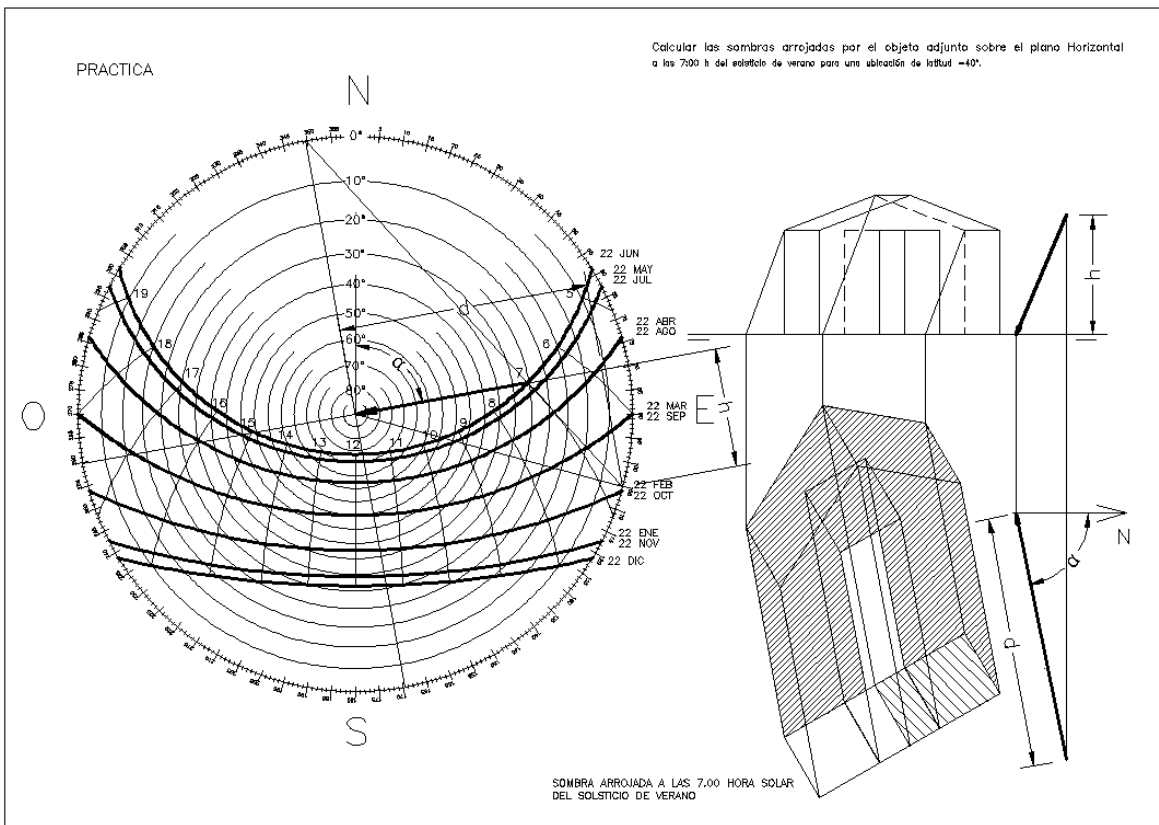


fig. 56: APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA CARTA SOLAR ESTEREOGRÁFICA



La carta solar estereográfica para una latitud concreta, puede obtenerse por procedimientos informáticos, mediante la utilización de cualquier programa capaz de obtener proyecciones cónicas de representaciones tridimensionales. En el ejemplo que se muestra, se ha modelizado una esfera sobre la que se han grafiado las trayectorias correspondientes a solsticios y equinoccios, además de las trayectorias correspondientes al día 22 de cada mes. También se han grafiado los círculos máximos correspondientes a los meridianos horarios, separados entre sí por una distancia de  $15^\circ$  sexagesimales.

La proyección estereográfica, es asimilable a una proyección cónica. En este caso se ha situado el punto de vista sobre un punto de la esfera, y como plano del cuadro se utiliza el plano ecuatorial perpendicular al radio definido por el punto de vista y el centro de la esfera.

La imagen correspondiente a la carta estereográfica para una latitud concreta, se obtiene girando la esfera celeste sobre el diámetro correspondiente al orto y al ocaso de los equinoccios un ángulo igual a la colatitud del lugar respecto del plano del ecuador celeste. De esta manera se obtiene una proyección cónica sobre un plano, exportable como archivo de dibujo.

Situando sobre el plano del cuadro un círculo graduado en grados sexagesimales, se puede calcular el azimut de un punto cualquiera con suma facilidad. Además, los puntos interiores de dicho círculo, por tener un valor positivo de altura sobre el horizonte, limitan en su interior los arcos diurnos correspondientes a las trayectorias solares.

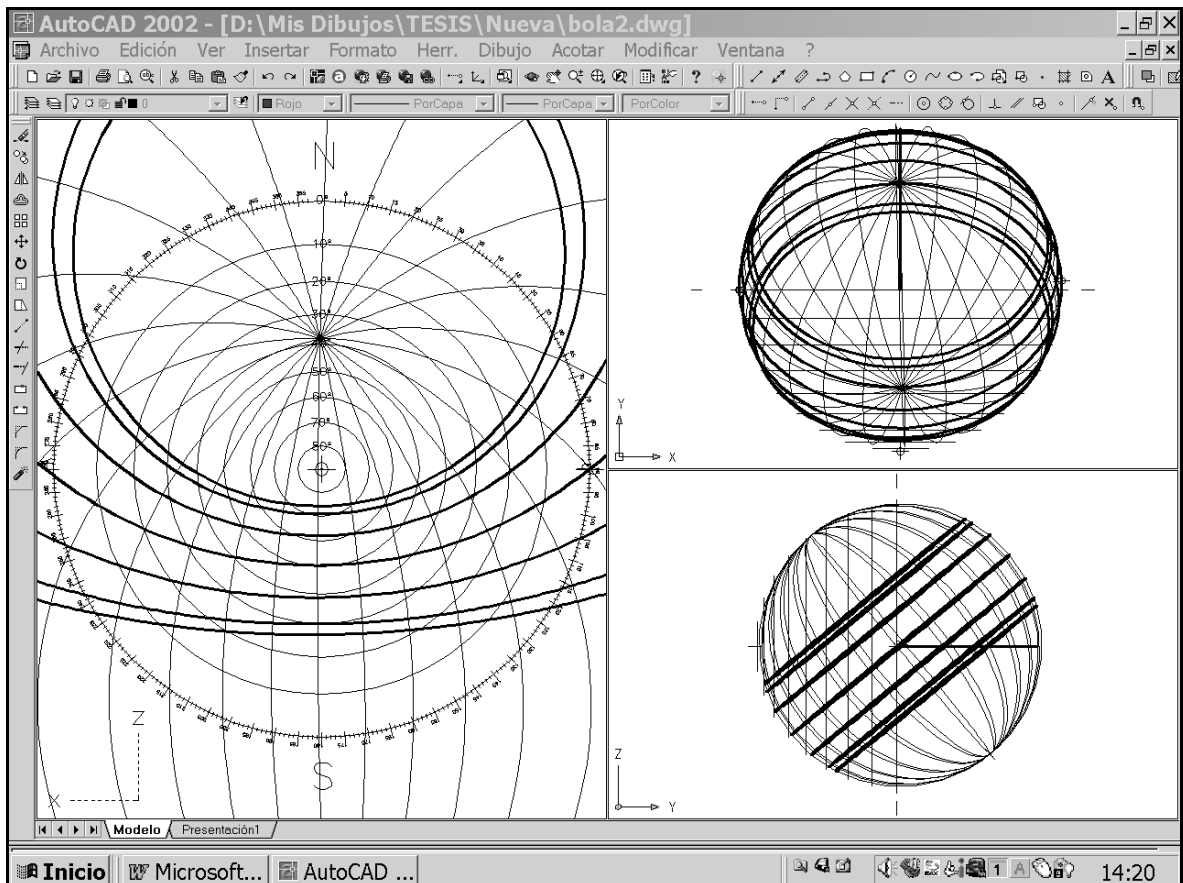


fig. 57: MODELO INFORMÁTICO DE LA CARTA SOLAR ESTEREOGRÁFICA

### 2.8.2.4. La carta solar de Ruiz Aizpiri

La carta solar de Ruiz Aizpiri<sup>18</sup> también utiliza el sistema de proyección estereográfica para la representación de la bóveda celeste. Se trata pues de una variante de la carta solar estereográfica, que plantea respecto a ésta algunas ventajas.

El punto de vista de la proyección estereográfica no se corresponde con el nadir del lugar, sino que está situado en el punto correspondiente al orto en los equinoccios, que fija la dirección este. De este modo las trayectorias solares correspondientes a distintas latitudes, producen imágenes iguales sobre el plano del cuadro, siendo la única diferencia el giro correspondiente al cambio de latitud.

Con el fin de obtener valores de azimut y altura sobre el horizonte para un punto cualquiera del diagrama, se proyecta sobre el plano del cuadro la red de verticales y almicanarates de las coordenadas horizontales sobre la esfera celeste. Dado que estas coordenadas son locales y no dependen de la latitud del lugar, producirán siempre la misma imagen en todas las latitudes

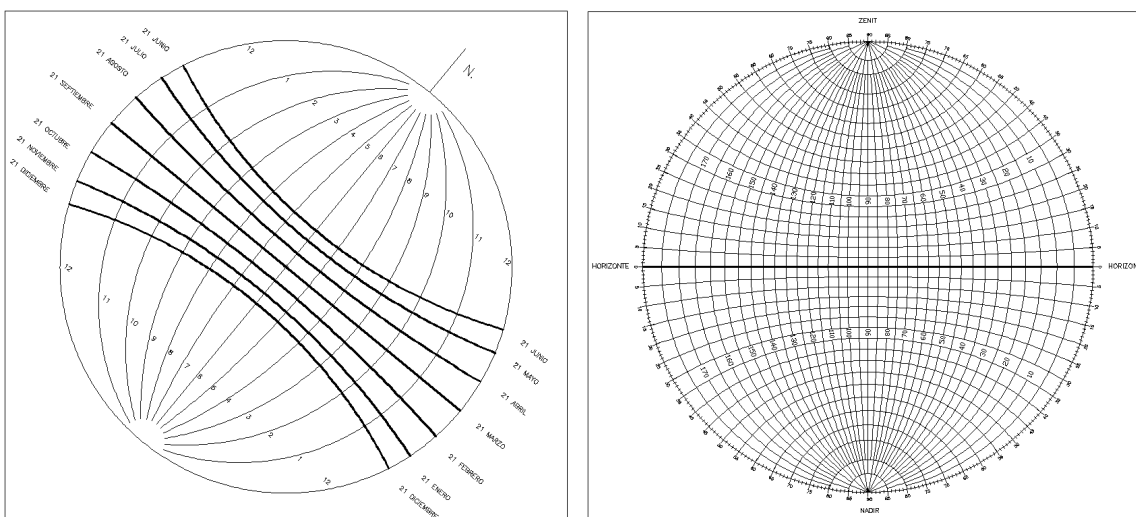


fig. 58: DIAGRAMAS DE TRAYECYORIAS Y DE COORDENADAS DE LA CARTA SOLAR DE RUIZ AIZPIRI

La carta solar de Ruiz Aizpiri resulta de la superposición de los dos diagramas anteriores, variando únicamente el ángulo que el ecuador celeste forma respecto del plano del horizonte. El valor de dicho ángulo es igual a la colatitud del lugar.

Cabe destacar que el valor obtenido por lectura sobre la carta de Ruiz Aizpiri es un valor numérico, por lo que su exactitud depende de la resolución con la que esté definida la red de verticales y almicanarates. Por tanto, en el caso de que el punto estudiado para la definición del vector solar no se corresponda exactamente con algún punto definido en la intersección entre un vertical y un almicanarate, será necesario interpolar líneas para su correcta definición. A continuación se muestran las cartas solares de Ruiz Aizpiri correspondientes a valores significativos de latitud.

<sup>18</sup> RUIZ AIZPIRI, J.M. (1980): *Geometría Descriptiva*. Editorial Latina. Madrid. p 317 y ss.

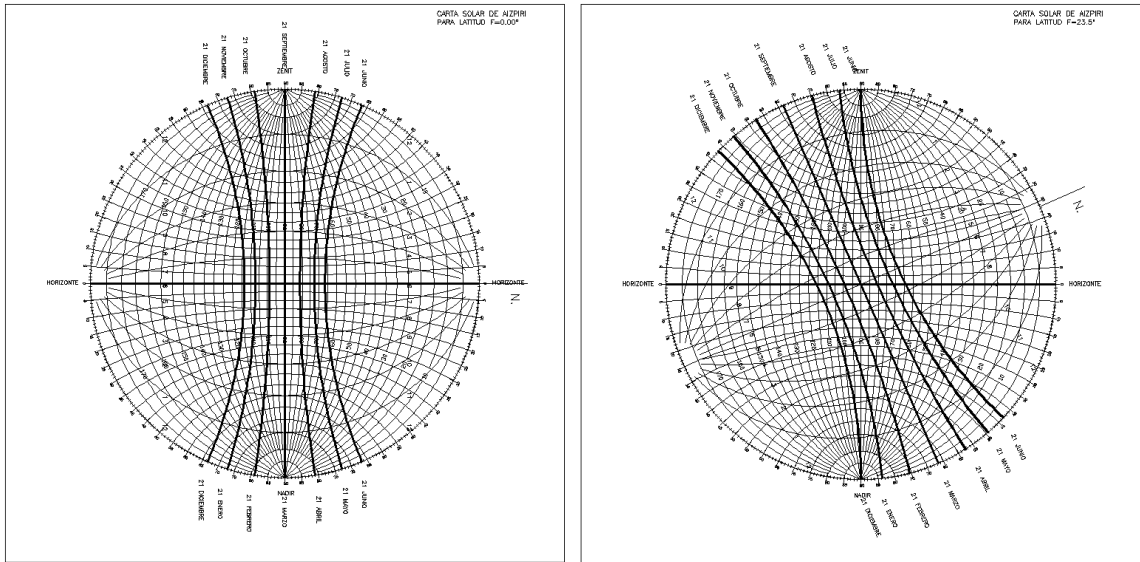


fig. 59: CARTAS SOLARES DE RUIZ AIZPIRI PARA LATITUDES 0°00' Y 23°27'

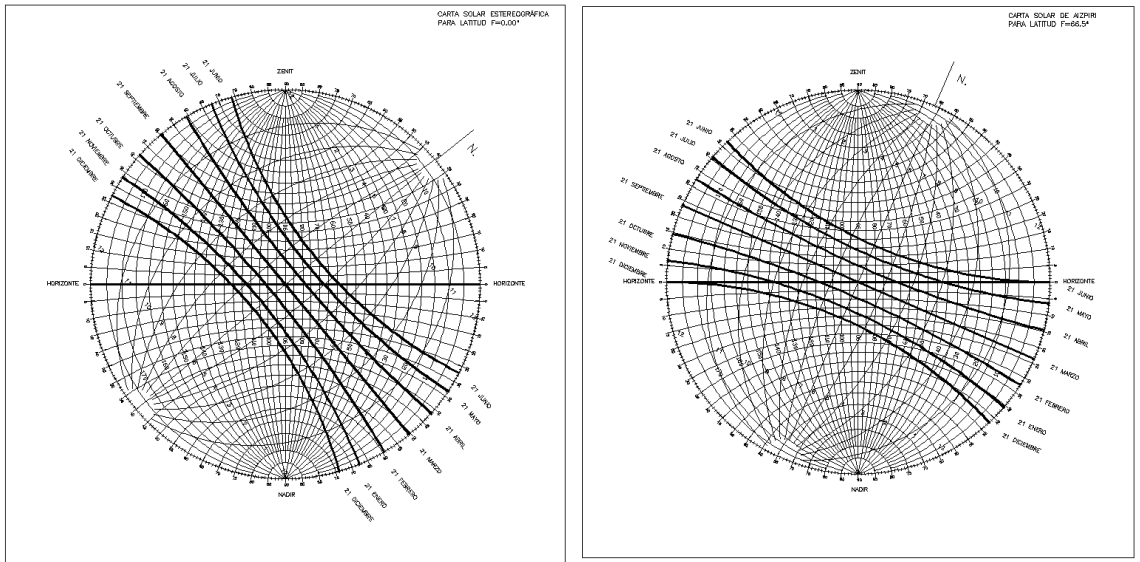


fig. 60: CARTAS SOLARES DE RUIZ AIZPIRI PARA LATITUDES 39°30' Y 66°33'

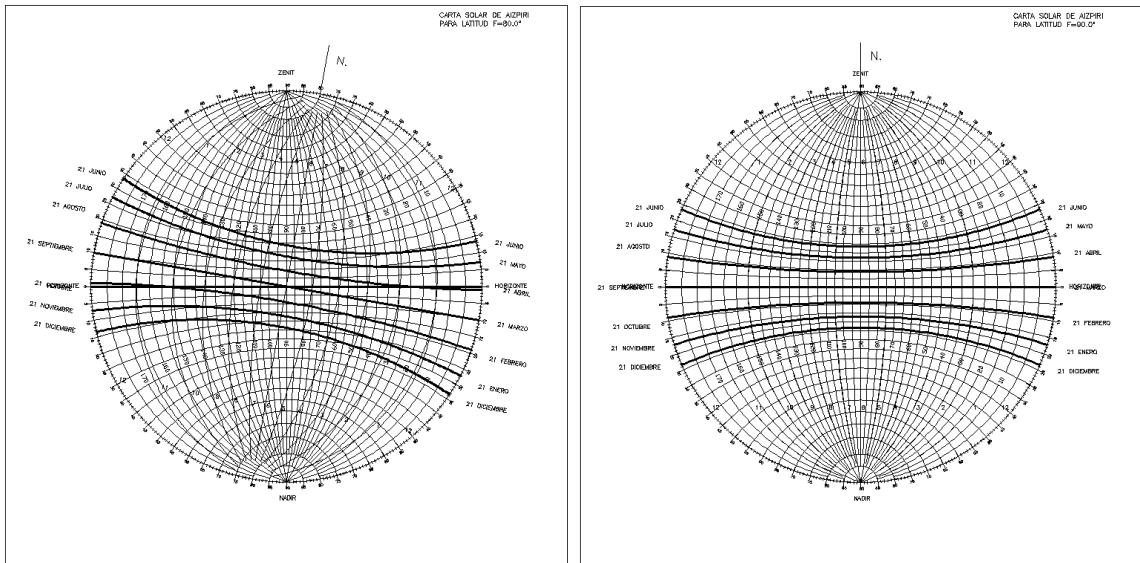


fig. 61: CARTAS SOLARES DE RUIZ AIZPIRI PARA LATITUDES 80,00° Y 90,00°

El uso de la carta solar de Ruiz Aizpiri permite, definida la carta para una latitud concreta, conocer las coordenadas angulares del vector solar para un día y una hora concretos. En el ejemplo que se recoge a continuación, se muestra la carta solar de Ruiz Aizpiri correspondiente a una latitud de 39°30'. Para calcular las coordenadas angulares del vector solar correspondiente a las 7.00 hora solar del solsticio de verano, basta con localizar sobre la carta el punto que identifica dicha fecha y hora, y leer sobre las escalas de los círculos verticales y almicanarates, los valores de azimut y altura sobre el horizonte que le corresponde.

Para convertir los datos numéricos obtenidos por lectura de las escalas en un vector, basta con trazar una recta que forme un ángulo igual al azimut respecto de la dirección norte. Situando sobre ésta un vector de magnitud arbitraria, se puede abatir el vector sobre el plano del horizonte trazando una recta concurrente con el extremo del vector que forme un ángulo con éste igual a la altura sobre el horizonte. La perpendicular a la proyección en planta del vector, trazada desde su origen intercepta el extremo del vector en verdadera magnitud y proporciona la altura del origen.

La definición del vector en alzado se realiza por identificación diédrica de su origen y extremo, siendo su diferencia de cota entre ellos el valor  $h$ , medido sobre el vector abatido.

En el ejemplo se muestra la sombra arrojada por un objeto simple por aplicación de la carta solar de Ruiz Aizpiri.

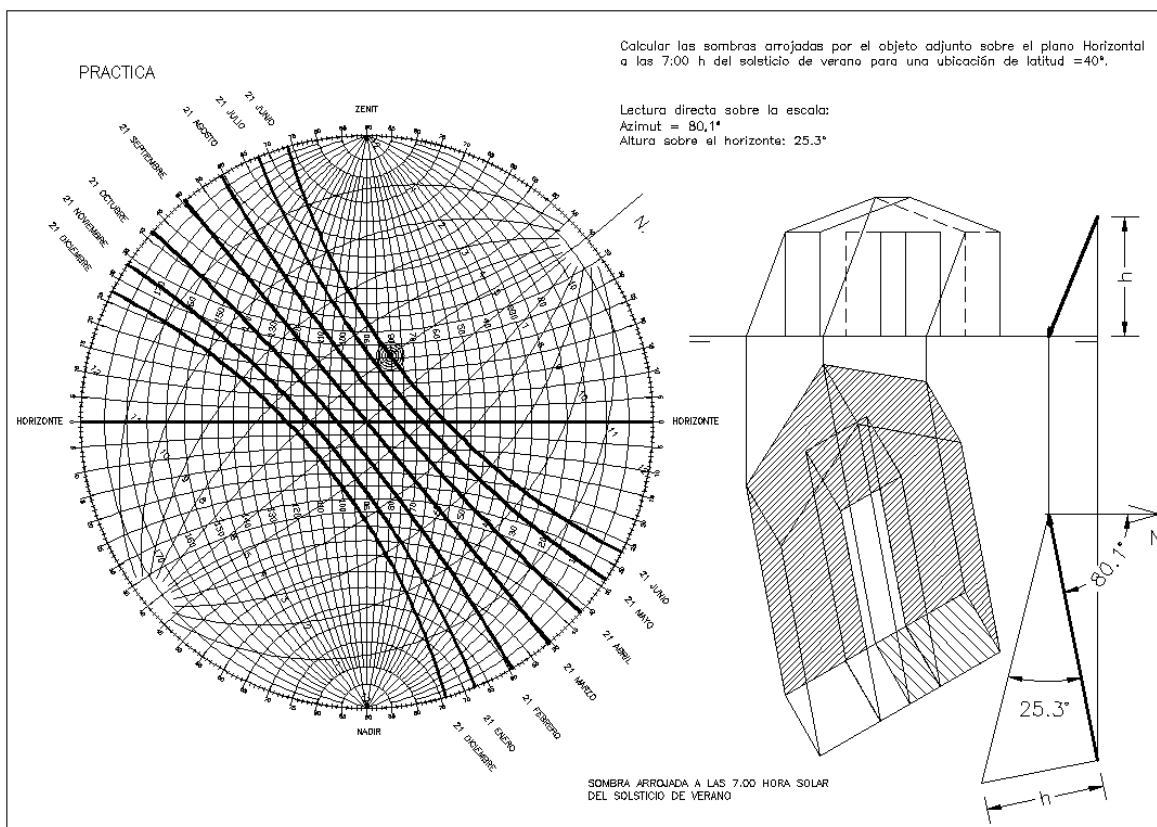


fig. 62: APLICACIÓN PRÁCTICA DE LA CARTA SOLAR DE RUIZ AIZPIRI

### 2.8.2.5. La carta solar cilíndrica

La carta solar cilíndrica<sup>19</sup> utiliza el sistema de proyección cónico para la representación de la bóveda celeste, se sirve como centro de proyección del centro de la bóveda celeste y como superficie de cuadro, un cilindro de revolución cuyo eje coincide con la vertical del lugar y es tangente a la bóveda celeste en el círculo del horizonte. El cilindro que actúa como superficie del cuadro debe ser desarrollado sobre un plano, con el fin de hacer observable la imagen obtenida por proyección sobre su superficie.

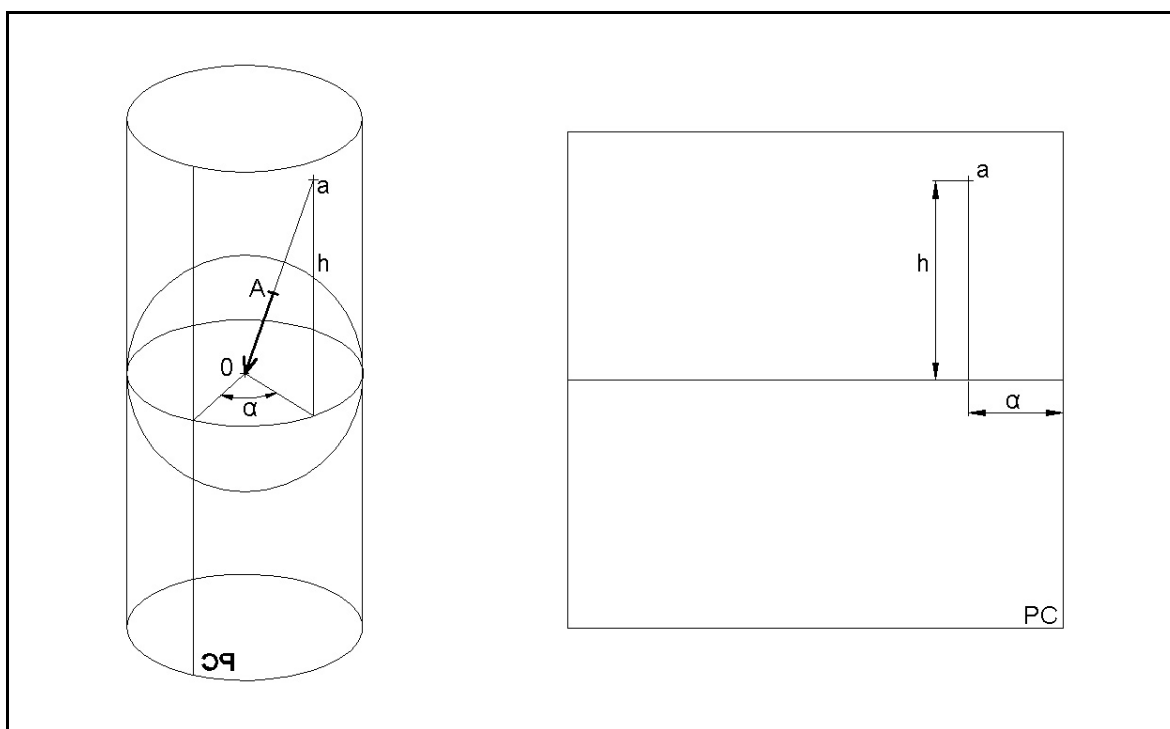


fig. 63: ELEMENTOS DEL SISTEMA CILÍNDRICO DE PROYECCIÓN

Un punto (A) situado sobre la esfera celeste queda proyectado sobre la superficie interior del cilindro, (a) que al ser desarrollado permite localizar sobre su superficie las coordenadas de azimuth ( $\alpha$ ) y de altura sobre el horizonte (h) que identifican la proyección. La escala del azimuth resulta de desarrollar la circunferencia de tangencia entre el cilindro y la bóveda celeste, dado que se trata de la sección plana común a ambas cuádricas. La escala de la altura sobre el horizonte es una escala lineal afectada por el valor de la tangente del ángulo que representa.

La carta solar cilíndrica no puede representar el punto sobre la esfera celeste que se encuentra sobre la vertical del lugar, dado que dicho punto no tiene imagen sobre la superficie del cilindro, por ser su rayo proyectante paralelo al eje de éste. La representación del zenit del lugar sobre una carta cilíndrica obligaría a utilizar una escala vertical de longitud infinita. Por ello, los puntos con altura del horizonte próxima a la vertical del lugar, no aparecen representados en las cartas cilíndricas. Así, lo habitual es restringir a 75° sexagesimales las alturas sobre el horizonte representables en las cartas

<sup>19</sup> MARZRIA, E. (1983): *El Libro de la Energía Solar Pasiva*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.

cilíndricas. A continuación se muestran, a modo de ejemplo, las cartas cilíndricas correspondientes a los lugares de latitud significativa.

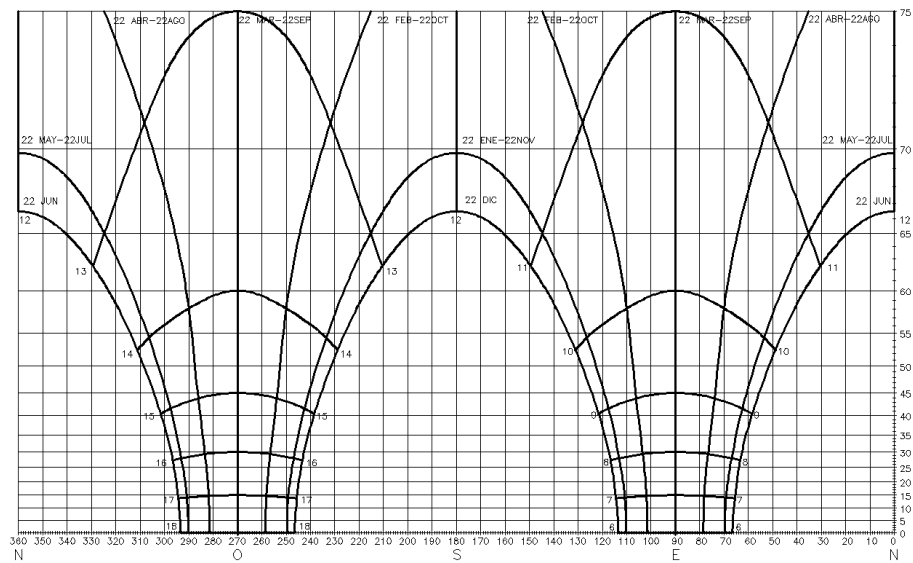


fig. 64: CARTA SOLAR CILÍNDRICA PARA UNA LATITUD DE 0.00°

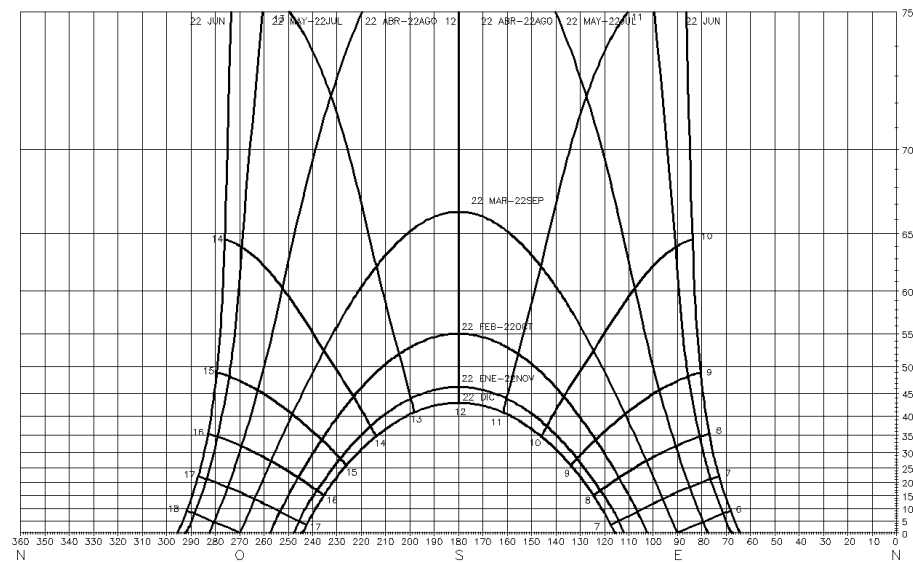


fig. 65: CARTA SOLAR CILÍNDRICA PARA UNA LATITUD DE 23°27'

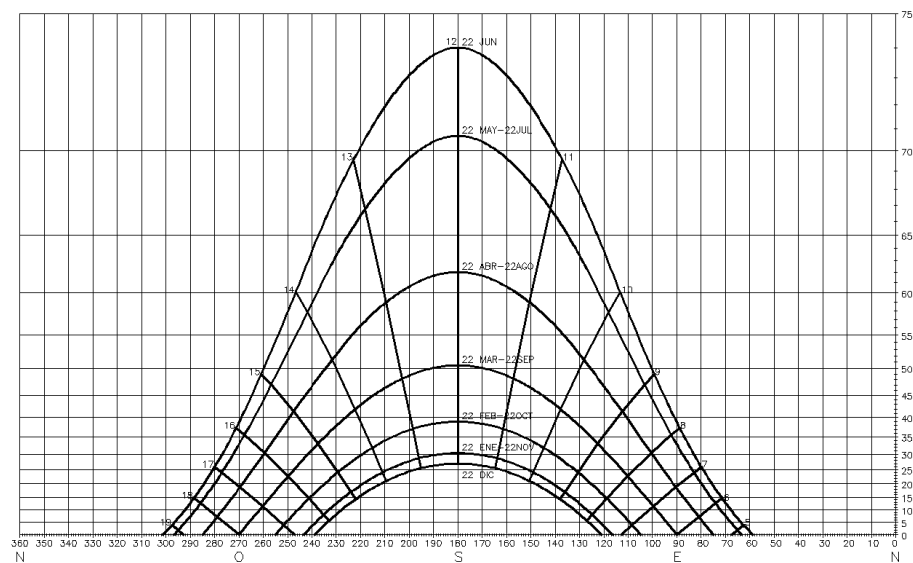


fig. 66: CARTA SOLAR CILÍNDRICA PARA UNA LATITUD DE 39°30'

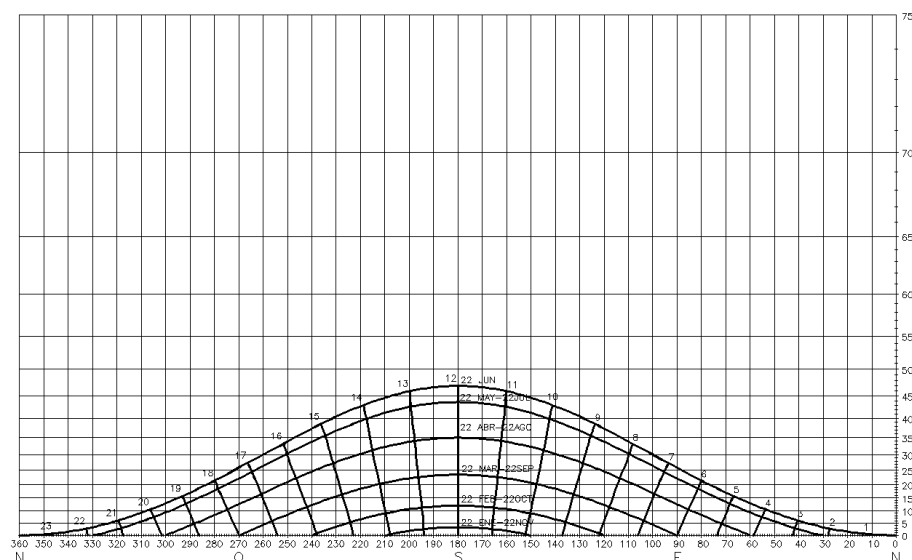


fig. 67: CARTA SOLAR CILÍNDRICA PARA UNA LATITUD DE 66°33'

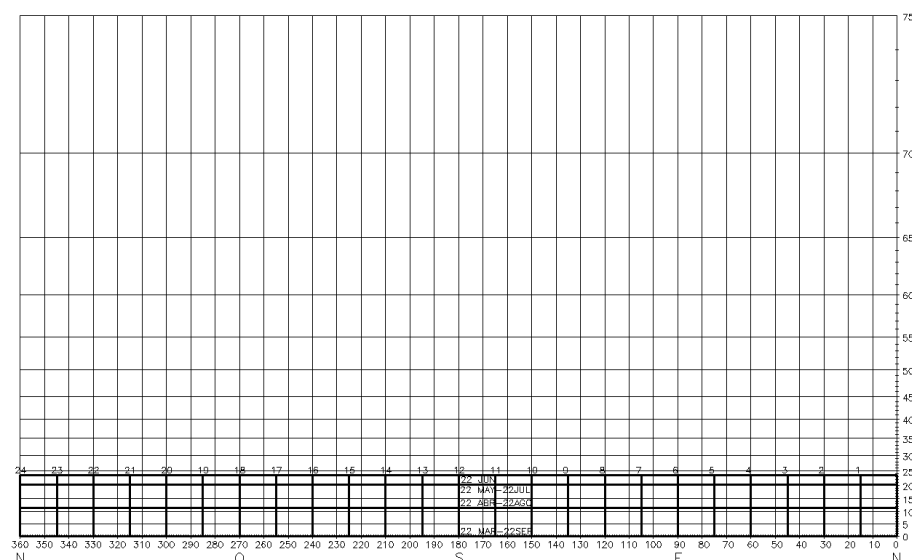


fig. 68: CARTA SOLAR CILÍNDRICA PARA UNA LATITUD DE 90.0°

El uso de la carta solar cilíndrica permite, definida para una latitud concreta, conocer las coordenadas angulares del vector solar para un día y una hora concretos. En el ejemplo que se recoge a continuación se muestra la carta solar cilíndrica correspondiente a una latitud de 39°30'. Para calcular las coordenadas angulares del vector solar correspondiente a las 7.00h solares del solsticio de verano, basta localizar sobre la carta el punto que identifica dicha fecha y hora, y leer sobre las escalas los valores de azimut y altura sobre el horizonte que le corresponden.

Para convertir los datos numéricos obtenidos por lectura de las escalas en un vector basta con trazar una recta que forme un ángulo igual al azimut respecto de la dirección norte. Situando sobre ella un vector de longitud arbitraria, se puede abatir el vector sobre el plano del horizonte trazando una recta concurrente con el extremo del vector que forme un ángulo con este igual a su altura sobre el horizonte. La perpendicular a la proyección en planta del vector trazada desde su origen intercepta el extremo del vector en verdadera magnitud y proporciona la altura del origen.

La definición del vector en alzado se realiza por identificación diédrica de su origen y extremo, siendo la diferencia de cota entre éstos el valor  $h$ , medido sobre el vector abatido.

En el ejemplo se muestra la sombra arrojada por un objeto simple por aplicación de la carta solar cilíndrica.

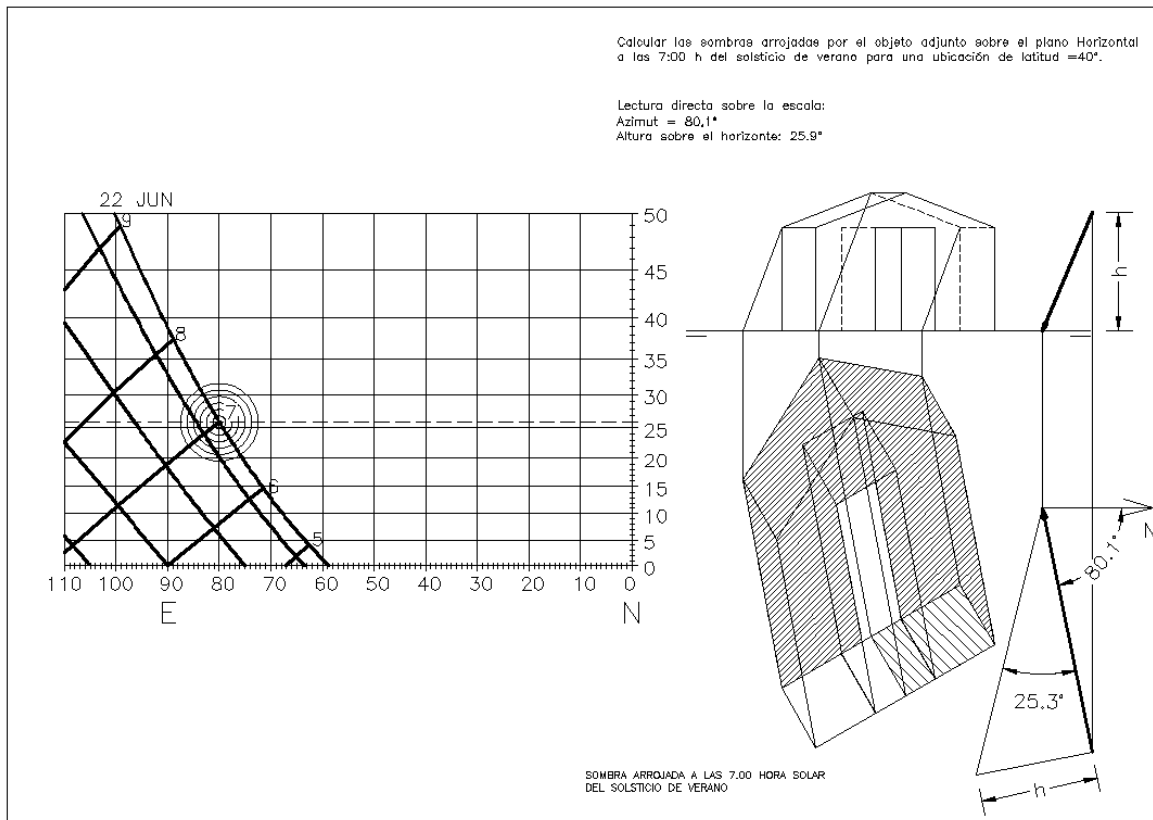


fig. 69: APLICACIÓN DE LA CARTA SOLAR CILINDRICA

Cabe destacar que el valor obtenido por lectura sobre la carta cilíndrica, del mismo modo que sucedía con la carta de Ruiz Aizpiri es un valor numérico. Así pues, su exactitud depende de la resolución con la que estén definidas las escalas de azimut y altura sobre el horizonte y será necesario interpolar líneas de posición en el caso de que el punto estudiado para la definición del vector solar no se corresponda exactamente con un punto definido por el corte de dos líneas de posición.

Otra dificultad añadida al uso de la carta solar cilíndrica es que la operación de desarrollo del cilindro que se utiliza como superficie del cuadro no puede realizarse por proyección; por lo que hay que recurrir a operaciones numéricas como paso intermedio para la obtención de la carta solar.

Las dificultades anteriormente mencionadas hacen que el ámbito de aplicación de la carta solar cilíndrica, esté enfocado fundamentalmente a la obtención de obstrucciones solares, como se verá en capítulos posteriores.



## 2.8.3. Procedimientos informáticos para el cálculo del vector solar

Las aplicaciones informáticas específicas, ya sean numéricas o gráficas, dada su capacidad y velocidad de cálculo permiten conocer información sobre las coordenadas del vector solar. A continuación se muestran dos ejemplos de aplicaciones informáticas que proveen información suficiente para la definición del vector solar.

### 2.8.3.1. Programas de Cálculo Astronómico

Los programas de cálculo astronómico están enfocados a la obtención de imágenes de la esfera celeste, en la que se define la posición de los astros para una ubicación geográfica y una hora concretas. Dado que el Sol es una estrella, la más próxima a la Tierra, su proyección aparece recogida en la imagen de la bóveda celeste y el programa puede dar información sobre su posición a partir de sus coordenadas.

La mayoría de programas de cálculo astronómico permiten además de la obtención de imágenes fijas, la obtención de imágenes sucesivas de la esfera celeste, con intervalos de tiempo predefinidos, lo cual permite seguir sobre la esfera celeste la evolución de un astro en el periodo estudiado, mostrando así su trayectoria.

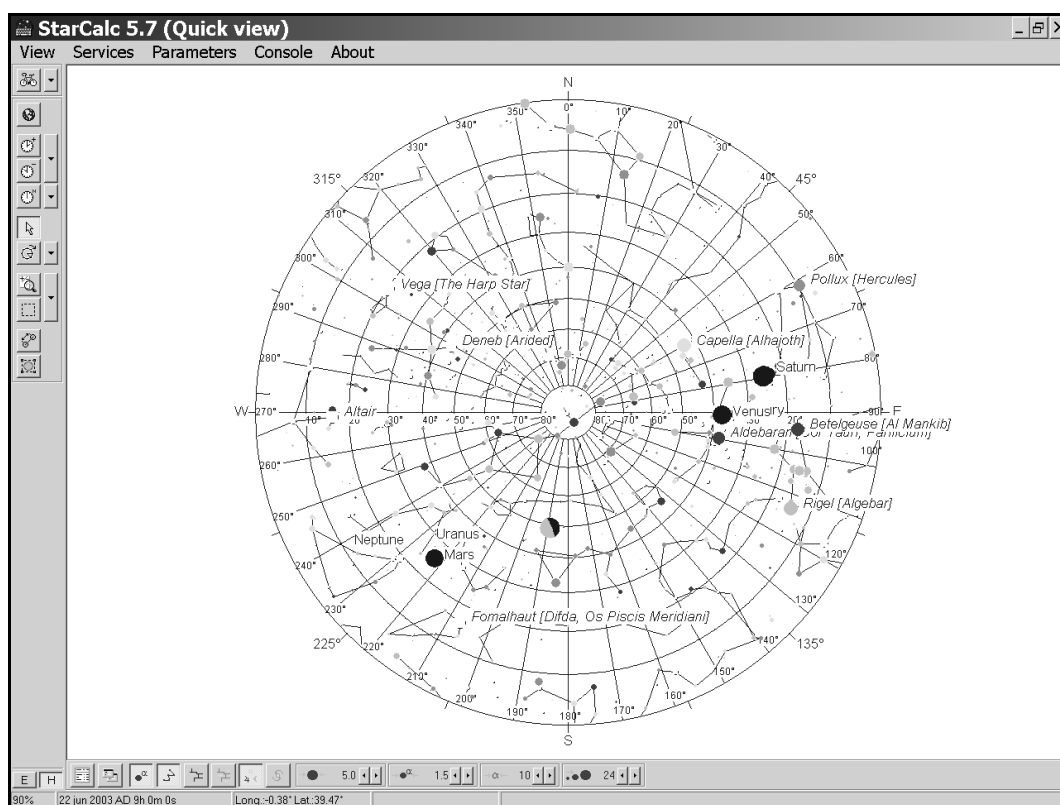


fig. 70: PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LA BÓVEDA CELESTE EN UN PROGRAMA DE CALCULO ASTRONÓMICO.

En el caso que nos ocupa, y con el fin de obtener información sobre la posición del Sol, se pueden apagar las imágenes de todos los objetos sobre la esfera celeste, a excepción del Sol, con lo que se consigue una imagen de la esfera celeste en la que solo se muestra la proyección del Sol en su situación actual.

Para obtener la imagen resultante se selecciona previamente el tipo de proyección con que se representa la esfera celeste, pudiendo optar entre una proyección cilíndrica sobre el plano del horizonte, o bien la por la proyección estereográfica. Elegido el tipo de proyección pueden definirse también el tipo de coordenadas que definen la posición de los astros sobre la esfera celeste. Se puede optar en este caso por las coordenadas ecuatoriales u horizontales.

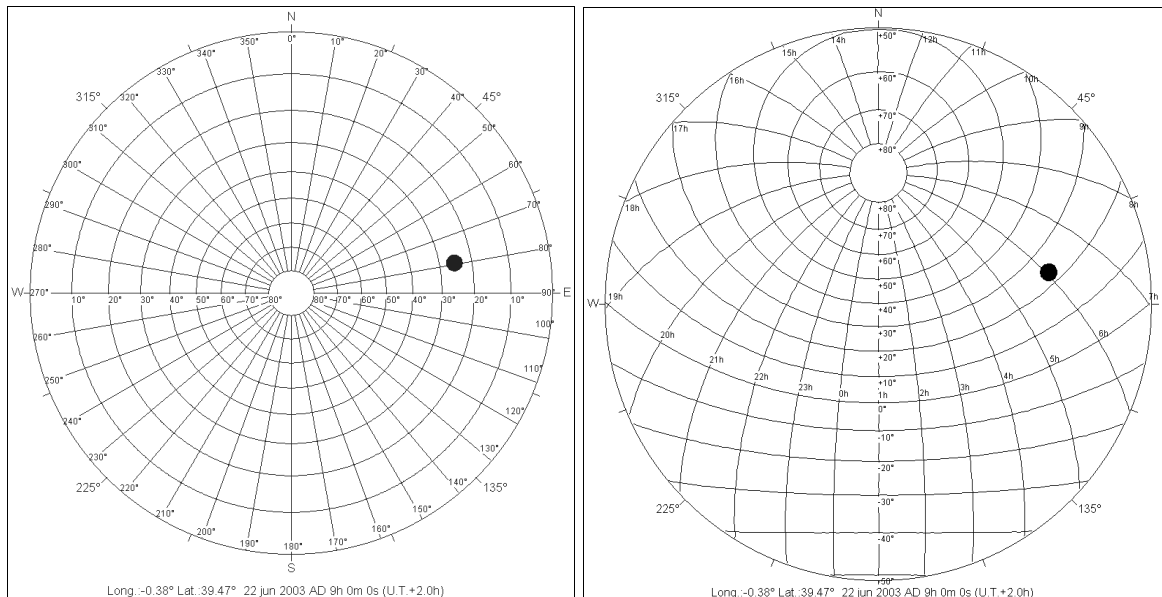


fig. 71: PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DE LA POSICIÓN DEL SOL EN VALENCIA EL 22 DE JUNIO A LAS 7.00 H. SOLAR EN COORDENADAS HORIZONTALES Y ECUATORIALES.

Además de la lectura directa de la posición del sol sobre la esfera celeste mediante las coordenadas de azimut y altura sobre el horizonte, los programas de cálculo astronómico pueden facilitar información numérica sobre la posición del astro:

Date: 22.6.2003 09h 04m 31s (UT+2)  
Solar hour: 07h 00m 00s

Name	Horiz.coordinates	Rising/Setting	Azimuthes	Transit	Distance
	Azimuth/Altitude	Ris./Set	Ris./Set	Time/Altitude	
	° °	h m h m	° °	h m °	AU
Sun	080.109 +25.252	06 35 21 32	058 302	14 03 +74.0	1.0163

Los datos numéricos obtenidos permiten definir gráficamente la posición del vector solar del mismo modo que se hizo en la carta solar de Ruiz Aizpiri o en la carta cilíndrica. Se obtiene así la dirección del vector solar en planta y alzado sobre la definición diédrica de un objeto cualquiera, que permite el cálculo de sus sombras arrojadas.

La ventaja añadida de los programas de cálculo astronómico es que introducen las correcciones debidas a la ecuación del tiempo, con lo que los valores numéricos obtenidos son de una gran exactitud y fiabilidad. Como inconveniente cabe destacar que la conversión de los datos numéricos en representaciones gráficas implica siempre una cierta pérdida de la exactitud obtenida. Por el contrario, el cálculo de los valores angulares de la posición del sol es rápido y cómodo para cualquier hora y latitud.

### 2.8.3.2. Programas de diseño asistido (CAD)

La mayoría de programas de diseño asistido (CAD) que permiten la definición tridimensional de objetos, cuentan con módulos específicos para el cálculo de soleamiento. Estos módulos permiten, una vez definida la geometría de un objeto, su posición geográfica y la hora del día en que se quiere hacer el estudio, el cálculo de las sombras propias y arrojadas por éste.

Programas como MicroStation, AutoCAD o 3DStudio en sus versiones más recientes permiten la definición de los parámetros que caracterizan el vector solar. Dado que se trata del programa de mayor difusión, para el ejemplo estudiado se utiliza el programa AutoCAD, versión 2002, aunque la utilización de cualquier otro programa es esencialmente la misma. Para aplicar el procedimiento al objeto simple que se ha utilizado para probar el funcionamiento de las cartas solares, será necesario, una vez definida su geometría, darle la orientación adecuada respecto de una dirección definida como norte. En este caso la orientación del norte coincide con el eje Y del triedro de referencia.

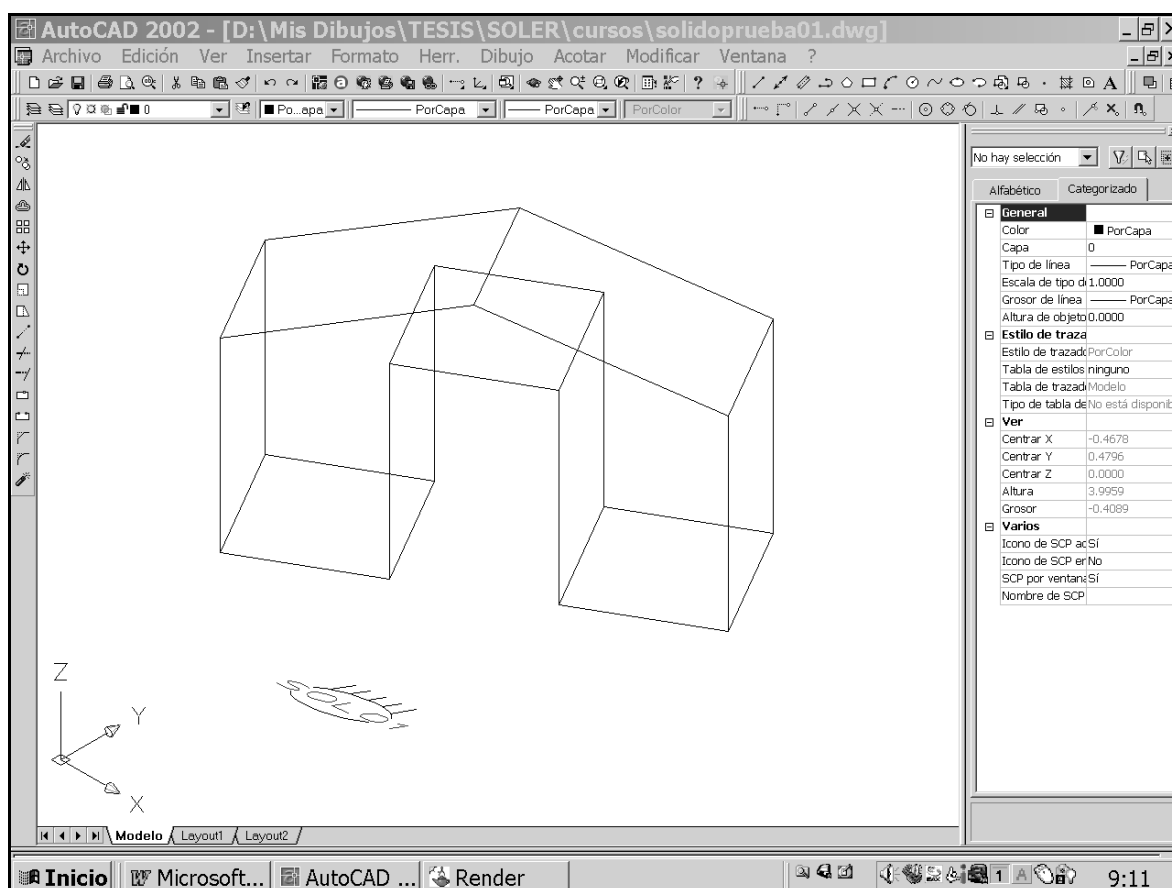


fig. 72: MODELIZADO INFORMÁTICO DE UN OBJETO SIMPLE PARA EL CÁLCULO DE SOMBRAS ARROJADAS.

Una vez definido el objeto y su orientación, es necesario caracterizar el sistema de iluminación que produce la radiación solar y por tanto, las sombras. En la creación de este foco luminoso, además de otras características, se puede optar por que el punto de origen de la radiación luminosa sea propio o impropio, en cuyo caso el haz generado será

cónico o cilíndrico. Puede considerarse que el Sol, dada la distancia a la que se encuentra de la Tierra, genera un haz cilíndrico por lo que la opción elegida será un foco de luz distante (impropio).

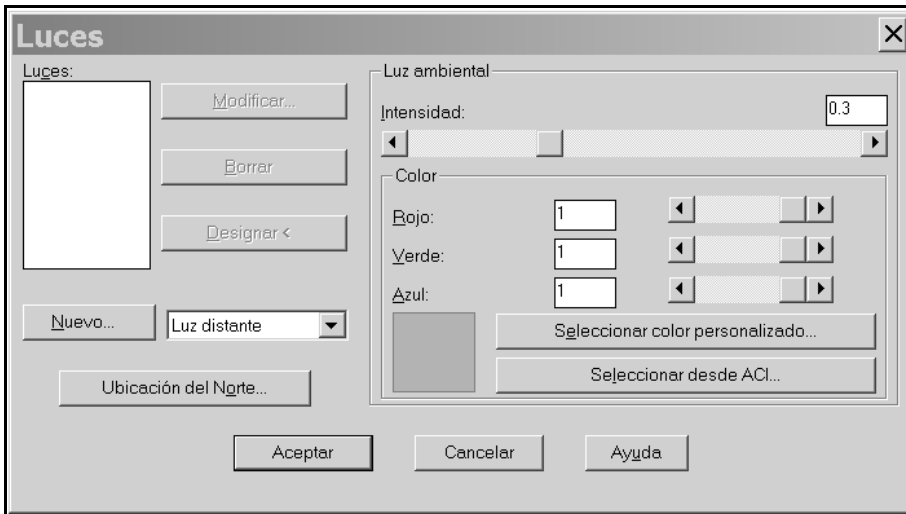


fig. 73: CREACIÓN DE UN FOCO DE LUZ DISTANTE

Tras la creación del foco de luz distante, se despliega un menú en el que se pueden proporcionar directamente los valores del acimut y de la altura sobre el horizonte que definen el vector solar, en el caso de que estos valores sean conocidos.

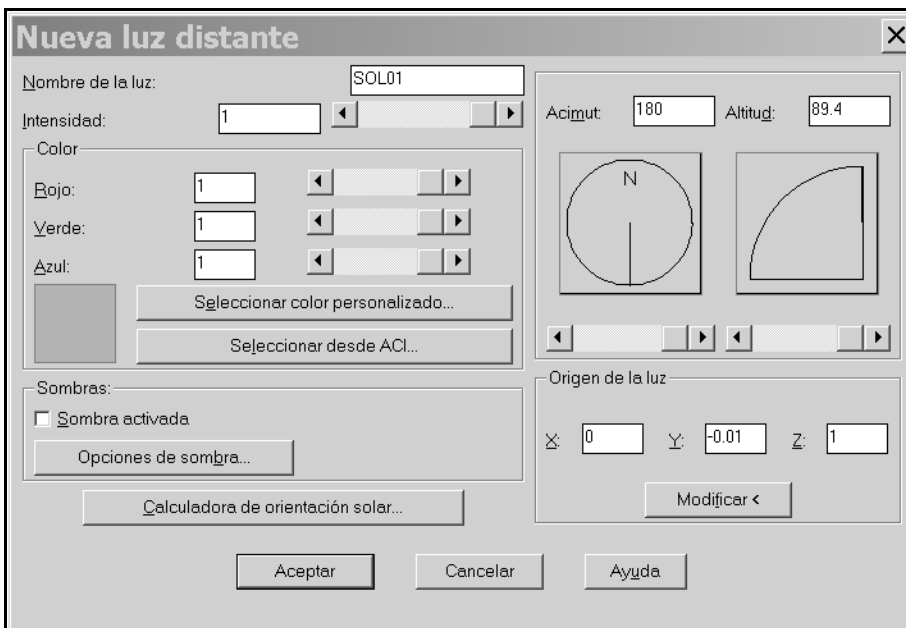


fig. 74: MENÚ DE ASIGNACIÓN DE COORDENADAS HORIZONTALES PARA LA POSICIÓN DEL SOL

Si estos valores no son conocidos de antemano, como sucederá habitualmente, se puede activar el menú llamado *calculadora de orientación solar*, que permite introducir los datos necesarios para el cálculo de las sombras arrojadas.

El primer dato que habrá que suministrar es la ubicación geográfica del objeto del que se quieren calcular las sombras. El programa cuenta con una lista de ciudades predeterminadas de las que se conocen sus coordenadas geográficas. Si el lugar objeto

de estudio no está predeterminado, se puede seleccionar su ubicación indicando sobre un mapa el punto en que se encuentra, o bien introduciendo los valores numéricos correspondientes a sus coordenadas geográficas. En el caso que nos ocupa se han introducido las coordenadas geográficas correspondientes a la ciudad de Valencia. El programa identifica entonces sobre el plano la posición del lugar objeto de estudio.

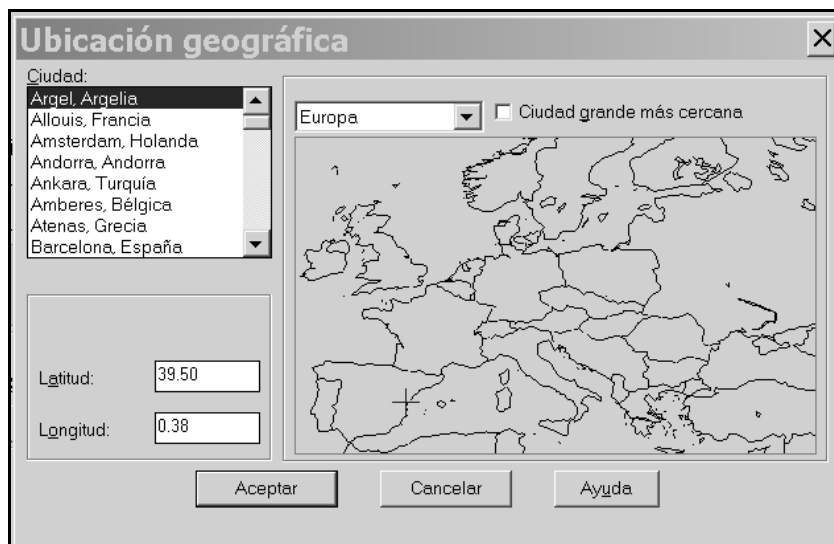


fig. 75: UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MODELO ESTUDIADO.

A continuación se proporcionan los datos correspondientes a la fecha y hora objeto de estudio. La fecha será la correspondiente al solsticio de verano, el 22 de junio, y la hora las 7.00h solar. El programa interpreta que la hora suministrada es la hora civil, por lo que conviene corregir la hora suministrada por el desfase debido a la ecuación del tiempo, que en este caso supone un adelanto de 4 minutos. También hay que definir el huso horario en el que nos encontramos y si se aplica el cambio de hora. En este caso se opta por el huso horario correspondiente al meridiano de Greenwich, sin cambio de hora. El programa reconoce la hora solar como las 7.00h, y proporciona los valores numéricos de acimut y altura sobre el horizonte,  $\alpha=80^\circ$  y  $h=25.9^\circ$  respectivamente, que coinciden sensiblemente con los valores obtenidos por aplicación de las cartas solares y por los programas de cálculo astronómico.



fig. 76: MENÚ DE ASIGNACIÓN DE FECHA Y HORA PARA EL CALCULO DE SOMBRAS.

Para obtener las sombras arrojadas por el objeto, basta con elegir un punto de vista y pedir al programa que renderice la escena. La imagen así obtenida representa el objeto con sus sombras propias y arrojadas correspondientes al vector solar solicitado. En la imagen siguiente se puede comparar el resultado obtenido con las sombras calculadas por aplicación de las distintas cartas solares, comprobándose que son iguales en la práctica.

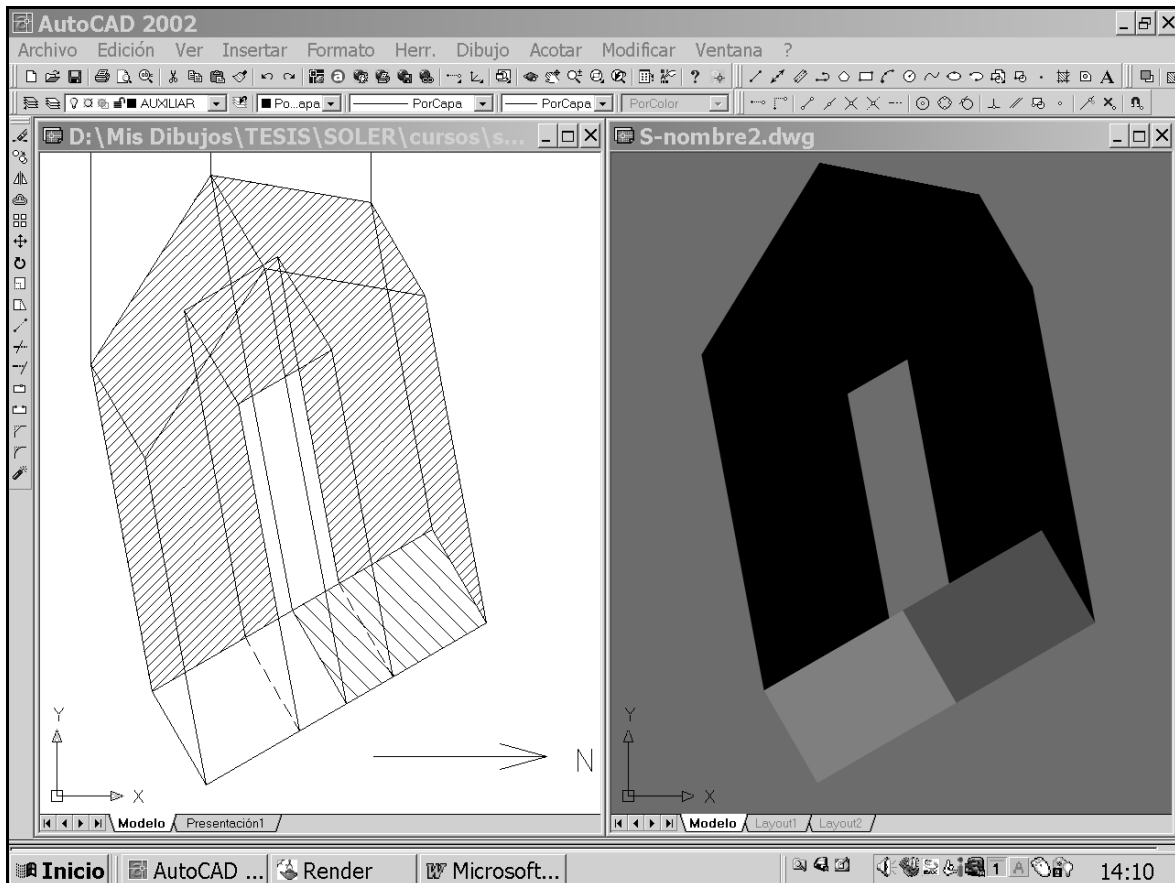


fig. 77: SOMBRAS ARROJADAS POR EL MODELO OBJETO DE ESTUDIO

La aplicación de los programas de diseño asistido al cálculo del vector solar presenta ventajas adicionales respecto de las cartas solares convencionales. Una vez definido el objeto, se pueden variar la hora y la fecha de estudio simplemente modificando los datos numéricos que las determinan y solicitando la renderización de la escena se obtiene la imagen con las sombras producidas. Este procedimiento es especialmente apto para estudiar la evolución de las sombras arrojadas por un objeto en un lapso de tiempo determinado.

Otra ventaja de los programas de diseño asistido es que se puede elegir el punto de vista desde el que se desea ver la escena y el tipo de proyección que genera la imagen, produciendo plantas, alzados, axonométricos o perspectivas cónicas con solo definir la dirección de proyección en la que se produce la imagen y el tipo de proyección que se desea. A modo de ejemplo, se muestran a continuación, cuatro vistas axonométricas distintas del objeto estudiado con sus sombras propias y arrojadas.

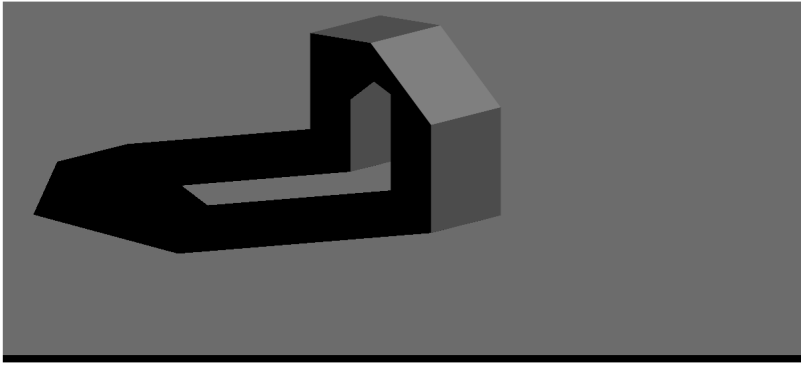


fig. 78: AXONOMÉTRICA DEL OBJETO CON SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS VISTA DESDE EL SUR



fig. 79: AXONOMÉTRICA DEL OBJETO CON SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS VISTA DESDE EL ESTE

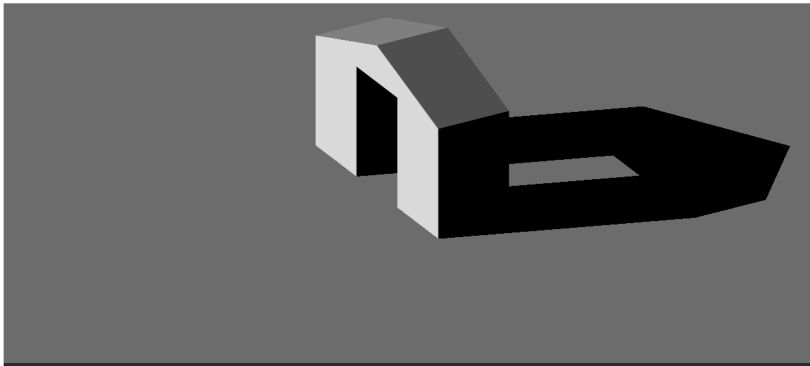


fig. 80: AXONOMÉTRICA DEL OBJETO CON SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS VISTA DESDE EL NORTE

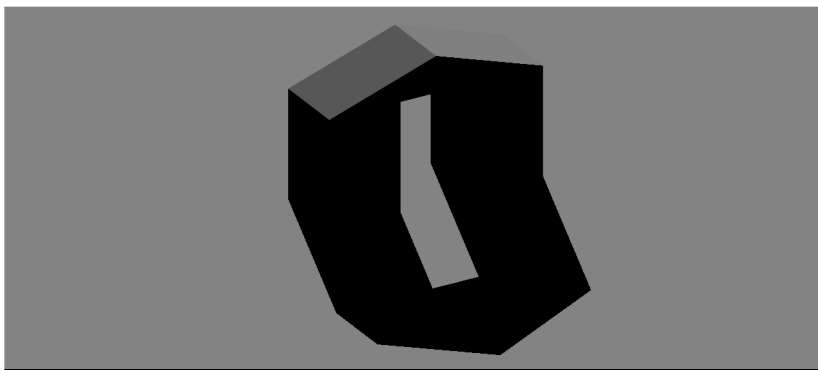


fig. 81: AXONOMÉTRICA DEL OBJETO CON SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS VISTA DESDE EL OESTE

## 2.8.4. Vigencia espacial y temporal de los datos para el cálculo del vector solar

En los puntos anteriores se han estudiado algunas alternativas posibles para el cálculo del vector solar. Una vez conocido el dato que suministra el procedimiento concreto utilizado, ya sea una carta solar o un programa informático, y a la vista de que todos los procedimientos empleados proporcionan resultados análogos para un mismo valor de latitud, fecha y hora, conviene analizar la naturaleza de los datos obtenidos y sus posibilidades de aplicación.

Las coordenadas angulares que definen la dirección del vector solar, el azimut y la altura sobre el horizonte, y que permiten calcular sombras arrojadas por objetos expuestos al sol están condicionadas por tres parámetros, que son:

- la latitud del lugar de observación, definida por el valor de ( $\varphi$ );
- la fecha de observación, que define el valor de la declinación ( $\delta$ );
- la hora de observación, condicionada por la longitud geográfica ( $\lambda$ ), y por el valor del ángulo horario (H);

Tomando como umbral de exactitud para el cálculo de la latitud ( $\varphi$ ) un valor angular de  $\pm 0.25^\circ$  sexagesimales, que equivale a un intervalo de validez de  $0.5^\circ$  sexagesimales calcularemos a continuación a qué distancia equivale medida sobre la superficie terrestre. Aceptando un valor aproximado de 40.000 Km. de longitud para un meridiano terrestre obtenemos la siguiente equivalencia:

$$\frac{40.000Km.}{XKm.} = \frac{360^\circ}{0.5^\circ}; \quad X = \frac{40.000 * 0.5}{360} Km; \quad X = 55.55Km.$$

Donde  $0.5^\circ$  sexagesimales equivalen a 55.55Km. sobre la superficie terrestre.

Respecto de la fecha de observación, ya que este valor será conocido de antemano, y que a partir de dicho dato se puede conocer la declinación media del Sol para ese día, puede considerarse que no introduce variación alguna en los resultados obtenidos.

Para calcular la influencia de exactitud en la apreciación de la hora de observación haremos en primer lugar el análisis para el Ecuador terrestre. Suponiendo un umbral de exactitud de  $\pm 30$  segundos, que equivale a un intervalo de validez de 1 minuto, calcularemos qué distancia recorre un punto durante este lapso de tiempo sobre el Ecuador terrestre, aceptando también un valor aproximado de 40.000Km. para su longitud:

$$\frac{40.000Km.}{XKm.} = \frac{24h * 60min.}{1min.}; \quad X = \frac{40.000}{1.440} Km; \quad X = 27.77Km.$$

Donde un punto sobre el Ecuador terrestre, se desplaza 27.77 Km en 1 minuto.



Si en lugar de calcular la distancia recorrida por un punto del Ecuador en un minuto, el cálculo se hiciera para un paralelo cualquiera, el valor obtenido se vería reducido, en función del coseno de su latitud. En concreto, para la ciudad de Valencia el valor obtenido es el siguiente

$$X_{\text{valencia}} = X \cos(\varphi); \quad \text{Donde } X_{\text{valencia}} = 27.77 \cos 39.5^\circ = 21.42 \text{ Km.}$$

Aceptando pues, unos errores absolutos de  $\pm 0.25^\circ$  en la definición de la latitud y de  $\pm 30$  segundos en la apreciación del tiempo de observación, se puede concluir que los datos obtenidos para las coordenadas angulares del vector solar en el entorno de la ciudad de Valencia son válidos dentro de un rectángulo de dimensiones 21.42 Km en dirección este oeste y de 55.55 Km en dirección norte sur, en cuyo centro se encuentra el punto de observación. El vector solar así obtenido será de aplicación para cualquier punto en el interior del rectángulo definido, durante el minuto para el que se ha realizado el cálculo de las coordenadas del vector solar.

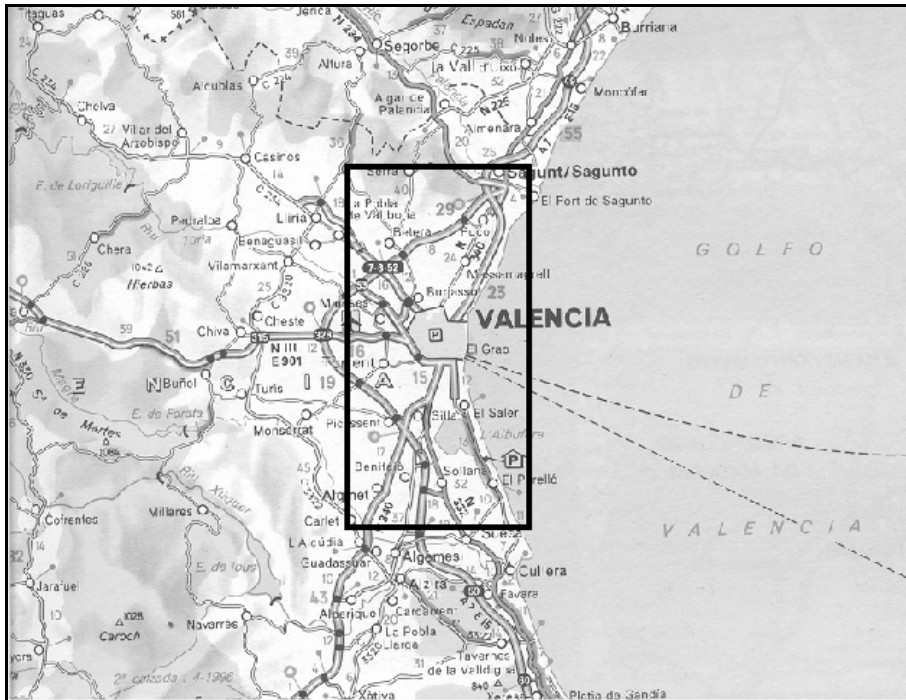


fig. 82: AREA DE VIGENCIA ESPACIAL PARA LOS VALORES DEL VECTOR SOLAR EN TORNO A VALENCIA

El cálculo de sombras arrojadas aplicado al proyecto arquitectónico suele involucrar ámbitos espaciales de menor dimensión que el rectángulo definido; un edificio, una manzana, un barrio entero o como máximo, toda una ciudad. Así, podemos aceptar que de modo instantáneo, dentro del minuto para el cual la dirección del vector solar ha sido calculado, los resultados obtenidos son de aplicación a todo el ámbito espacial objeto de análisis. Podemos concluir que los valores calculados para las coordenadas del vector solar son de aplicación en un ámbito territorial de grandes dimensiones, durante lapsos de tiempo relativamente cortos, siendo necesario recalcular la dirección del vector solar para cada momento en caso de que se quiera estudiar la evolución de las sombras arrojadas por un objeto en un intervalo de tiempo más dilatado.

## 2.9. Métodos gráficos para el cálculo de obstrucciones solares

El cálculo de obstrucciones solares es un procedimiento que persigue un fin distinto del obtenido por aplicación del cálculo del vector solar. Mientras el cálculo del vector solar pretende conocer cuáles son las sombras arrojadas por un objeto; el cálculo de la obstrucción solar permite, definida una ubicación geográfica, y la geometría de un entorno, calcular durante qué intervalos de tiempo dentro del periodo anual, un punto concreto incluido en dicho entorno se encuentra en sombra; es decir, cuando no recibe la incidencia directa de los rayos solares.

El estudio de obstrucciones solares está pormenorizado para un punto concreto, incluido en un entorno y su resolución debe abordarse desde la aplicación de aquellos procedimientos gráficos en los que la imagen de la esfera celeste se obtiene por proyección desde un punto propio, que coincide con el punto objeto de análisis.

Esta imagen de la esfera celeste obtenida por proyección cónica representa la porción de cielo observable desde el punto objeto de análisis, en la que aparecerán graficadas las trayectorias solares que representan las fechas significativas, además de los meridianos celestes correspondientes a las horas solares.

Si se obtiene una imagen del entorno, por aplicación de la misma proyección cónica y desde el mismo punto objeto de análisis que han generado una carta solar, dicha imagen representará qué es lo que se observa del entorno desde dicho punto. Superponiendo la imagen que proporciona la carta solar, a la proyección de los objetos del entorno, puede apreciarse en qué puntos el diagrama que representa las trayectorias solares queda superpuesto a las imágenes de los objetos que configuran el entorno del punto.

En las zonas donde se produzca una superposición entre las trayectorias solares y los objetos del entorno, los rayos solares serán incapaces de incidir sobre el punto objeto de análisis, dado que los objetos del entorno ocultan el punto a la incidencia de los rayos solares.

Los puntos del diagrama que representan las trayectorias solares en los que no existe superposición con la imagen de los objetos del entorno representan los puntos de las trayectorias solares desde los que la incidencia solar es posible sin interferencia de los objetos del entorno.

De este modo, por superposición de las dos imágenes, se puede calcular en qué periodos del año el punto objeto de análisis recibe o no recibe la radiación solar. Estos gráficos reciben el nombre de diagramas de cálculo de obstrucciones solares.

Los procedimientos aplicables al cálculo de obstrucciones solares serán aquellos en que la imagen de la esfera celeste se obtenga por proyección cónica. Estudiaremos a continuación cuáles son los procedimientos de los estudiados hasta ahora, que son válidos también para el cálculo de obstrucciones solares.

## 2.9.1. Cálculo de obstrucciones solares mediante la carta estereográfica

Como se vio anteriormente, la carta solar estereográfica permite obtener una proyección cónica de la esfera celeste sobre el plano del horizonte y por tanto, se adapta a las necesidades del cálculo de obstrucciones solares. Definido un entorno, en este caso, se trata de dos prismas de base rectangular y un punto (A) incluido en el entorno, sobre el que se propone calcular las obstrucciones, procederemos del modo siguiente:

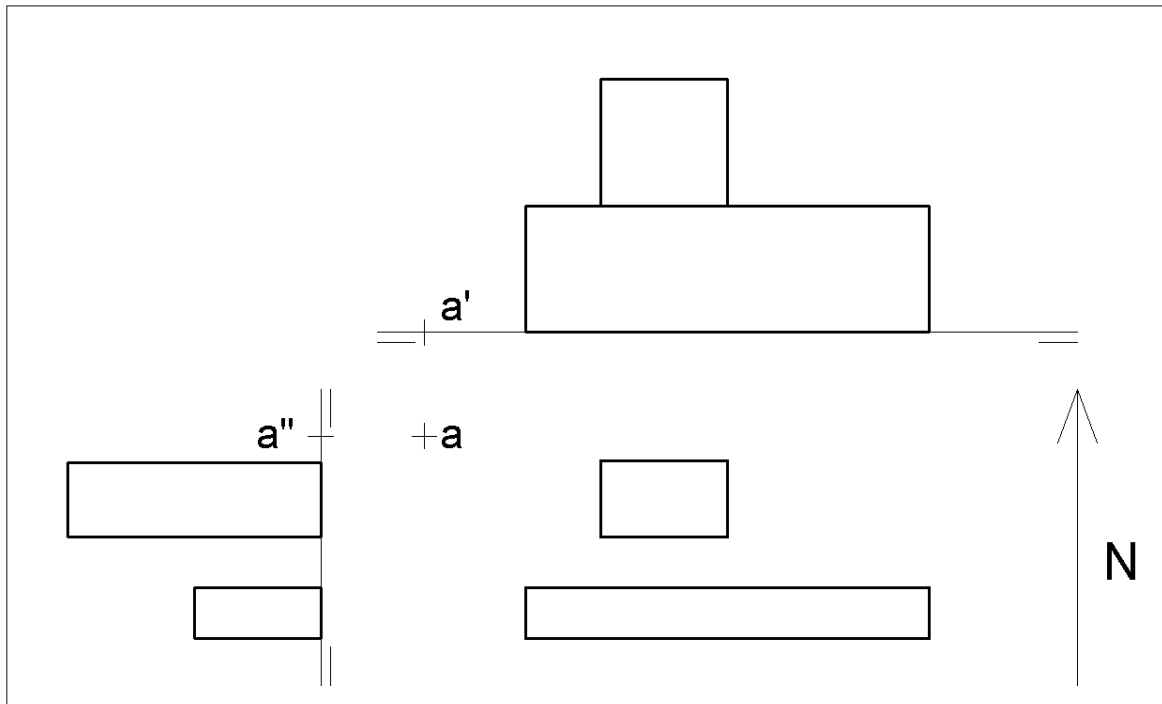


fig. 83: DEFINICIÓN GRÁFICA ENTORNO Y DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO

Definida la latitud del lugar, en este caso se elige la ubicación de Valencia, con unas coordenadas geográficas V: ( $39^{\circ}47'$  N,  $-0^{\circ}38'$  O), se trata de construir la carta solar estereográfica correspondiente a su latitud. En dicha carta solar se graffian las trayectorias solares correspondientes al día 22 de cada mes y los meridianos horarios medidos a partir del mediodía solar del lugar.

Elegido el punto (A) como punto sobre el que se calculan las obstrucciones, se trata de proyectar los objetos del entorno sobre la esfera celeste, tomando como centro de proyección el centro de la esfera. Las aristas horizontales del objeto se proyectan sobre la esfera produciendo sobre ésta secciones planas, que contiene al centro de la misma y por tanto; producen círculos máximos. Las aristas verticales se proyectan sobre la esfera celeste produciendo sobre ésta secciones meridianas. Las proyecciones de las aristas horizontales, que producen secciones planas sobre la esfera celeste, al ser pasadas a la proyección estereográfica se convierten también en circunferencias sobre el plano del cuadro, cuyos puntos de fuga coinciden con los puntos cardinales. Las aristas verticales se transforman en proyección estereográfica, en rectas que inciden sobre el punto principal de la proyección.

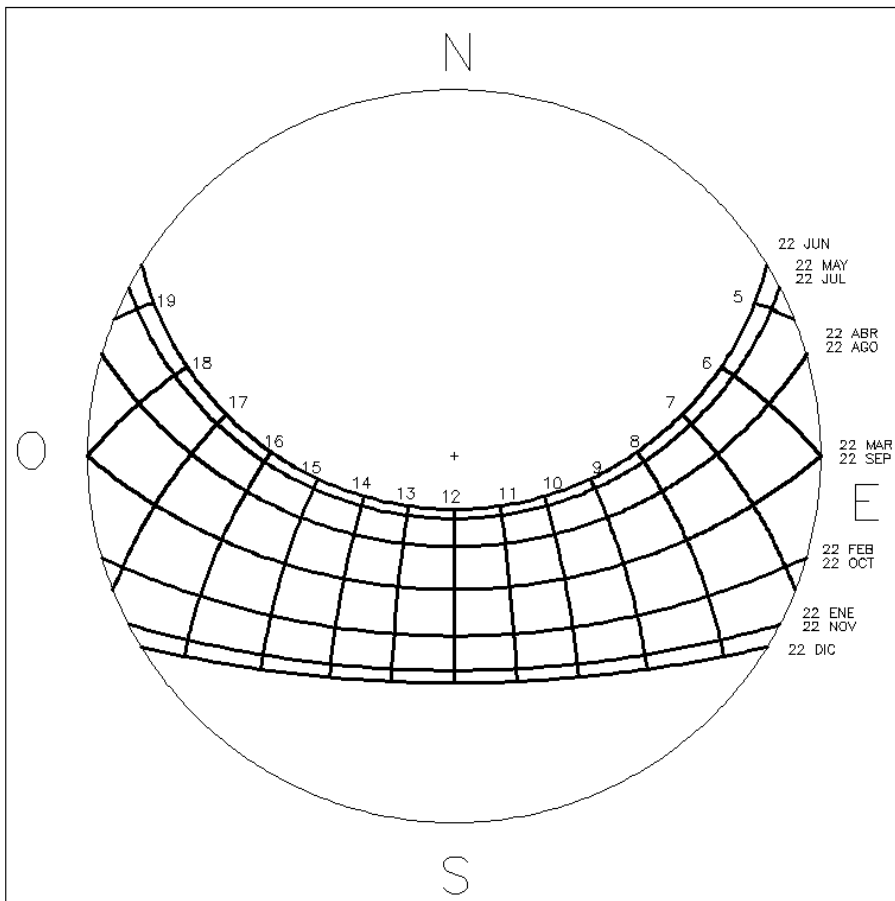


fig. 84: CARTA ESTEREOGRÁFICA PARA LA LATITUD DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO.

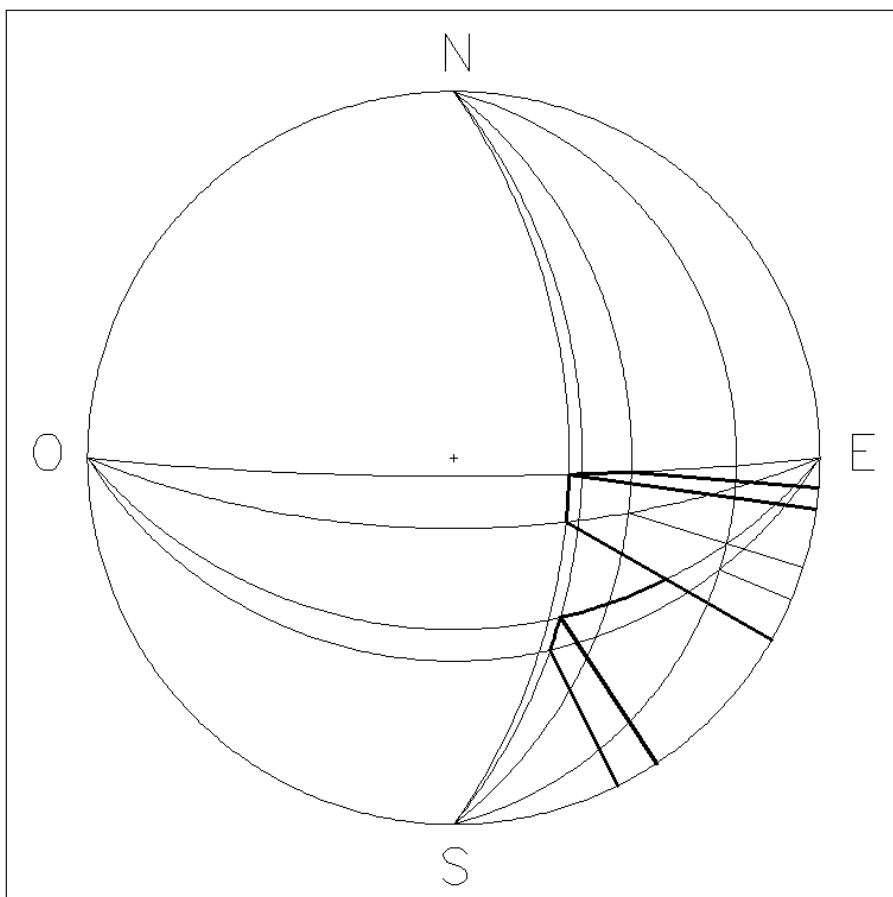


fig. 85: PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA DEL ENTORNO DESDE EL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO

Obtenidas las dos imágenes anteriores, pueden superponerse en una imagen única, donde puede apreciarse cuáles son las trayectorias solares que quedan obstruidas por los objetos del entorno. Éste es el gráfico de las obstrucciones solares que producen los objetos del entorno sobre las trayectorias solares.

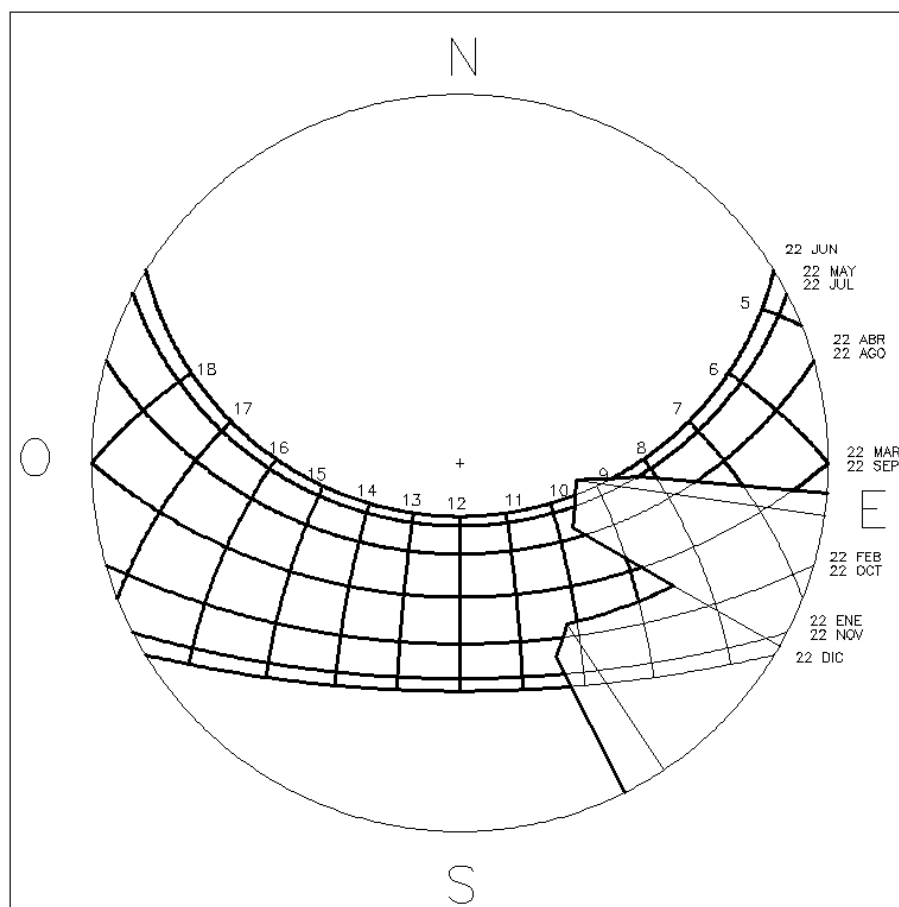


fig. 86: DIAGRAMA ESTEREOGRÁFICO DE OBSTRUCCIONES DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO

Puede apreciarse en el diagrama que los prismas obstruyen las trayectorias solares en las primeras horas del día. Durante los meses comprendidos entre octubre y febrero, el punto objeto de estudio queda en sombra desde el orto hasta las 10.30h solares aproximadamente, quedando expuesto al sol desde este momento hasta el ocaso. En los equinoccios el punto a recibe media hora de sol tras el orto, para quedar posteriormente en sombra durante dos horas y media aproximadamente, y desde este momento hasta el ocaso recibe radiación solar. A medida que los días se aproximan al solsticio de verano, el periodo diario de obstrucción se acorta. Aún así, todos los días del año se producen obstrucciones, dado que las trayectorias solares correspondientes a todos los días del año quedan interceptadas en al menos dos puntos por la imagen de los prismas.

La carta solar estereográfica, permite el cálculo de obstrucciones con relativa sencillez. Del diagrama de obstrucciones pueden deducirse los intervalos de tiempo en que el punto (A) se encuentra en sombra. Conviene tener en cuenta que los resultados así obtenidos son válidos en exclusiva para el punto objeto de análisis, ya que aunque la imagen de la carta solar sea la misma para todos los puntos del entorno, la imagen de los objetos que producen las obstrucciones varía al cambiar el punto de observación.

## 2.9.2. Cálculo de obstrucciones solares mediante la carta gnomónica

La carta solar gnomónica resulta de la proyección de las trayectorias solares contenidas en la esfera celeste sobre un plano horizontal, tomando como centro de proyección el extremo libre de un segmento vertical, ortogonal a dicho plano; el gnomon. La longitud del gnomon se define en la proyección mediante el círculo de distancias, resultado de los abatidos del gnomon en todas direcciones.

La imagen de la esfera celeste así obtenida representa las trayectorias solares como secciones planas de conos de revolución que, para las latitudes comprendidas entre los círculos polares tienen forma de hipérbola, mientras que los meridianos horarios aparecen como rectas concurrentes.

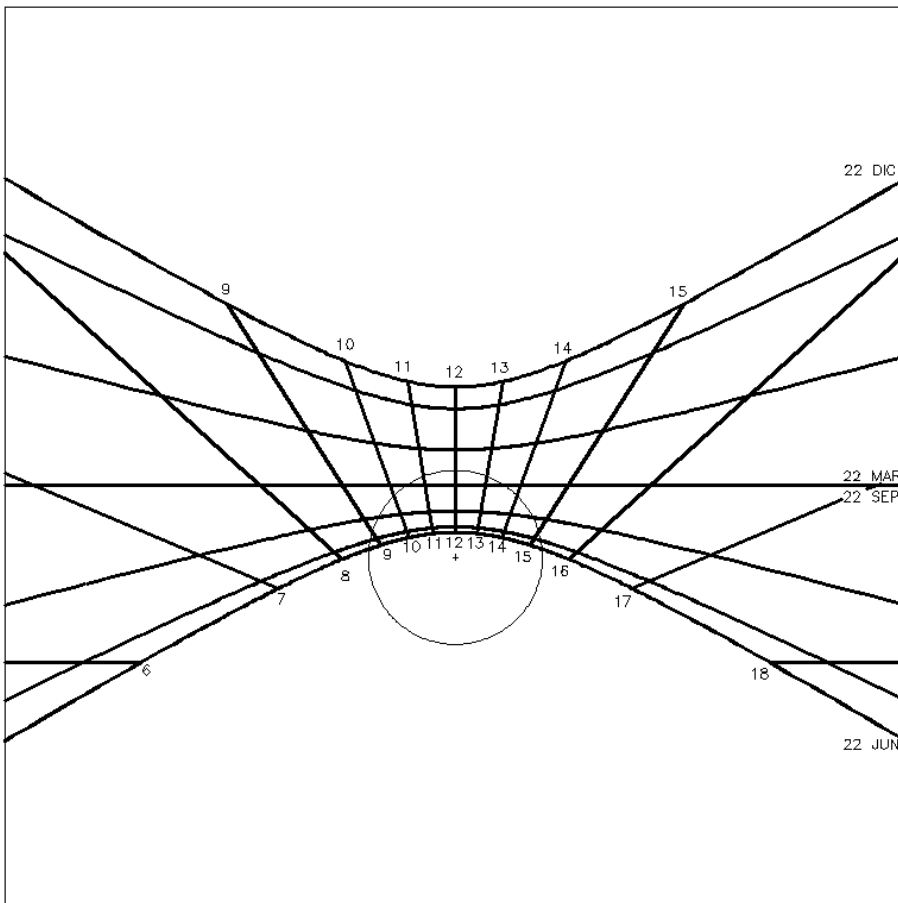


fig. 87: DIAGRAMA GNOMONICO PARA LA LATITUD DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO

Se trata pues de una proyección cónica, donde el extremo del gnomon actúa como punto de vista, el plano del horizonte asume la función del plano del cuadro, y la longitud del gnomon representa la distancia principal.

Una vez definida la ubicación geográfica donde se calculan las obstrucciones, un entorno, y un punto sobre el que calcular las obstrucciones; la aplicación de la carta gnomónica al cálculo de obstrucciones solares, necesita de la obtención de la proyección

cónica del entorno, proyectado éste desde el mismo punto de vista y sobre el mismo plano del cuadro que se ha utilizado para obtener la carta gnomónica.

Para el estudio de obstrucciones por aplicación de la carta gnomónica, y con el fin de establecer comparaciones respecto del procedimiento anterior, calcularemos las obstrucciones producidas por los dos prismas rectangulares propuestos en la fig. 83, desde el punto (A) incluido en su entorno, suponiendo que se encuentre ubicado en Valencia, con unas coordenadas geográficas V: (39°47' N, -0°38' O)

La proyección cónica del entorno se obtiene situando en el punto (A) el extremo del gnomon desde donde se analizan las obstrucciones y desplazando el plano del cuadro en dirección vertical una distancia igual al radio del círculo de distancias.

El plano horizontal sobre el que apoyan los prismas, dado que es paralelo a plano del cuadro, y contiene al punto de vista, se convierte en el plano de desvanecimiento. Los puntos situados sobre dicho plano no tienen imagen cónica. Las proyecciones de las aristas verticales pasan por el punto principal, que es su punto de fuga, mientras que las aristas horizontales se proyectan paralelas a sí mismas, por ser paralelas al plano del cuadro.

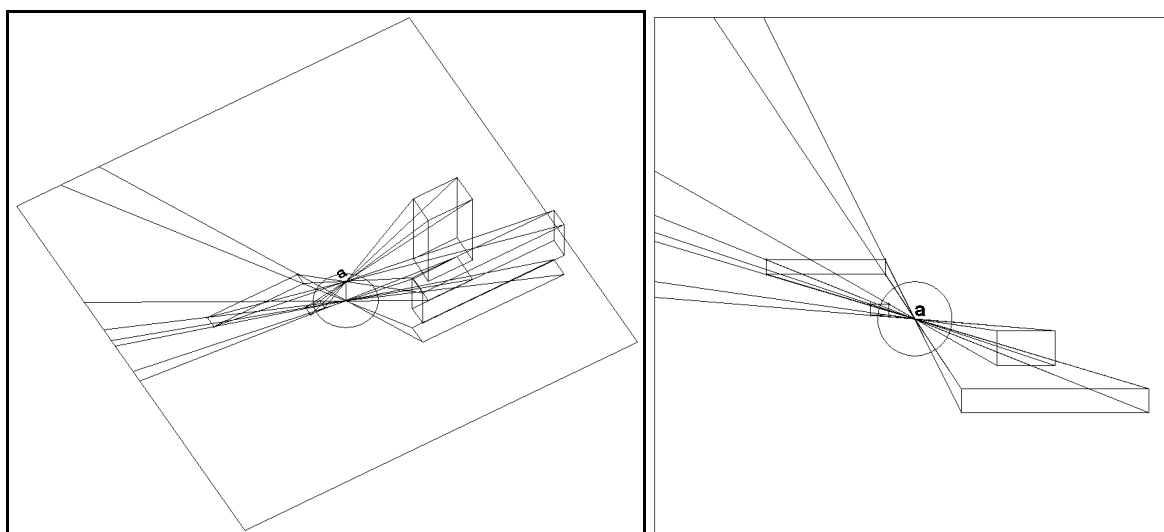


fig. 88: OPERATIVA GRÁFICA PARA LA PROYECCION GNOMONICA DEL ENTORNO DESDE EL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO

La imagen así obtenida puede superponerse a la carta gnomónica, obteniéndose las obstrucciones que el entorno produce sobre el punto 'A'.

La necesaria congruencia entre las dos imágenes obtenidas obliga a que el círculo de distancias de las dos proyecciones tenga el mismo radio, y la orientación de ambas imágenes se consigue haciendo coincidir en ambas el azimut de la dirección norte. La información que suministra la carta gnomónica es análoga a la obtenida por la carta estereográfica para el cálculo de obstrucciones, con la ventaja añadida de que la imagen del entorno es una proyección cónica al uso y por tanto; sencilla de calcular. En cambio, el trazado de la carta gnomónica es más complejo que en el caso de la carta estereográfica, por lo que este procedimiento será de aplicación si previamente se dispone de la carta gnomónica del lugar.

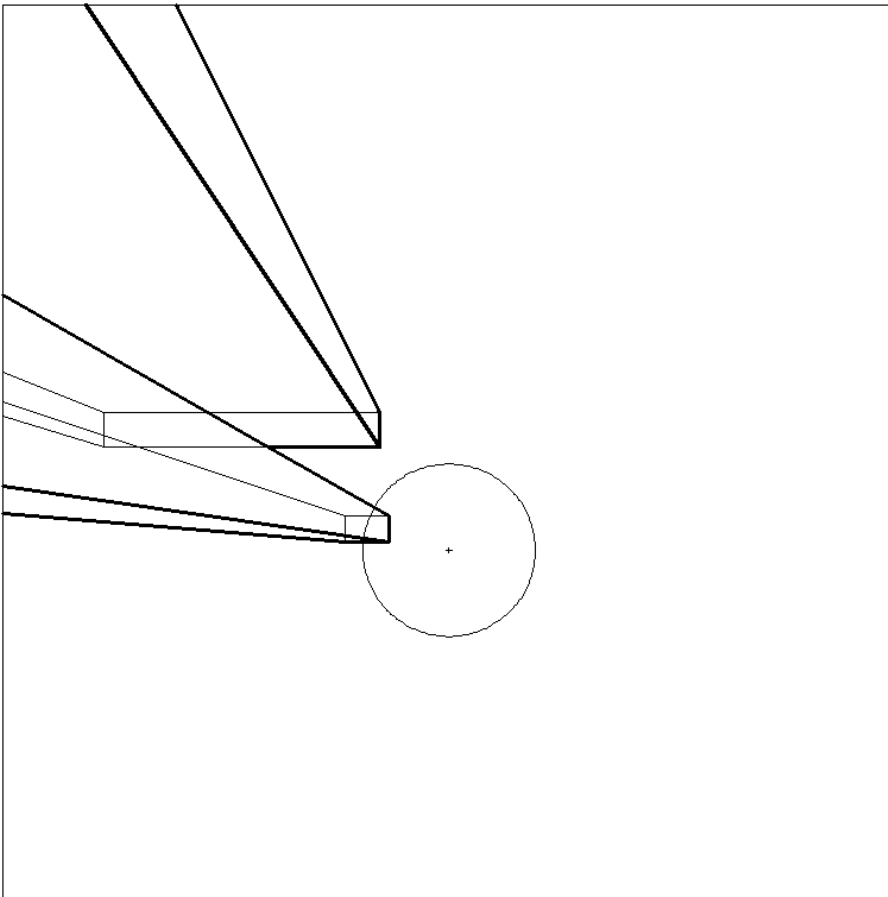


fig. 89: PROYECCIÓN GNOMÓNICA DEL ENTORNO DESDE EL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO

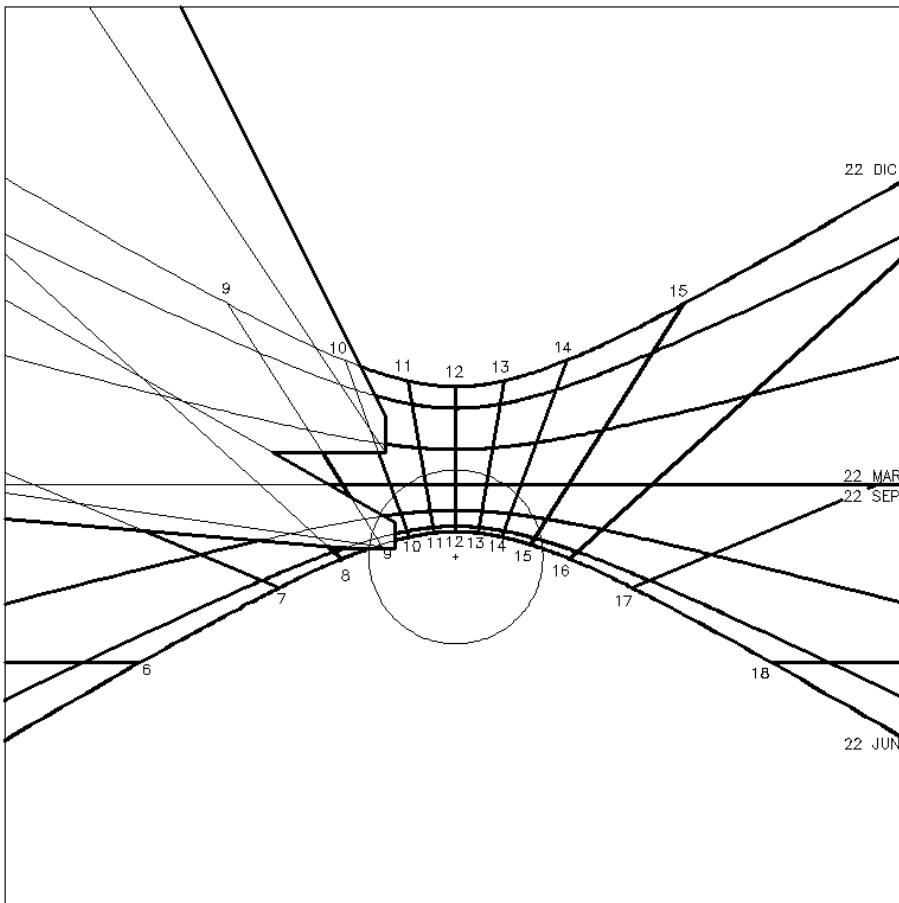


fig. 90: DIAGRAMA GNOMÓNICO DE OBSTRUCCIONES DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO



### 2.9.3. Cálculo de obstrucciones solares mediante la carta cilíndrica

La carta solar cilíndrica permite obtener sobre la superficie de un cilindro, la proyección de las trayectorias solares situadas sobre la esfera celeste del lugar. Dado que en este caso se trata también de una proyección cónica, el procedimiento sirve a su vez para el cálculo de obstrucciones solares.

Con el fin de establecer comparaciones respecto de los procedimientos anteriores, calcularemos las obstrucciones producidas por los dos prismas rectangulares propuestos en la fig. 83, desde el punto (A) incluido en su entorno y suponiendo que dicho entorno se encuentre ubicado en Valencia, con unas coordenadas geográficas V: ( $39^{\circ}47'$  N,  $-0^{\circ}38'$  O). Se trata pues, de definir la carta solar cilíndrica para una latitud  $\varphi=39^{\circ}47'$  N. En dicha carta solar se grafían las trayectorias solares correspondientes a los días 22 de cada mes, y los meridianos horarios medidos a partir del mediodía solar del lugar.

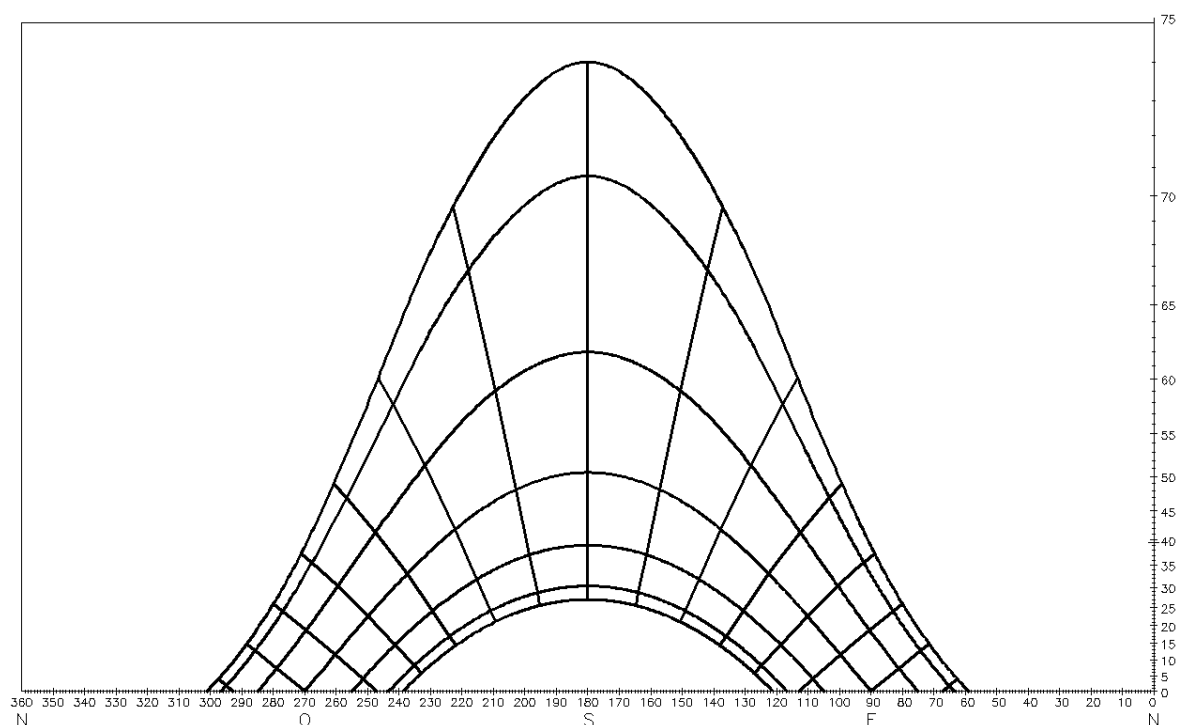


fig. 91: CARTA CILINDRICA PARA LA LATITUD DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO

Una vez definida la carta solar cilíndrica se trata de obtener la imagen de los prismas sobre la superficie cilíndrica que se ha utilizado como superficie del cuadro, tomando el punto (A) como centro de proyección.

Las rectas a las que pertenecen las aristas horizontales del prisma se proyectan sobre el cilindro definiendo sobre éste una sección plana de forma elíptica, en cuyo centro se encuentra el punto de vista de la proyección cónica. Las aristas verticales se proyectan sobre una generatriz del cilindro. El desarrollo de la superficie cilíndrica transforma las elipses en curvas senoidales, que al representar a rectas paralelas,

concurrer en los puntos de fuga que les corresponde, mientras que las aristas verticales se representan como segmentos sobre las generatrices de la superficie del cilindro.

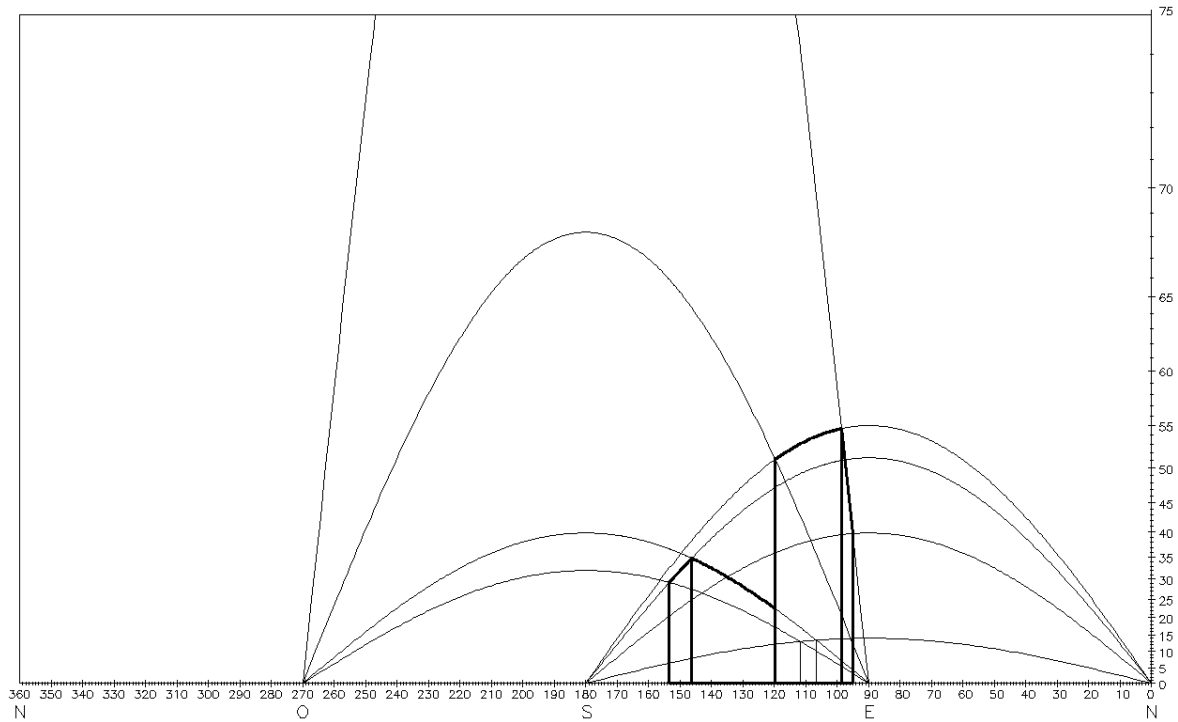


fig. 92: PROYECCIÓN CILÍNDRICA DEL ENTORNO DESDE EL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO

La imagen así obtenida puede superponerse a la carta solar cilíndrica, dando lugar al diagrama cilíndrico de obstrucciones solares.

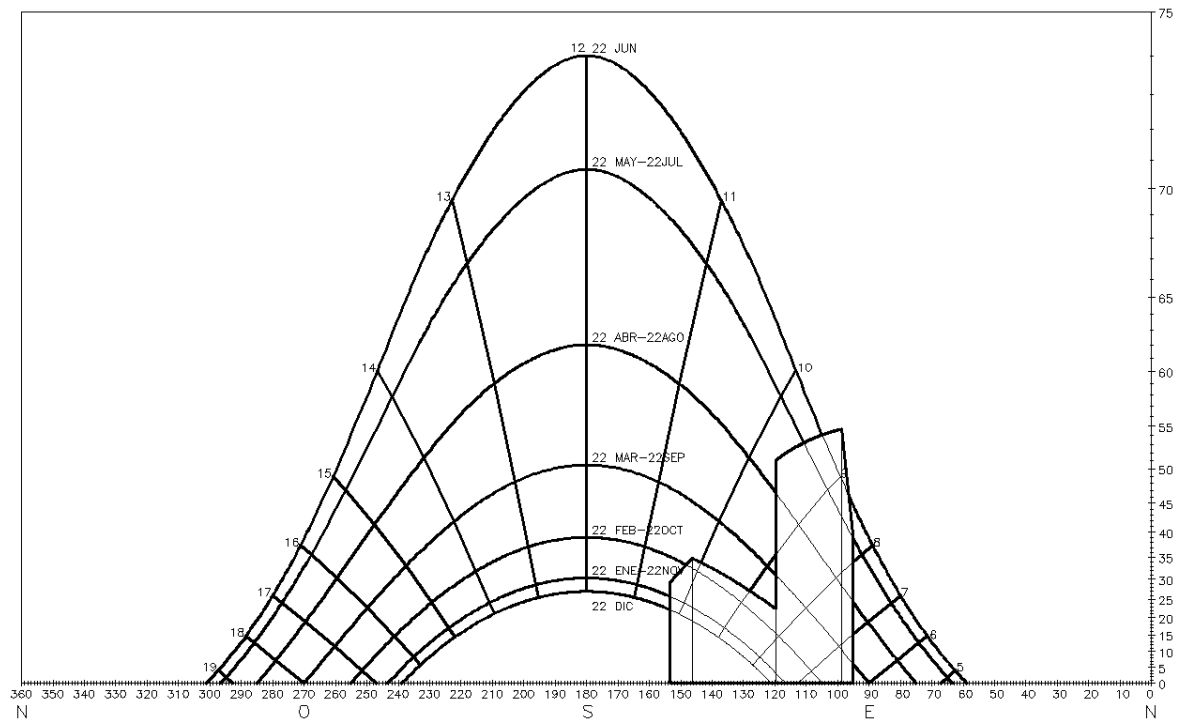


fig. 93: DIAGRAMA CILÍNDRICO DE OBSTRUCCIONES DEL PUNTO OBJETO DE ESTUDIO

Cabe destacar que, aunque la apariencia del diagrama obtenido no sea la misma que en el caso de la carta estereográfica o en el caso del diagrama gnomónico, los datos

referentes a obstrucciones que pueden extraerse del diagrama cilíndrico son perfectamente análogos a los obtenidos mediante la aplicación de las cartas anteriores.

La carta solar cilíndrica utilizada para el cálculo de obstrucciones solares permite, una vez definida la carta para una latitud concreta, obtener con gran sencillez las obstrucciones correspondientes a un entorno definido, y a un punto objeto de análisis. De igual modo que sucede en cualquier procedimiento para el cálculo de obstrucciones, los resultados obtenidos son válidos en exclusiva para el punto donde se ha realizado el estudio, siendo necesario repetir los cálculos para cualquier otro punto del entorno.

La representación de los objetos del entorno puede ser compleja en el caso de que la geometría de estos no sea reducible a prismas de generatrices verticales. En cualquier caso, los objetos del entorno pueden ser definidos en proyección cilíndrica obteniendo un número de puntos suficiente de su contorno aparente visto desde el punto objeto de estudio, y calculando su imagen correspondiente en proyección cilíndrica. Este procedimiento sería de aplicación, por ejemplo, en el caso de que hubiera que representar una superficie compleja, como puede ser el caso de un relieve topográfico.

#### **2.9.4.El procedimiento de Ferrer Gila para el cálculo de obstrucciones solares**

Como se ha visto hasta el momento, el cálculo de obstrucciones solares, precisa de la obtención de dos imágenes independientes, que al superponerse, informan de las trayectorias solares que quedan obstruidas por los objetos del entorno.

La primera imagen obtenida corresponde a las trayectorias solares y en esencia, se trata de una modalidad de carta solar, con la condición de que esta carta esté generada por proyección cónica. La otra imagen, en la que se muestran los objetos del entorno, debe estar realizada por la misma proyección con que se generó la carta, con el fin de que ambas imágenes resulten congruentes.

El procedimiento de Ferrer Gila<sup>20</sup> parte de la aplicación de la fotografía al cálculo de obstrucciones solares, sustituyendo las proyecciones estereográficas de las trayectorias solares y de los objetos del entorno por imágenes fotográficas; y aunque éstas pueden considerarse a efectos gráficos, equivalentes a proyecciones cónicas; conviene tener en cuenta que los sistemas ópticos de reducida distancia focal siempre introducen distorsiones, dado que su comportamiento no es lineal.

Las fotografías obtenidas para el cálculo de obstrucciones deben estar realizadas con un objetivo cuya distancia focal sea lo mas corta posible, con el fin de cubrir un ángulo lo más próximo posible a los 180° sexagesimales. En este caso se ha utilizado una lente de 24 mm. de distancia focal, sobre la que se ha instalado un multiplicador óptico de factor 0.45; con lo que el sistema óptico resultante tiene una distancia focal de 10.8 mm. y permite cubrir un ángulo de 150° sexagesimales aproximadamente.

---

<sup>20</sup> FERRER GILA, J. (1987) *Cálculo de Obstrucciones solares mediante un Procedimiento Fotográfico*. S/E.

La obtención de la imagen que representa la carta solar se ha obtenido gracias a un modelo físico de la esfera celeste construido con alambre (con el radio suficiente como para introducir la cámara fotográfica en su interior) y dotado de un sistema de giro respecto de un diámetro contenido en el plano ecuatorial (que permite posicionar la esfera celeste según la latitud en la que se quieran estudiar las obstrucciones.) La posición de la cámara es tal que su eje óptico coincide con el zenit del lugar.

La fotografía así obtenida recoge las trayectorias solares correspondientes a los solsticios y equinoccios, además de los meridianos horarios. Las curvas que aparecen en la fotografía no pueden definirse como proyección de las trayectorias del modelo físico, dado que las deformaciones introducidas por el sistema óptico no son controlables desde procedimientos gráficos. En cualquier caso, el procedimiento es válido, ya que las deformaciones ópticas sufridas por las trayectorias en la obtención de la primera foto son las mismas que sufrirán los objetos que producen las obstrucciones al ser fotografiados, a condición de que ambas fotografías, la que representa a las trayectorias y la que representa a los objetos, estén realizadas con la misma óptica.

Otra condición añadida para que la superposición de fotografías sea válida para el cálculo de obstrucciones, es que el eje óptico de la cámara coincida con la vertical del lugar; de modo que la imagen obtenida del entorno sea congruente con la fotografía de las trayectorias solares.

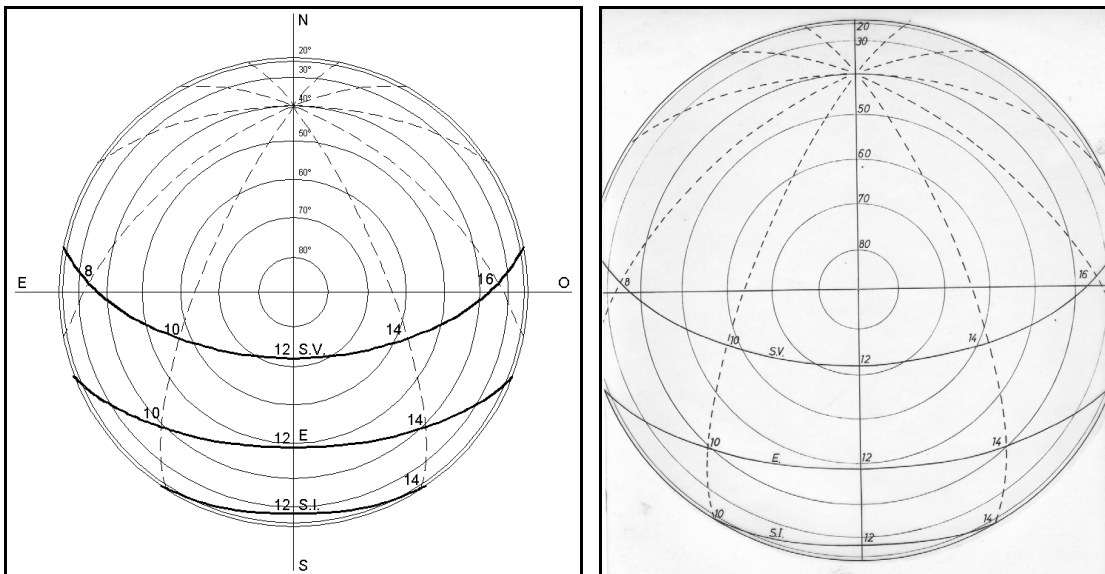


fig. 94: FOTOGRAFÍA DE LOS RECORRIDOS SOLARES SOBRE LA BÓVEDA CELESTE Y PLANTILLA DE LOS MISMOS PARA SUPERPOSICIONES

Aunque las fotografías pueden ser tomadas en cualquier orientación, es recomendable situar la cámara en una posición tal que el lado mayor del negativo coincida con la dirección este-oeste. Procediendo de este modo, al situar sobre la fotografía la plantilla con las trayectorias solares, no será necesario ajustar el azimut de la dirección norte en ambas imágenes.

A continuación se recogen algunos ejemplos de la aplicación del procedimiento. Las fotografías correspondientes al cálculo de obstrucciones han sido tomadas en la Universidad Politécnica de Valencia. Las curvas que representan las trayectorias solares y los meridianos horarios corresponden a una latitud  $\varphi=39^{\circ}30'$  N, de Valencia.

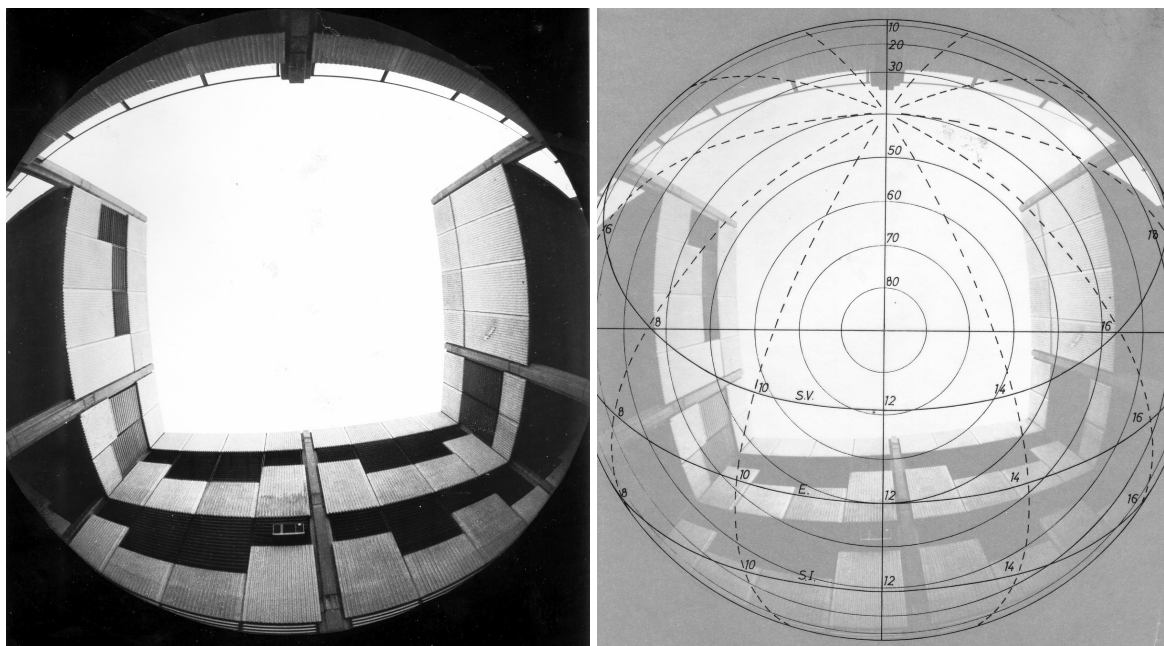


fig. 95: CÁLCULO DE OBSTRUCCIONES SOLARES MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE FERRER PARA UN PATIO DE ILUMINACIÓN DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

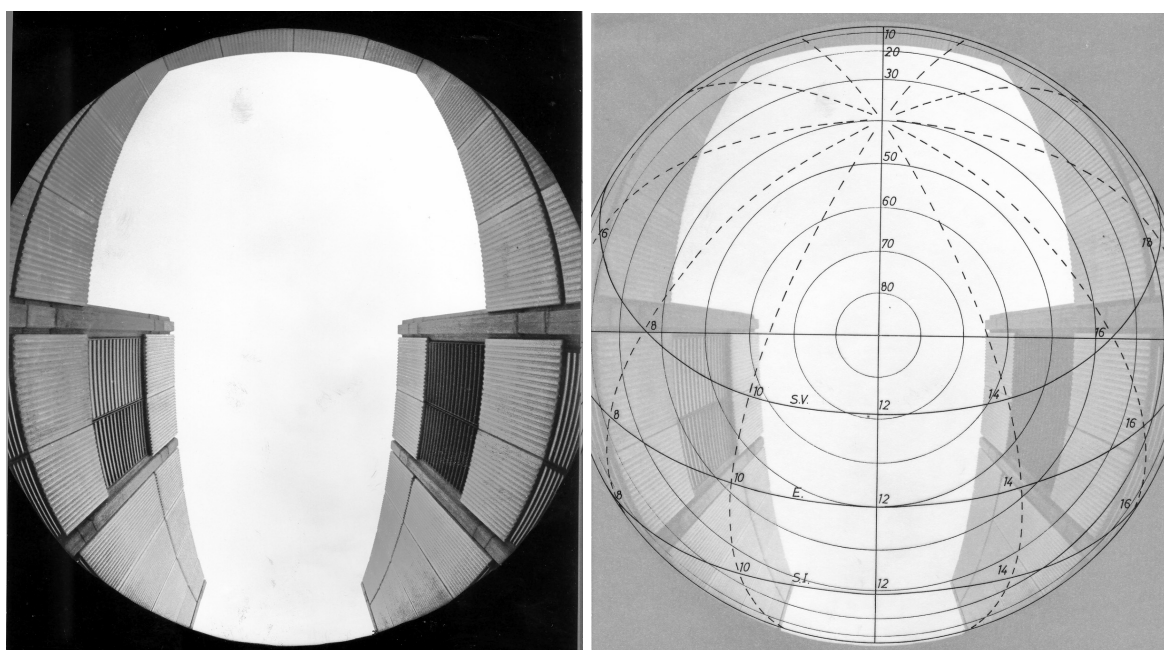


fig. 96: CÁLCULO DE OBSTRUCCIONES SOLARES MEDIANTE EL PROCEDIMIENTO DE FERRER PARA EL ACCESO NORTE DE LA ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE ARQUITECTURA. UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA.

La principal virtud de este procedimiento para el cálculo de obstrucciones solares, radica en el hecho de que las imágenes de los objetos que producen las obstrucciones son fotografías, lo que permite el cálculo de obstrucciones creadas por objetos cuya geometría sea difícil de abordar desde procedimientos gráficos convencionales.

Es de especial relevancia la aplicación del procedimiento al cálculo de obstrucciones producidas por la topografía del terreno, dado que el cálculo de perfiles y enfiladas (de gran complejidad desde los sistemas cilíndrico y estereográfico) es sustituido en este caso por una fotografía del entorno topográfico, tomada con las especificaciones propias para su uso en el cálculo de obstrucciones.

### 2.9.5.El procedimiento de Regot y Mesa para el cálculo de obstrucciones solares

En el VI Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica, celebrado en Pamplona, a principios de mayo de 1996, Joaquín Regot y Andrés Mesa, de la Universidad Politécnica de Catalunya, presentaron una ponencia bajo el título: *“Una nueva alternativa al estudio tridimensional de la obstrucción solar en los Espacios urbanos. La idea y la construcción gráfica de los diagramas planos de obstrucción solar.”*<sup>21</sup> En dicha ponencia se proponen dos procedimientos distintos, basados en la aplicación de los programas CAD a la problemática del cálculo de obstrucciones solares.

Definido un entorno urbano por su ubicación, su geometría y su orientación, dichos programas permiten la obtención de proyecciones cónicas del mismo desde cualquier punto y en cualquier dirección. La definición tridimensional de la esfera celeste en este mismo entorno, hace que las proyecciones cónicas obtenidas incluyan también las trayectorias solares contempladas desde el punto objeto de estudio. La validez del procedimiento impone la condición de que el centro de la esfera celeste se sitúe en el punto donde se pretenden calcular las obstrucciones, y de que el azimut de la dirección norte sea coincidente para el entorno y para la esfera celeste.

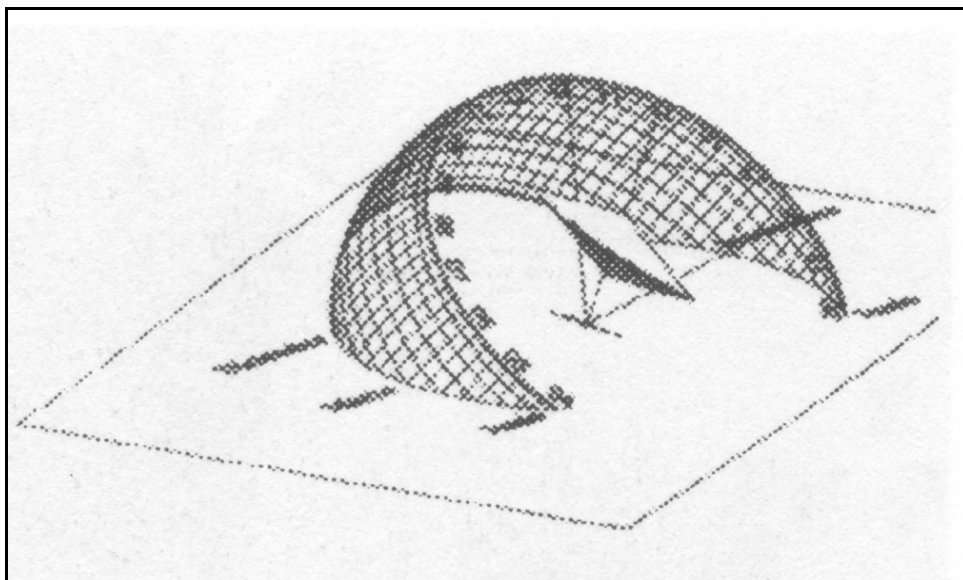


fig. 97: CALCULO DE OBSTRUCCIONES. PROCEDIMIENTO DE REGOT Y MESA. PROYECCION DE LAS TRAYECTORIAS SOLARES

<sup>21</sup> REGOT, J, MESA, A, (1996) *Una nueva alternativa al estudio tridimensional de la obstrucción solar en los Espacios urbanos. La idea y la construcción gráfica de los diagramas planos de obstrucción solar.* Actas del IV Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica. Pamplona.

En la imagen se muestran el modelo tridimensional de la esfera celeste, y la proyección cónica de una porción de la misma sobre un plano cualquiera, que se ha elegido como plano del cuadro. Dicha proyección cónica es una imagen plana de una porción de las trayectorias solares.

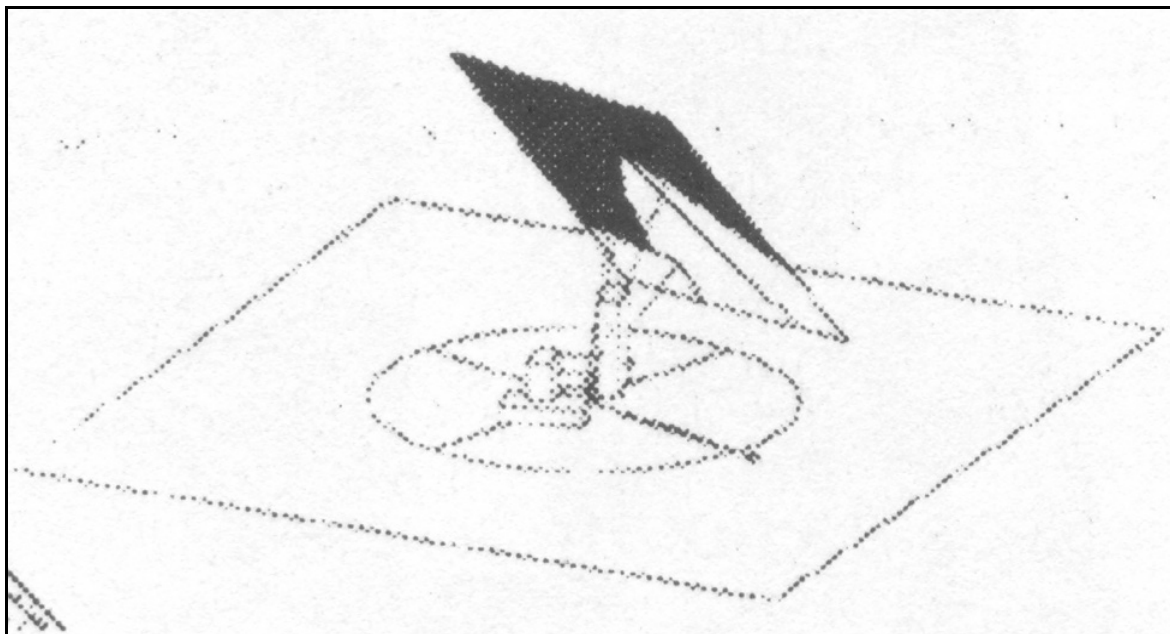


fig. 98: CALCULO DE OBSTRUCCIONES. PROCEDIMIENTO DE REGOT Y MESA. PROYECCION DE LA GEOMETRIA DEL ENTORNO

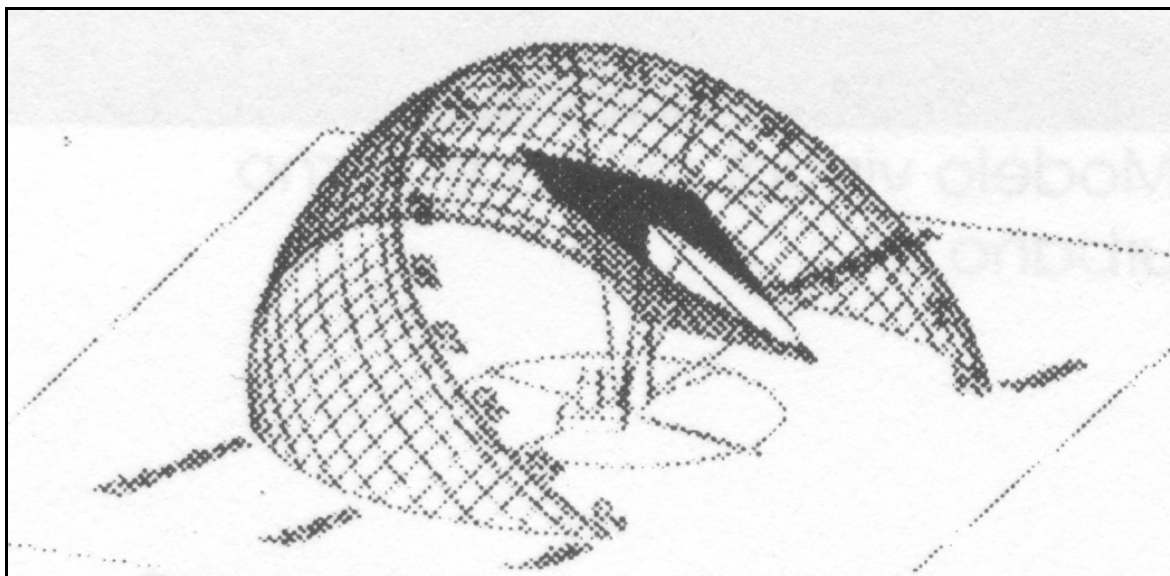


fig. 99: CALCULO DE OBSTRUCCIONES. PROCEDIMIENTO DE REGOT Y MESA. SUPERPOSICION DE IMÁGENES

Si desde el mismo punto, y en la misma dirección se obtiene una proyección cónica del entorno, ambas imágenes resultan congruentes. Las imágenes pueden ser proyectadas simultáneamente sobre un plano del cuadro único, lo que produce una imagen que permite definir las obstrucciones en el punto estudiado.

Para el análisis del procedimiento, Regot y Mesa proponen el estudio de un entorno urbano en la ciudad de Barcelona, con unas coordenadas geográficas B: (41°24' N, 2°09' E). El ajuste de la posición de la esfera celeste para la latitud de Barcelona se sitúa disponiendo el eje de la esfera celeste formando un ángulo con el plano del horizonte

igual a la latitud del lugar. El análisis se circunscribe al cruce de la Avenida Diagonal con la Calle Balmes, donde se encuentra situado el edificio del Banco Atlántico. La modelización geométrica del entorno así definido supone generar los volúmenes de las edificaciones. Partiendo de su planimetría se les asigna la altura de modo que el volumen resulte representativo a efectos del cálculo de obstrucciones solares.

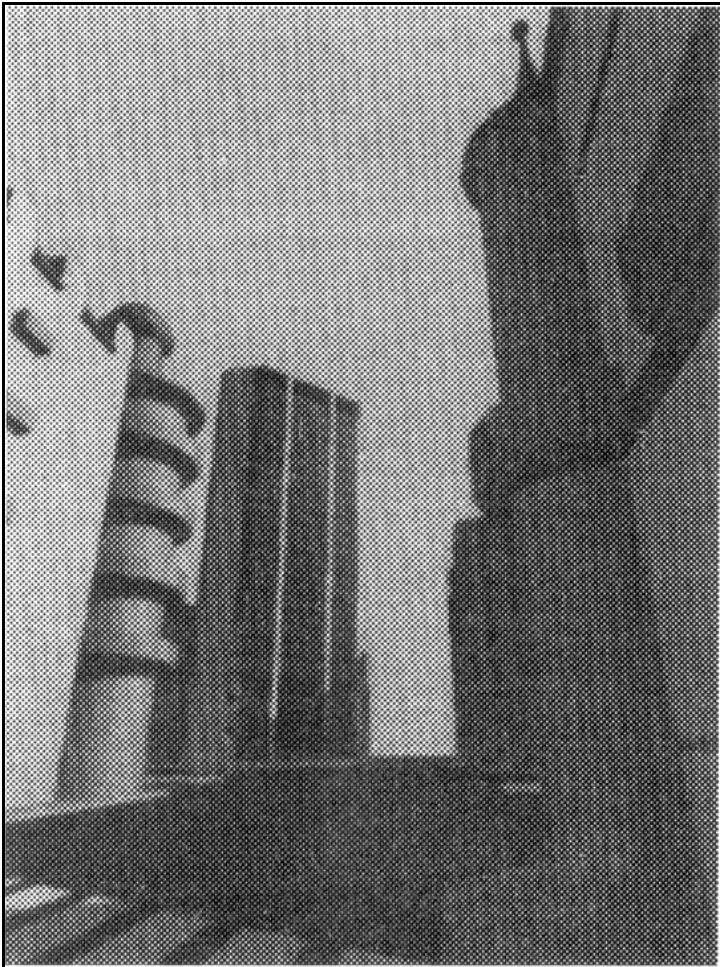


fig. 100: MODELIZACIÓN GEOMÉTRICA DEL ENTORNO URBANO. CRUCE DE LA C/BALMES CON AVDA DIAGONAL, BARCELONA .

Definido el modelo geométrico del entorno, y situando el centro de la esfera celeste en el punto objeto de análisis, con las trayectorias solares y los meridianos horarios, se puede obtener cualquier proyección cónica desde éste punto en cualquier dirección.

El primer procedimiento propuesto para el cálculo de obstrucciones solares, parte de la necesidad de cubrir el mayor ángulo posible con la imagen obtenida. La proyección cónica sobre un plano es capaz de representar todo el espacio en una única proyección, a excepción del plano de desvanecimiento, paralelo al plano del cuadro. Un modo de soslayar este inconveniente es representar la totalidad del espacio circundante al punto objeto de análisis, utilizando como planos del cuadro las caras de un poliedro centrado con el punto.

En el ejemplo que se desarrolla se ha elegido un hexaedro o cubo, de modo que sus seis caras sirvan como planos del cuadro para sendas proyecciones cónicas. Al desarrollar las caras del cubo sobre un plano, se obtienen seis proyecciones cónicas que



representan la totalidad del espacio que circunda al punto objeto de análisis. Cabe destacar que las aristas que limitan las imágenes, al ser comunes a dos caras, permiten entender la continuidad del espacio representado. A continuación se muestra el desarrollo de las caras del cubo sobre las que se han efectuado las proyecciones cónicas correspondientes.

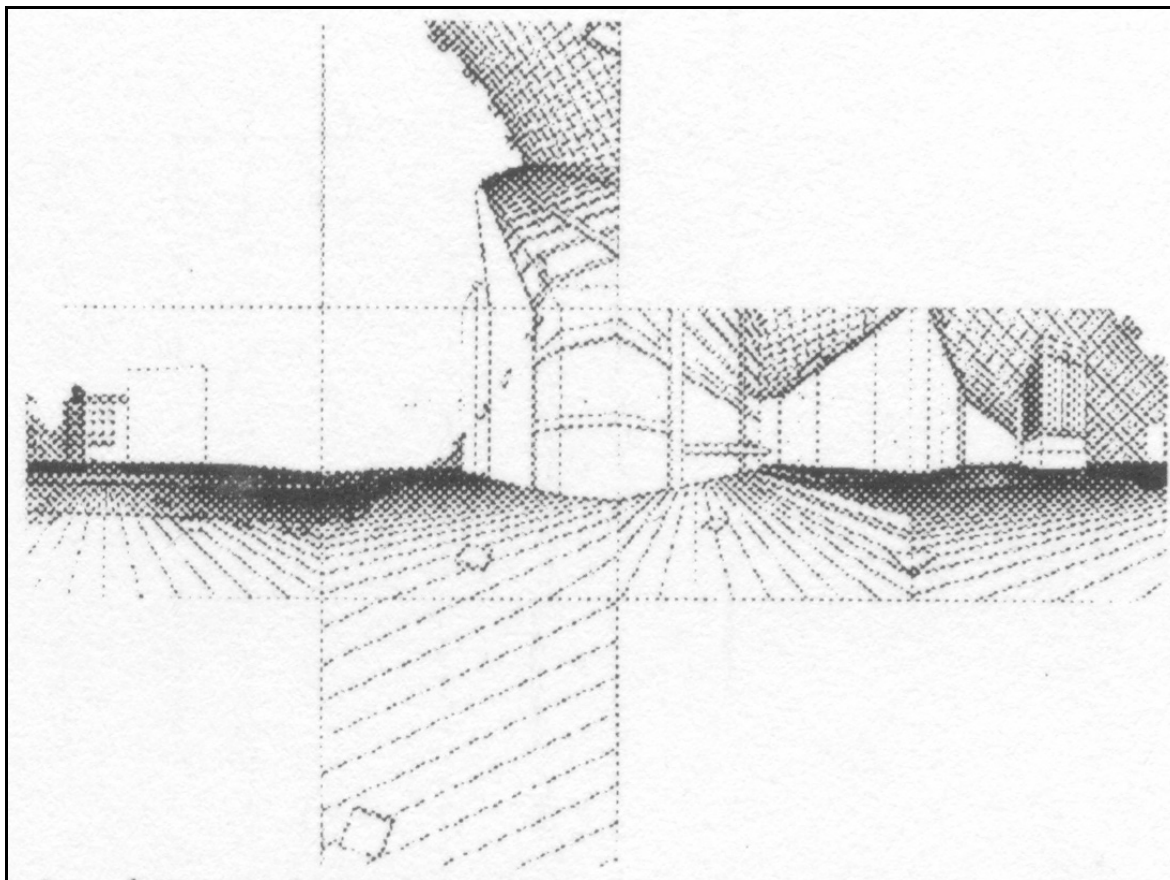


fig. 101: DESARROLLO DE LA PROYECCIÓN DE OBSTRUCCIONES SOBRE LAS CARAS DE UN HEXAEDRO.

El otro procedimiento propuesto para el cálculo de obstrucciones solares es un procedimiento mixto de superposición de imágenes. Dado que la imagen de la esfera celeste se puede obtener por proyección cónica desde un punto, dicha imagen puede, a su vez, superponerse a una fotografía convencional, (analógica o digital) a condición de que el objetivo con el que se ha obtenido la fotografía sea lineal, y que eje del sistema óptico coincida con la dirección del rayo principal de la proyección cónica.

Como en todos los cálculos de obstrucción solar, las fotografías utilizadas deben ser congruentes con la proyección de la esfera celeste, y la orientación de las imágenes respecto del azimut de la dirección norte debe ser el mismo. La mayoría de programas CAD cuentan con instrucciones que permiten adecuar la proyección cónica obtenida a un valor de distancia focal de ópticas convencionales, lo que facilita considerablemente el ajuste de las imágenes obtenidas.

Conviene tener en cuenta que la porción de esfera celeste representada no es la totalidad de la misma; por lo que un estudio exhaustivo de las obstrucciones solares obligaría, en este caso; a hacer un número suficiente de fotografías del entorno para cubrir la mayor porción de cielo posible, o al menos; la totalidad de las trayectorias

solares. El procedimiento se muestra idóneo para el estudio, como sucede en este caso, de las sombras arrojadas por un objeto único.

A continuación se muestra una imagen de superposición fotográfica de las trayectorias solares a una fotografía del entorno analizado.



fig. 102: SUPERPOSICIÓN DE UNA FOTOGRAFÍA DEL ENTORNO SOBRE LAS TRAYECTORIAS SOLARES

## 2.10. Validez de los métodos gráficos para el cálculo de obstrucciones solares

Como se ha visto, el cálculo de obstrucciones solares permite definir en qué periodos a lo largo del año un punto concreto queda oculto a la incidencia de la radiación solar por los objetos de su entorno. Dado que todos los procedimientos necesitan de la obtención de dos imágenes obtenidas desde el mismo punto de vista, una del entorno y la otra de la esfera celeste, es imprescindible que la proyección empleada en ambas representaciones sea cónica.

Con independencia del procedimiento adoptado, y una vez definida la ubicación geográfica del punto objeto de análisis y la geometría del entorno, los resultados obtenidos son análogos. Estos datos, pese a proveer información de lo que sucede en el punto durante todo el año, son válidos en exclusiva para el punto en cuestión, y no lo son para ningún otro punto.

Para el estudio de las obstrucciones solares en otro punto incluido en el entorno, la imagen obtenida de la esfera celeste puede considerarse válida, si el entorno no

sobrepasa las dimensiones calculadas en el punto 2.8.4. del presente estudio. La imagen del entorno en otro punto debe ser calculada de nuevo, ya que la proyección cónica de las obstrucciones será distinta, al haber variado el punto de vista.

De este modo, el estudio de obstrucciones solares para los entornos de dimensiones habituales en arquitectura y urbanismo está condicionado en exclusiva por la ubicación del punto objeto de estudio dentro del entorno, y no por el tiempo, ya que representa la evolución completa a lo largo del año de la incidencia solar sobre el punto. Respecto de la vigencia de los datos obtenidos por el cálculo de obstrucciones solares, puede hacerse un estudio comparativo con los valores proporcionados por el vector solar en la siguiente tabla:

	vector solar	obstrucción solar
vigencia espacial	válido para un área relativamente extensa.	válido exclusivamente para un punto.
vigencia temporal	válido exclusivamente para un momento concreto.	válido para todo el año.

El análisis del comportamiento de un entorno a la incidencia solar deberá hacerse desde uno de los dos procedimientos expuestos hasta el momento, optando por uno u otro en función de qué se quiera estudiar.

Si se pretende determinar cuáles son las sombras propias y arrojadas por la totalidad de los objetos del entorno, deberá optarse por el cálculo del vector solar, teniendo en cuenta que los resultados obtenidos son válidos exclusivamente para un día del año y a una hora concreta. El estudio de las sombras propias y arrojadas por los objetos de un entorno un minuto después del momento estudiado, o bien un día distinto del estudiado obliga a repetir los cálculos, dado que la variación de la dirección del vector solar para distintos momentos debe ser tenida en cuenta.

Por el contrario, si se pretende conocer en qué periodos del año un punto concreto del entorno está en sombra, el estudio deberá abordarse desde el cálculo de las obstrucciones solares, teniendo en cuenta que los datos obtenidos son válidos en exclusiva para el punto de análisis. Una variación en la posición del punto objeto de estudio hace que la variación de la imagen de las trayectorias solares sobre la esfera celeste no sea significativa; pero en cambio, la variación de la imagen de los objetos del entorno en la proyección que definen las obstrucciones sí que puede ser significativa, lo que obliga a obtener las proyecciones de las obstrucciones para la nueva posición del punto analizado.

**El objeto del presente estudio es definir un procedimiento de análisis de la incidencia solar en un entorno amplio, extensible a todo el año, soslayando así los inconvenientes del cálculo del vector solar (válido en exclusiva para un momento del año) y el del cálculo de las obstrucciones solares (válidas en exclusiva para un solo punto del entorno.)**



## Parte II: El factor de obstrucción solar

### 3. El concepto del factor de obstrucción

El estudio de la incidencia de la radiación solar mediante el cálculo de obstrucciones solares, permite calcular en qué intervalos de un periodo de estudio un punto concreto incluido en un entorno se encuentra expuesto u oculto a la radiación solar, y por tanto, en luz o en sombra.

El diagrama de obstrucciones obtenido para dicho punto permite conocer para un periodo cualquiera la duración de los intervalos de luz y sombra que le corresponden, en función de la envolvente geométrica de los objetos del entorno, y las coordenadas geográficas del lugar.

El factor de obstrucción solar se define para un periodo de tiempo, y para un punto concreto como el cociente entre la duración del intervalo en que dicho punto está en sombra dividido entre la duración total del periodo estudiado, en que podría recibir radiación solar si no existieran obstáculos en el entorno.

$$F = \frac{N_s}{N_t} ; \text{ siendo los valores}$$

$F$ = Valor numérico del factor de obstrucción solar.

$N_s$ = Duración del intervalo en que el punto está oculto a la radiación solar.

$N_t$ = Duración total del periodo estudiado.

Dado que se trata de un cociente entre dos magnitudes escalares homogéneas, el factor de obstrucción es un escalar adimensional. Los dominios de los valores de  $N_s$  y  $N_t$  son tales que para cualquier periodo estudiado se verifica:

$$N_s \leq N_t$$

Por ello, el rango del valor numérico del factor de obstrucción solar se encuentra comprendido entre los valores:

$$0 \leq F \leq 1$$

Los valores extremos del dominio del factor de obstrucción solar se alcanzan, en el caso del valor  $F=0$ , cuando el punto en cuestión está expuesto a la radiación solar a lo largo de todo el periodo estudiado; y  $F=1$  se alcanza en el caso contrario, cuando el punto se encuentra oculto a la radiación solar a lo largo de todo el periodo estudiado. Cualquier otro valor numérico comprendido en el dominio representa el tanto por uno, respecto de la duración total del periodo, en que el punto estudiado se encuentra en sombra.

De este modo, definido un entorno, con una envolvente geométrica capaz de producir sombras propias y arrojadas, ubicado y orientado en una situación geográfica concreta, y elegido un periodo de exposición a la radiación solar, cada uno de los puntos de la superficie del entorno estudiado estarán expuestos, o bien quedarán ocultos a la radiación solar, durante unos intervalos del total del periodo estudiado. El cociente entre la duración del intervalo en sombra, respecto del tiempo total provee el valor del factor de obstrucción solar para cada uno de los puntos de la superficie estudiada.

A modo de ejemplo, elegido el entorno que se ha utilizado para ilustrar el estudio de la utilización de las cartas solares para el cálculo de obstrucciones, se puede cuantificar el Factor de obstrucción para el punto elegido durante un día concreto, en este caso para el 22 de marzo, equinoccio de primavera.

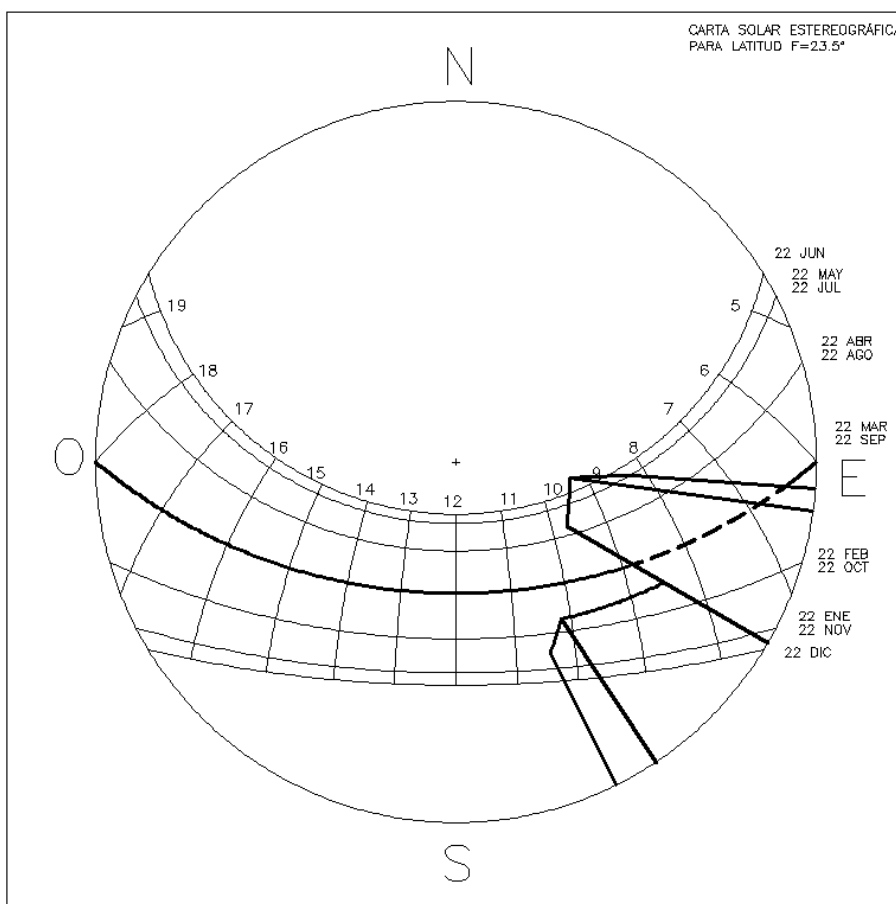


fig. 103: CALCULO DEL FACTOR DE OBSTRUCCIÓN PARA EL EQUINOCCIO DE PRIMAVERA.

Durante este día, los valores resultantes para  $Nt$  y  $Ns$  pueden evaluarse por lectura directa sobre la carta estereográfica, que resultan:

$Nt$ : Hora del orto: 6:00h. Hora del ocaso: 18:00h. En total 12h. En minutos: 720 min.

$Ns$ : Hora de Inicio: 6:30h. Hora del Fin: 8:45h. En total 2:15h. En minutos: 135 min.

$$F = \frac{Ns}{Nt}; \quad F = \frac{135}{720}; \text{ donde } F = 0,1875$$

El valor así obtenido para el factor de obstrucción representa el tanto por uno del tiempo total del periodo estudiado en que el punto objeto de estudio se encuentra en sombra. En este caso, y para el día 22 de marzo, el punto estudiado pasa en sombra el 18,75% de las horas totales de sol del día.

El periodo de tiempo estudiado puede hacerse extensivo a varios días consecutivos. En este caso debe pormenorizarse el estudio para cada uno de los días, ya que al variar la declinación para cada día estudiado, la trayectoria solar sobre la esfera celeste es distinta. En cambio, la imagen de las obstrucciones que producen la sombra será siempre la misma, dado que la posición relativa entre los objetos que producen la sombra, y el punto objeto de estudio no varía.

En el ejemplo siguiente se propone el estudio del factor de obstrucción en el punto considerado a lo largo de todo el año. Las trayectorias representadas sobre la esfera celeste son las correspondientes al día 22 de cada mes. Considerando cada uno de estos días representativo de las trayectorias del mes completo, puede obtenerse con suficiente aproximación el valor del factor de obstrucción para el punto considerado durante el periodo anual. Para ello es necesario calcular la hora del orto y el ocaso para cada uno de los días considerados, y la hora de comienzo y fin de la obstrucción. Los valores de  $Nt$  y  $Ns$  obtenidos resultan respectivamente del sumatorio de las horas totales de sol y de las horas en que el punto considerado se encuentra en sombra:

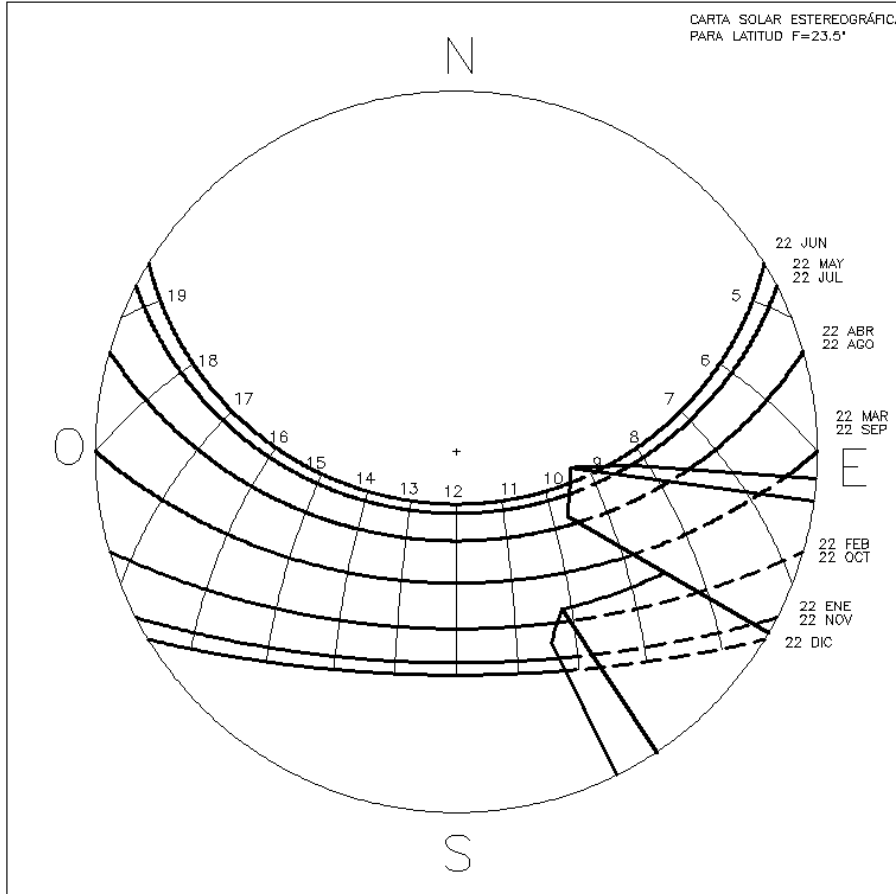


fig. 104: CALCULO DEL FACTOR DE OBSTRUCCION PARA EL DÍA 22 DE CADA MES

Día	Orto	Ocaso	Duración	Inicio Obs.	Fin Obs.	Obs.
22 Dic	7:30	16:30	9:00	7:30	10:10	2:40
22 Ene	7:15	16:45	9:30	7:15	10:15	3:00
22 Feb	6:45	17:15	10:30	6:45	10:10	3:25
22 Mar	6:00	18:00	12:00	6:30	8:45	2:15
22 Abr	5:15	18:45	13:30	7:30	9:30	2:00
22 May	4:45	19:15	14:30	8:15	9:20	1:05
22 Jun	4:30	19:30	15:00	8:45	9:15	0:30
Total			84:00			14:55
En Minutos		Nt=	5040		Ns=	895

Resultando:

$$F = \frac{Ns}{Nt}; \quad F = \frac{895}{5040}; \text{ donde } F = 0,17757$$

Para el cálculo del factor de obstrucción en un periodo anual se han considerado exclusivamente los meses comprendidos entre diciembre y junio, dado que la variación de la declinación a lo largo del año responde a una función senoidal, los valores obtenidos resultan simétricos respecto de un máximo o un mínimo. De este modo, si se hubieran hecho los cálculos para el periodo comprendido entre los meses de julio y diciembre se hubieran obtenido idénticos valores para  $Nt$  y  $Ns$ .

El valor obtenido representa el tanto por uno del total de tiempo disponible de radiación solar durante todo el año, en que el punto se encuentra en sombra. El mismo valor puede interpretarse en tanto por cien, resultando entonces que el 17,75% del tiempo disponible de soleamiento anual, el punto estudiado se encuentra en sombra.

Del mismo modo que sucede con los diagramas para el cálculo de obstrucciones solares, el valor del factor de obstrucción calculado es válido en exclusiva para el punto en cuestión, siendo necesario repetir los cálculos si el punto en el que se estudian las obstrucciones es distinto del considerado.

Para el cálculo del factor de obstrucción en el punto considerado durante un periodo anual se ha considerado el valor obtenido para el día 22 de cada mes como valor medio del mes estudiado. Dado que la función de variación de la declinación a lo largo del mes no es lineal, el valor medio del mes no coincide exactamente con el valor calculado, aunque puede aceptarse como primera aproximación al cálculo del valor del factor durante el periodo anual.

Un cálculo más riguroso del valor del factor de obstrucción exige una definición mas pormenorizada de los periodos de soleamiento y obstrucción, tomando mayor numero de días en los que se calcula el factor a lo largo del periodo estudiado.



### 3.1. Antecedentes y aproximaciones gráficas y analíticas al cálculo del factor de obstrucción

En el estudio de las obstrucciones solares la necesidad de establecer relaciones entre los intervalos de luz y sombra dentro de un periodo de tiempo, ya sea aplicada a un punto o a un área ha dado lugar a diversos procedimientos, de distinta naturaleza, encaminados a obtener datos que permitan cuantificar la duración de los periodos de luz y sombra.

Los enfoques desde los que cada autor ha abordado la problemática son múltiples y variados haciendo cada uno de los procedimientos hincapié en un aspecto concreto que lo diferencia de los otros procedimientos.

A continuación se recogen por orden cronológico aquellos procedimientos que o bien han servido de antecedente a la definición del Factor de obstrucción, o aportan información relevante de naturaleza similar a los datos aportados por el factor de obstrucción.

#### 3.1.1. El procedimiento de Herrero

El procedimiento que a continuación se describe está recogido en el libro: *Soleamiento y Energía Solar. Aplicaciones a la Edificación*,<sup>22</sup> cuyo autor es D. Miguel Angel Herrero, editado por el Servicio de Publicaciones de la Universidad Politécnica de Valencia en 1985.

El presente procedimiento va encaminado a definir dos parámetros distintos relacionados con el soleamiento de un área concreta sometida a obstrucciones solares; el porcentaje de insolación del terreno y el soleamiento del terreno. El porcentaje de Insolación del terreno para un instante, y definido para un área de estudio es el cociente entre la superficie en sombra y la superficie total del área estudiada.

El procedimiento permite cuantificar los intervalos que un punto concreto permanece en luz o en sombra dentro de un periodo concreto, lo que proporciona una información que puede entenderse como análoga respecto de la obtenida mediante el factor de obstrucción.

Delimitada un área concreta objeto de estudio, Herrero define el tanto por ciento de superficie soleada para una fecha concreta, es decir, estudiando el fenómeno de la obstrucción durante un periodo de un día.

Para ello se discretiza el área de estudio mediante una malla cuadrada, definiendo los puntos de intersección de la misma como puntos objeto de análisis respecto de su situación de obstrucción (punto en sombra) o no (punto al sol).

---

<sup>22</sup> HERRERO, M.A. (1985): *Soleamiento y Energía Solar. Aplicaciones a la Edificación*. Servicio de publicaciones de la UPV. Valencia.

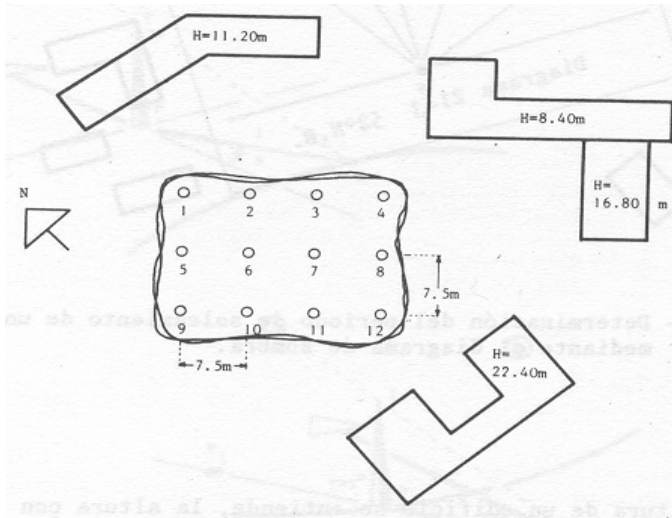


fig. 105: PROCEDIMIENTO DE HERRERO. DISCRETIZACIÓN DEL ÁREA OBJETO DE ESTUDIO.

Las condiciones que se establecen para realizar el estudio son las siguientes:

- El periodo de estudio es un número de horas comprendidas en un día. En concreto el análisis se aborda para equinoccios y solsticios.
- Se desprecian aquellas posiciones del vector solar cuya altura sobre el horizonte sea inferior al almicanarate 20° sexagesimales.
- El valor del intervalo en que queda dividido el periodo de estudio es de 30 minuto.

Aplicando el procedimiento para el día 21 de marzo, equinoccio de primavera, y estudiando la evolución de las sombras arrojadas por los objetos que configuran el entorno, se obtiene para cada punto la duración del intervalo de insolación. A partir de los datos obtenidos se rellena la tabla siguiente:

PuntoNº	PERIODO DE INSOLACION	HORA														
		8.30	9.00	9.30	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00	14.30	15.00	15.30
1	8.30-15.30	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
2	8.30-15.30	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
3	9.25-11.20/12.10-13.00/14.05-15.30			o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
4	10.15-11.55/15.00-15.30					o	o	o								
5	8.30-15.30	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
6	8.40-10.20/11.05-11.50/13.00-15.30		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
7	9.10-10.30/13.55-15.30				o	o	o									
8	9.10-10.55/15.10-15.30			o	o	o							o	o	o	o
9	8.30-9.25/10.10-10.35/11.40-15.30	o	o			o			o	o	o	o	o	o	o	o
10	8.30-9.25/12.25-15.30	o	o						o	o	o	o	o	o	o	o
11	8.30-9.25/13.35-15.30	o	o										o	o	o	o
12	8.30-9.25/15.20-15.30	o	o													o
NUMERO DE PUNTOS SOLEADOS		7	8	7	7	8	5	5	4	6	7	6	8	9	10	12
PORCENTAJE DE INSOLACION DEL TERRENO		58	67	58	58	67	42	42	33	50	58	50	67	75	83	100

En la tabla se recoge la situación de soleamiento correspondiente a cada punto para los intervalos definidos para el periodo estudiado. Dividiendo para cada intervalo el número de puntos soleados respecto del número de puntos totales se obtiene el porcentaje de insolación del terreno (PIT).

$$PIT = \frac{Nps}{Npt} * 100; \text{ siendo:}$$

$Nps$ = Número de puntos soleados durante el intervalo.

$Npt$ = Número de Puntos Totales.

El PIT proporciona información sobre el tanto por ciento de la superficie objeto de estudio que se encuentra en sol durante el intervalo al que se refiere. Su valor es válido para el intervalo estudiado y varía con el tiempo, con la evolución de las sombras arrojadas. El PIT permite definir el intervalo del periodo objeto de estudio, en este caso el día, en que el área objeto de estudio recibe un máximo o un mínimo de radiación solar.

De los datos obtenidos, el Dr. Herrero obtiene otras conclusiones, estas sí relacionadas con el concepto de factor de obstrucción. Dado que para cada punto se conoce su situación de sol o sombra para cada intervalo del periodo definido, se puede establecer que porcentaje del periodo estudiado el punto se encuentra en sol o en sombra. Dividiendo el número de intervalos que un punto está soleado respecto del total de intervalos del periodo se obtiene un escalar cuyo significado es análogo al definido para el factor de obstrucción.

Estudiando el fenómeno para el periodo comprendido entre las 12:00h y las 14:00h, que comprende cuatro intervalos de 30 minutos, clasifica los puntos en tres grupos en función de su situación de soleamiento en tres grupos:

- Permanentemente soleados.
- Sol y Sombra.
- Permanentemente sombreados.

Cuya representación gráfica sobre el área objeto de estudio es denominada por el Dr. Herrero como "Soleamiento del Terreno".

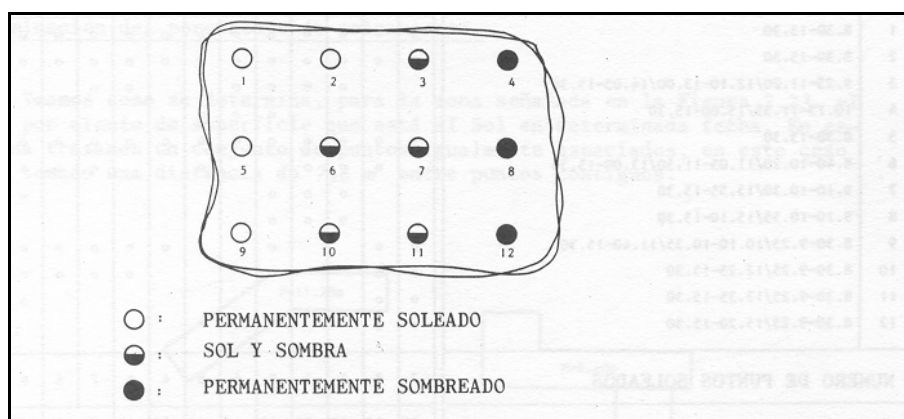


fig. 106: PROCEDIMIENTO DE HERRERO. SOLEAMIENTO DEL AREA OBJETO DE ESTUDIO.

Definido el procedimiento y su utilización, el Dr. Herrero aplica el procedimiento al estudio de la influencia de la orientación en el soleamiento del espacio comprendido entre dos bloques lineales paralelos de distinta altura.

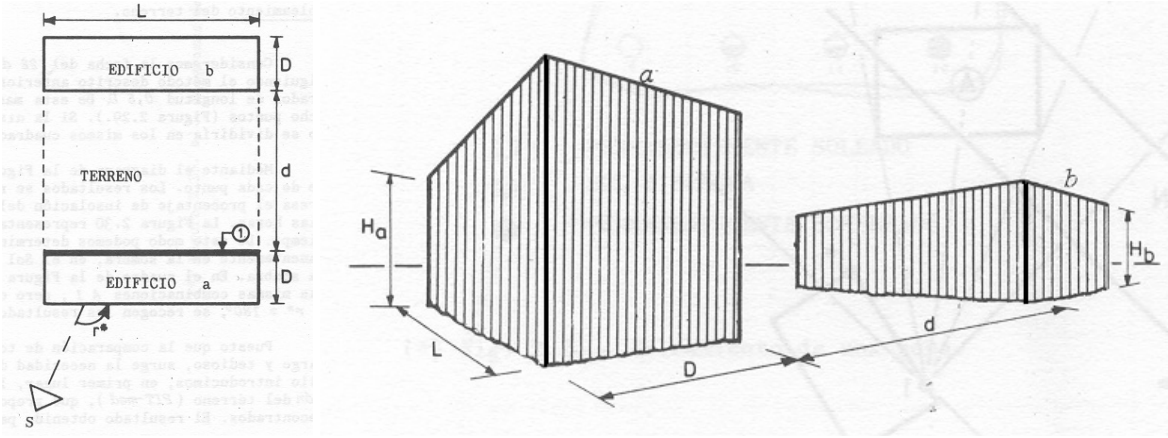


fig. 107: PROCEDIMIENTO DE HERRERO. DEFINICIÓN GEOMÉTRICA DE ENTORNO OBJETO DE ESTUDIO.

Definida la geometría de los bloques lineales, el periodo objeto de estudio está comprendido entre las 10:00h y las 14:00h dividido en intervalos de 30 minutos para el día 22 de diciembre, solsticio de invierno; se define sobre el área objeto de estudio una trama cuadrada en cuyas intersecciones se sitúan 48 puntos de control.

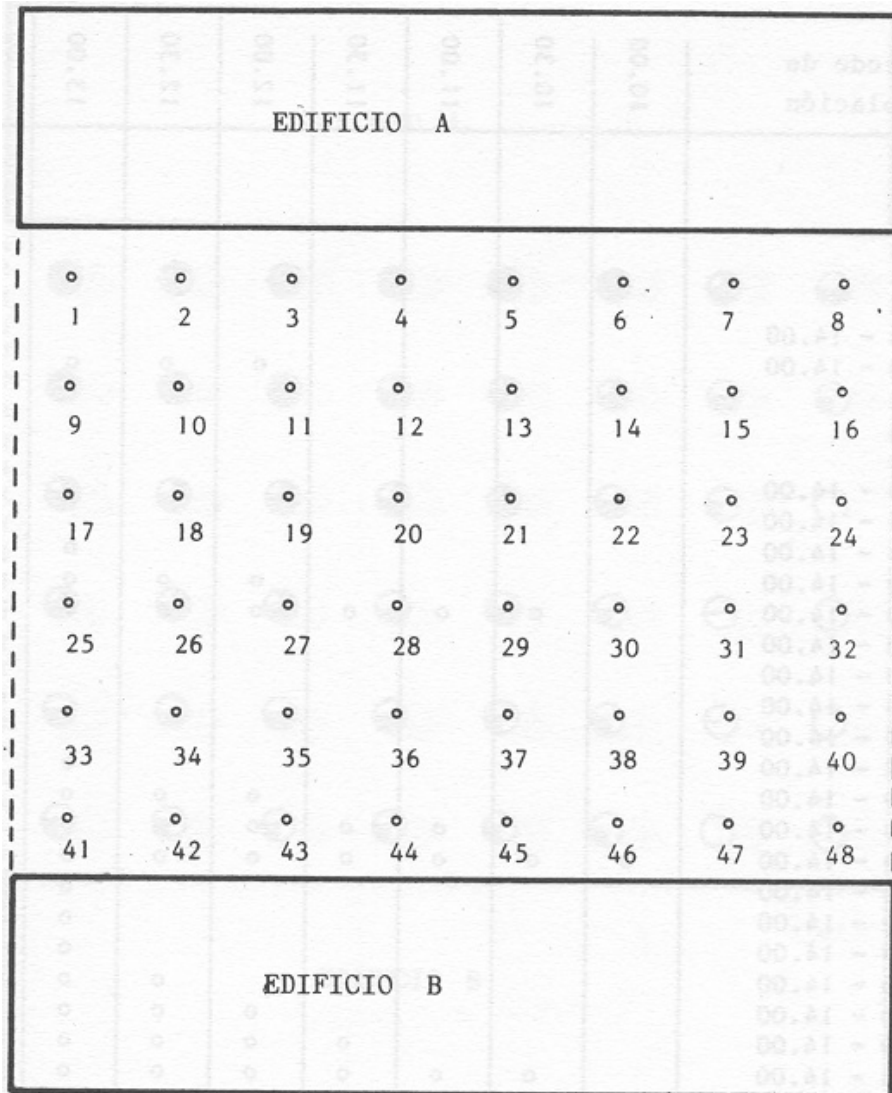


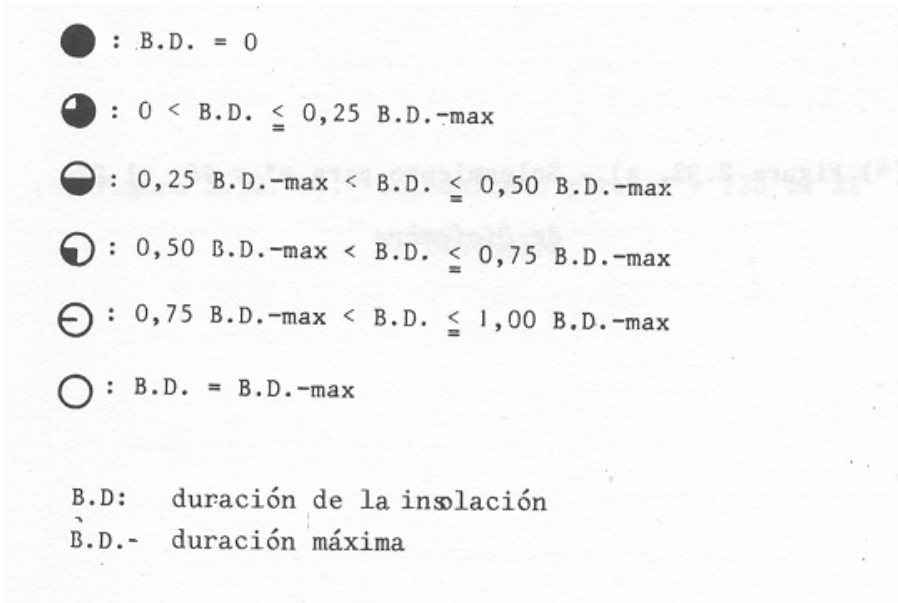
fig. 108: PROCEDIMIENTO DE HERRERO. DISCRETIZACIÓN DEL AREA OBJETO DE ESTUDIO.

El objeto del presente estudio es analizar la variación del soleamiento del área objeto de estudio en función de la orientación de los bloques respecto de la dirección norte-sur. Para ello se establecen tres orientaciones distintas:  $r^*=135^\circ$ ,  $r^*=90^\circ$  y  $r^*=180^\circ$ ,

Adoptando en primer lugar el valor de  $r^*=135^\circ$  y procediendo como en el caso anterior para determinar los intervalos de soleamiento correspondientes a cada punto de la matriz se obtiene la tabla siguiente:

Punto nº	Periodo de Insolación	10.00	10.30	11.00	11.30	12.00	12.30	13.00	13.30	14.00
1	-									
2	-									
3	-									
4	-									
5	-									
6	-									
7	13.55 - 14.00									o
8	12.00 - 14.00					o	o	o	o	o
9	-									
10	-									
11	-									
12	13.55 - 14.00									o
13	13.35 - 14.00									o
14	13.00 - 14.00							o	o	o
15	12.00 - 14.00					o	o	o	o	o
16	10.10 - 14.00		o	o	o	o	o	o	o	o
17	13.50 - 14.00									o
18	13.40 - 14.00									o
19	13.25 - 14.00								o	o
20	13.10 - 14.00								o	o
21	12.40 - 14.00							o	o	o
22	12.00 - 14.00					o	o	o	o	o
23	11.00 - 14.00			o	o	o	o	o	o	o
24	10.00 - 14.00	o	o	o	o	o	o	o	o	o
25	12.40 - 14.00							o	o	o
26	12.40 - 14.00							o	o	o
27	12.40 - 14.00							o	o	o
28	12.30 - 14.00						o	o	o	o
29	12.00 - 14.00					o	o	o	o	o
30	11.20 - 14.00				o	o	o	o	o	o
31	10.25 - 14.00		o	o	o	o	o	o	o	o
32	10.00 - 14.00	o	o	o	o	o	o	o	o	o
33	11.40 - 14.00					o	o	o	o	o
34	11.40 - 14.00					o	o	o	o	o
35	11.40 - 14.00					o	o	o	o	o
36	11.40 - 14.00					o	o	o	o	o
37	11.30 - 14.00				o	o	o	o	o	o
38	10.50 - 14.00			o	o	o	o	o	o	o
39	10.10 - 14.00		o	o	o	o	o	o	o	o
40	10.00 - 14.00	o	o	o	o	o	o	o	o	o
41	11.00 - 14.00			o	o	o	o	o	o	o
42	11.00 - 14.00			o	o	o	o	o	o	o
43	11.00 - 14.00			o	o	o	o	o	o	o
44	11.00 - 14.00			o	o	o	o	o	o	o
45	11.00 - 14.00			o	o	o	o	o	o	o
46	10.35 - 14.00			o	o	o	o	o	o	o
47	10.00 - 14.00	o	o	o	o	o	o	o	o	o
48	10.00 - 14.00	o	o	o	o	o	o	o	o	o
número de puntos		5	8	16	18	26	27	32	34	39
PIT		10	17	33	37	54	56	67	71	81

Del número de intervalos soleados para cada punto puede obtenerse, por cociente respecto del numero total de intervalos un escalar asimilable al factor de obstrucción, que discretizado en cuatro intervalos de amplitud 0.25 y dos valores extremos permite asignar a cada punto un icono representativo de su estado de soleamiento.



Asignados los iconos correspondientes a cada uno de los puntos de la matriz de puntos de control se obtiene la representación gráfica siguiente:

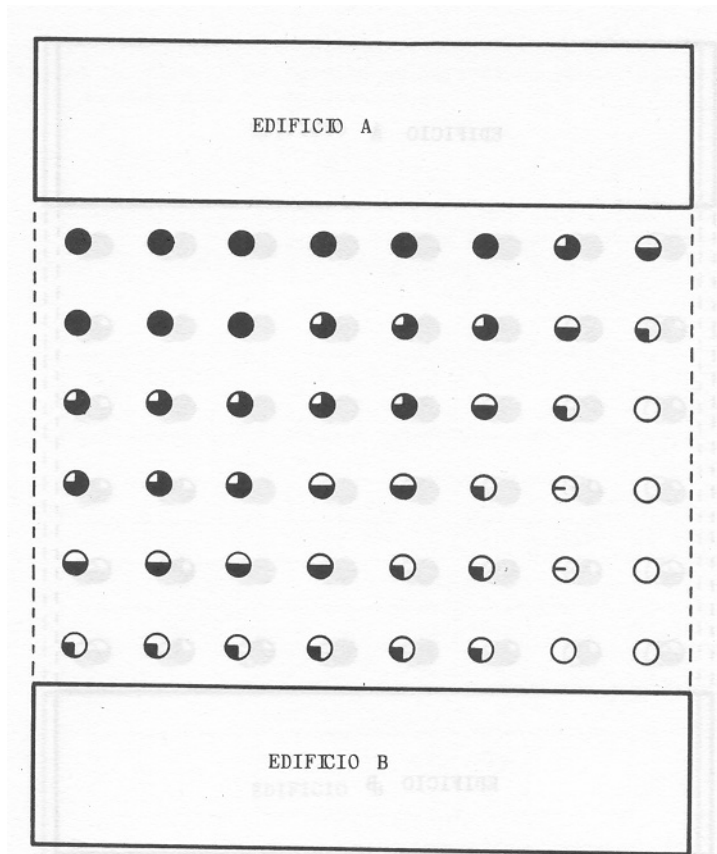


fig. 109: PROCEDIMIENTO DE HERRERO. SOLEAMIENTO DEL AREA OBJETO DE ESTUDIO PARA  $r^*=135^\circ$ .

Repitiendo el procedimiento completo de calculo de soleamiento para cada uno de los puntos de la matriz para los valores de  $r^*=90^\circ$  y  $r^*=180^\circ$  se obtiene las representaciones gráficas correspondientes:

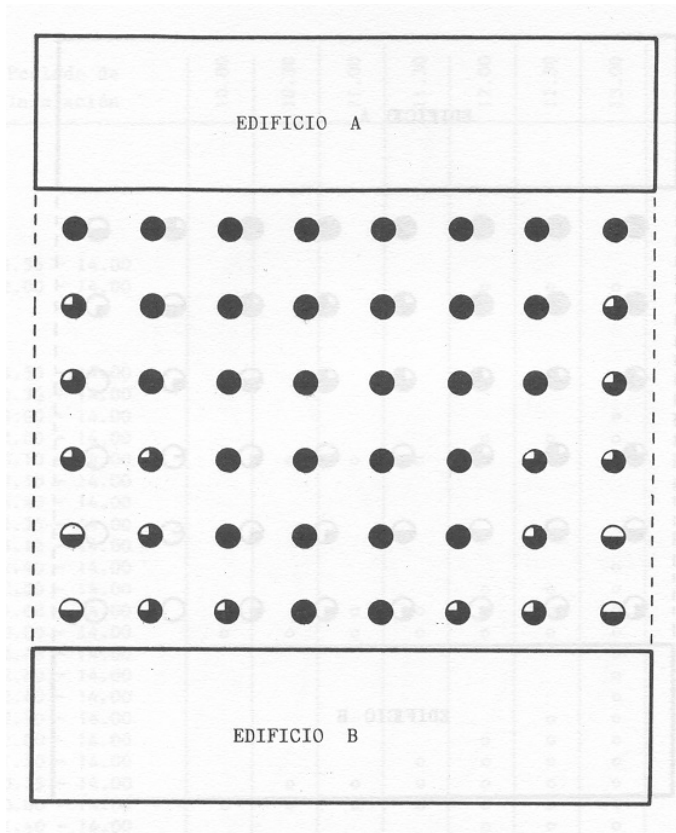


fig. 110: PROCEDIMIENTO DE HERRERO SOLEAMIENTO DEL AREA OBJETO DE ESTUDIO PARA  $r^*=90^\circ$ .

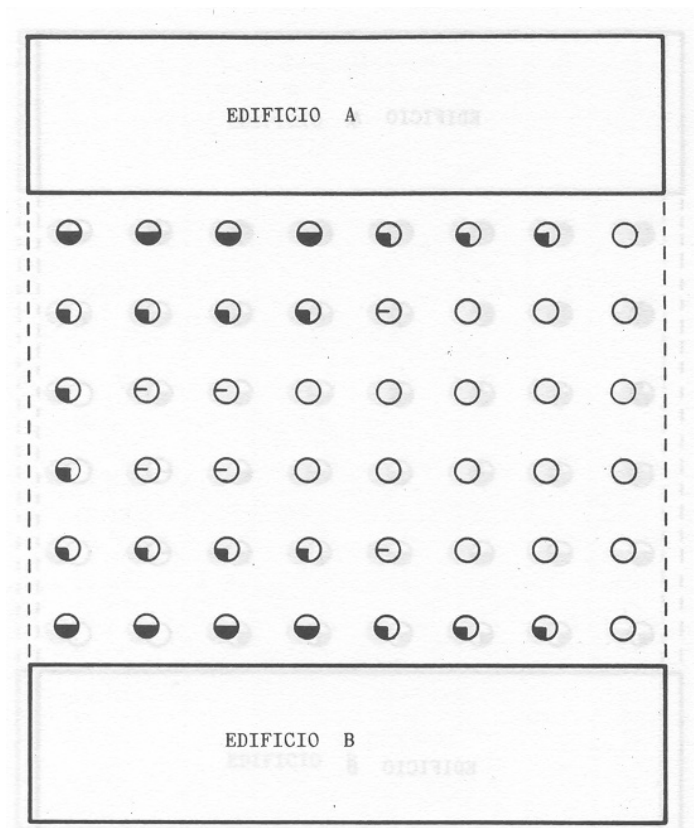


fig. 111: PROCEDIMIENTO DE HERRERO. SOLEAMIENTO DEL AREA OBJETO DE ESTUDIO PARA  $r^*=180^\circ$ .

El procedimiento de Herrero supone un claro antecedente a la definición del factor de obstrucción, en tanto que propone asignar cada uno de los puntos de un conjunto finito un escalar que representa la relación entre la duración del intervalo en sombra respecto de la duración total del periodo estudiado.

Su mayor inconveniente es la dificultad de aplicación, dado su carácter analógico, en el caso de que el número de puntos sea muy elevado, y el hecho de estar restringido a periodos relativamente cortos, y siempre limitados a un día concreto, lo que limita considerablemente la vigencia de los datos obtenidos, únicamente válidos para el periodo objeto de estudio.

### 3.1.2. El procedimiento de Shaviv y Yezioro

El presente procedimiento fue propuesto por los profesores Edna Shaviv y Abraham Yezioro de la Faculty of Architecture and Town Planning. Technion – Israel Institute of Technology. Haifa en 1994<sup>23</sup>. Dicho procedimiento fue expuesto en el artículo titulado “Analyzing mutual Shadows among buildings”.

El procedimiento propone un método para la evaluación de los derechos al sol y la producción de sombras arrojadas en entornos urbanos. El método se desarrolla como una herramienta CAD adaptada a las necesidades del procedimiento. La herramienta CAD permite evaluar las sombras propias y arrojadas por objetos de geometría compleja. Dicha herramienta, llamada “Shading” permite analizar, una vez definida la geometría del entorno y la ubicación geográfica, la ratio entre la superficie en sombra y la superficie total de un paramento concreto, o de una superficie horizontal, de un modo tanto visual como cuantitativo. Para ello los autores definen dos coeficientes complementarios. El coeficiente de sombreado geométrico, o *GSC* (Geometrical Shading Coefficient) y el coeficiente de insolación geométrica, o *GIC* (Geometrical Insolated Coefficient) cuyas expresiones matemáticas son:

$$GSC = \frac{S_s}{S_t}, \text{ y } GIC = \frac{S_i}{S_t}; \text{ donde:}$$

$S_s$ = Superficie en sombra del paramento.

$S_i$ = Superficie expuesta al sol del paramento.

$S_t$ = Superficie total del paramento.

Ambos coeficientes son complementarios en un instante dado, y su suma es igual a la unidad para dicho instante.

El procedimiento de evaluación de superficies en sol o en sombra está basado en un algoritmo que permite la obtención de proyecciones ortogonales del entorno a estudiar

<sup>23</sup> <http://www.technion.ac.il/english/site/architecture>



desde un punto de vista coincidente con la posición del sol en un instante concreto. En dicha imagen, dado que la dirección de proyección coincide con la dirección del Sol; no se aprecian sombras propias ni arrojadas y todas aquellas superficies que resulten vistas en dicha proyección se encuentran expuestas al sol, mientras que aquellas que resulten ocultas en la imagen permanecerán en sombra para este instante concreto.

Para la evaluación cuantitativa de los coeficientes  $GSC$  y  $GIC$  para un paramento concreto, y en un instante definido se generan dos proyecciones ortogonales desde la posición del sol. En la primera de ellas la imagen se obtiene omitiendo el algoritmo "ocultar", con lo que se puede evaluar el área total del paramento en dicha imagen. La segunda proyección se genera aplicando el algoritmo "ocultar", con lo que solo resulta visible el área del paramento expuesta al sol. Por cociente entre ambas magnitudes se obtiene el valor  $GIC$  para dicho paramento correspondiente a la posición del sol estudiada. El valor correspondiente a dicho instante para  $GSC = 1 - GIC$ .

El cálculo del grado de insolación de un paramento para un periodo diario o anual puede ser abordado por métodos iterativos, considerando suficiente un total de 150 imágenes para la evaluación del periodo anual. La evaluación de periodos se aborda desde el análisis de las sucesivas proyecciones ortogonales del entorno desde un mismo punto de vista suficientemente representativo, obtenidas como mapa de bits. En dichas imágenes el cambio de color de los bits en sombra permite su recuento, y por tanto la cuantificación de la superficie en sombra de cada paramento estudiado.

El procedimiento descrito se aplica al estudio del impacto de una nueva edificación sobre otra preexistente. Dado que en ambos casos se trata de establecimientos hosteleros, con instalaciones de piscina, el derecho al sol de la primera sobre la segunda puede ser evaluado de un modo satisfactorio, con el fin de tomar las decisiones necesarias encaminadas a mantener dicho derecho. Se evalúan dos propuestas distintas.

En las imágenes se muestra la proyección ortogonal del entorno estudiado desde la posición del sol el 22 de diciembre a las 9:00h, para las dos propuestas.

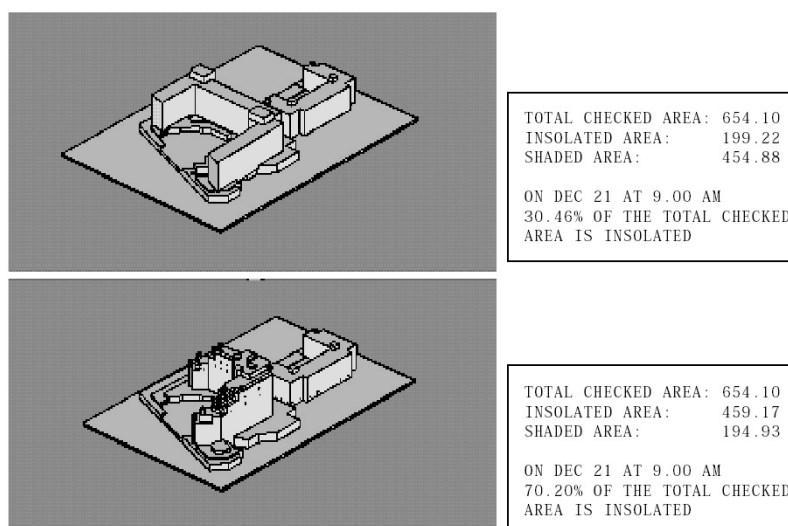


fig. 112: PROCEDIMIENTO DE SHAVIV Y YEZIORO. IMAGEN OBTENIDA DESDE LA POSICIÓN DEL SOL

Apreciándose que en el caso de la propuesta 1 el valor de  $GIC=30.46$ , mientras que en el caso de la propuesta 2 el valor de  $GIC=70.20$ .

Respecto del estudio de los periodos de soleamiento en la piscina del hotel que reclama su derecho al sol, la herramienta "Shading" proporciona las siguientes imágenes para el estudio del soleamiento:

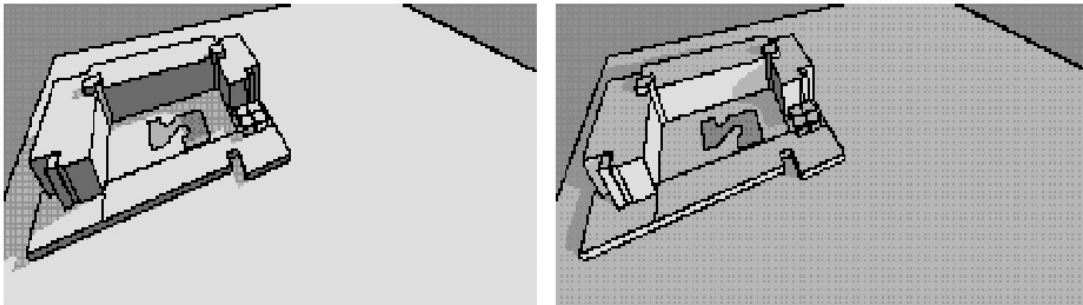


fig. 113: PROCEDIMIENTO DE SHAVIV Y YEZIORO. EVALUACIÓN VISUAL Y CUANTITATIVA DE LAS SOMBRAS AUTOARROJADAS POR EL HOTEL LAGUNAS SOBRE SU PROPIA PISCINA. IZQUIERDA 22 DE DICIEMBRE 11.00H, DERECHA: 22 DE DICIEMBRE 15.00H.

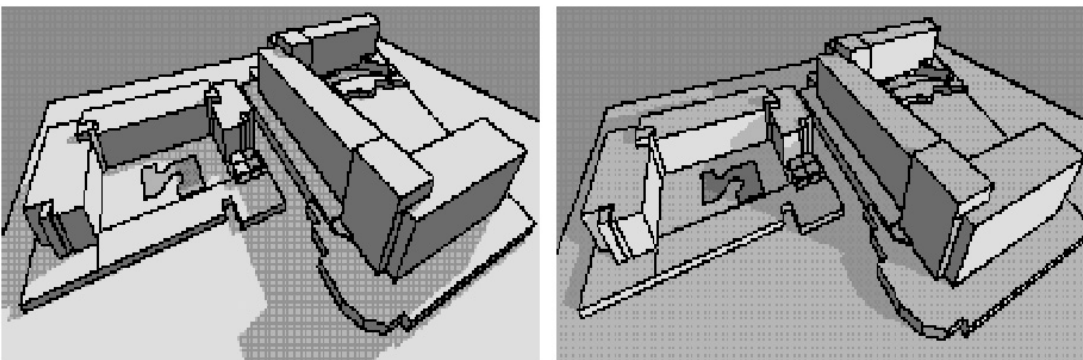


fig. 114: PROCEDIMIENTO DE SHAVIV Y YEZIORO. EVALUACIÓN VISUAL Y CUANTITATIVA DE LAS SUPERFICIES SOLEADAS DE ACUERDO CON EL PLANEAMIENTO EXISTENTE. IZQUIERDA 22 DE DICIEMBRE 11.00H, DERECHA: 22 DE DICIEMBRE 15.00H.

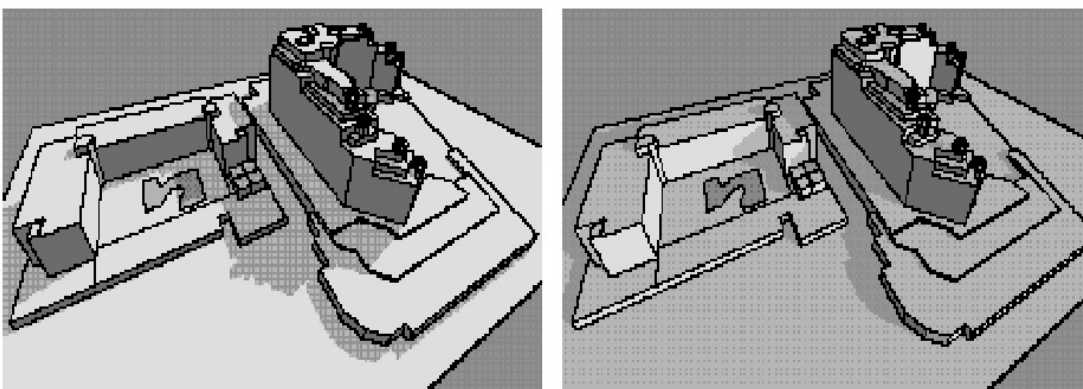


fig. 115: PROCEDIMIENTO DE SHAVIV Y YEZIORO. EVALUACIÓN VISUAL Y CUANTITATIVA DE LAS SUPERFICIES SOLEADAS DE ACUERDO CON EL PLANEAMIENTO PROPUESTO. IZQUIERDA 22 DE DICIEMBRE 11.00H, DERECHA: 22 DE DICIEMBRE 15.00H.

El procedimiento propuesto por Shaviv y Yezioro tiene como principales virtudes la sencillez de los conceptos que lo soportan. La imagen obtenida desde la dirección fijada por la posición del Sol en un instante concreto evidencia de un modo palmario cuáles son las superficies expuestas a éste al resultar visibles, resultando relativamente sencilla la evaluación para un momento concreto del tanto por ciento soleado para dicho paramento.

El procedimiento también evidencia la necesidad de generar secuencias de imágenes para estudiar la evolución del soleamiento durante un periodo definido, con el fin de extraer conclusiones sobre la evolución del soleamiento debido al cambio en la declinación. Los autores consideran el número de imágenes necesarias para representar la evolución completa del soleamiento en el periodo anual es de 150. Otro acierto del procedimiento es la utilización del color del píxel de imágenes del tipo mapa de bits como índice de que un punto concreto representado por un píxel se encuentra al sol o en sombra. Otra virtud del procedimiento de Shaviv y Yezioro es la posibilidad de obtener resultados tanto numéricos como gráficos, lo que facilita la comprensión de los fenómenos de soleamiento de un modo global.

Como principal inconveniente que puede dificultar la aplicación del procedimiento cabe destacar que los resultados obtenidos deben ser particularizados para cada uno de los paramentos que se pretenden analizar, siendo sólo posible el estudio de superficies planas, donde la relación entre la superficie iluminada y la superficie en sombra que aparece en cada una de las imágenes no varíe al cambiar el punto de vista.

### 3.1.3. El procedimiento de Woloszyn y Follut

Los profesores Philippe Woloszyn y Dominique Follut de la Ecole d'Architecture de Nantes, Francia, adscritos al CERMA (Centre de Recherche Metodologique D'architecture) publicaron en febrero de 2002 el artículo titulado "The Visualisation of Urban Ambients Parameters". En dicho artículo se define el concepto de "Ambiente" como la entidad perceptual resultado de la interacción entre los espacios urbanos o arquitectónicos y los fenómenos físicos que en ellos se desarrollan. Dichos ambientes someten a los seres humanos que los habitan a una inmersión sensorial de cuyo resultado resulta la percepción global del fenómeno urbanístico o arquitectónico, recuperando para ello la escala humana, y situando al observador en el centro del fenómeno.

El análisis previo del espacio y de los fenómenos físicos que alberga y el posterior análisis de la interacción entre ambos permite estructurar la percepción del entorno mediante modelos informáticos de realidad virtual que a su vez posibilitan el análisis y representación de las entidades complejas que Woloszyn y Follut definen como "Ambientes".

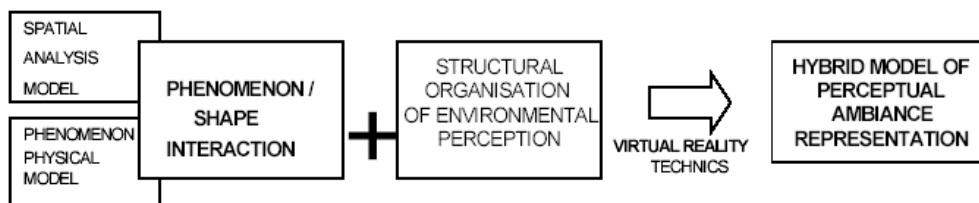


fig. 116: PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. ESQUEMA DE LAS INTERACCIONES QUE GENERAN UN "AMBIENTE".

El uso de las técnicas de realidad virtual posibilita el reconocimiento y análisis de los ambientes como resultado de la inmersión del observador en un medio urbano donde los fenómenos físicos que en él tienen lugar son cuantificados.

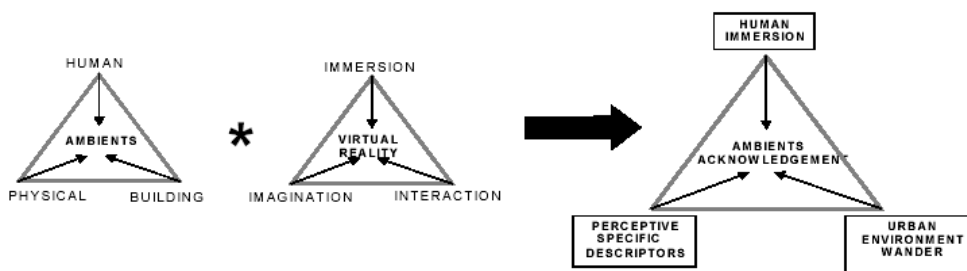


fig. 117: PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. RESULTADO DEL ANÁLISIS DE UN AMBIENTE MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL

Entre los fenómenos físicos que caracterizan un ambiente, Woloszyn y Follut enumeran los siguientes:

- incidencia solar;
- fenómenos higrótérmicos;
- fenómenos acústicos;
- vientos, circulación de aire y flujos aerodinámicos.

Respecto del estudio de la aportación de la incidencia solar a la configuración de un ambiente, se reconoce el resultado final como interacción entre la geometría del espacio urbano y los procesos de soleamiento, analizados desde el punto de vista del observador mediante los siguientes descriptores:

- el factor de visibilidad del cielo: refleja la importancia del ángulo sólido de cielo que el observador puede percibir desde un punto concreto.
- el factor de superficie vista de edificación: como el ángulo sólido de superficies construidas que el observador puede percibir desde un punto concreto.
- el factor de confinamiento como relación entre los dos descriptores anteriores, informa sobre el carácter abierto o cerrado de la percepción del espacio por el observador.

El análisis del soleamiento describe la radiación solar percibida por un observador situado en un punto concreto del espacio como el porcentaje de superficie de edificación soleada observable desde dicho punto. Esta descripción del soleamiento del espacio puede definirse mediante dos preguntas:

- ¿está el observador expuesto al sol?
- ¿cómo se configura el espacio visible en torno al observador?

Mientras que la primera pregunta puede responderse observando la simulación, la segunda necesita la definición de otros descriptores:

- relación entre caras visibles soleadas respecto de las caras visibles totales. Permite evaluar la percepción de superficies soleadas desde el punto de vista del observador.
- número y distribución visual de puntos iluminados por el sol (Puntos solares). Deriva del descriptor anterior, pero está también afectado por la calidad de las superficies sobre las que incide el sol y su capacidad de dispersión. La percepción de un único punto solar de gran tamaño es muy diferente a la percepción de un grupo de pequeños puntos solares.

- redistribución de puntos solares de acuerdo con los elementos urbanos. Atribuyendo valores distintos a cada uno en función de su posición, ya sea sobre el plano horizontal, fachadas o cubiertas.
- centro de gravedad de los puntos solares. Este descriptor calcula la posición del centro de gravedad de los puntos solares dentro del campo de visión del observador.

Para demostrar la validez del procedimiento se propone su aplicación a la comparación de tres espacios urbanos de morfología similar, aunque de distinta tipología. Se trata de tres calles, situadas en el casco histórico de Nantes, con una orientación predominante de dirección norte-sur en su trazado. La primera de ellas, la Rue des petites Ecuries responde a una tipología medieval; la segunda, la Rue Boileau con una tipología propia del s. XVIII y la tercera de ellas, la Rue de Strasbourg con una tipología de reforma interior propia del s. XIX.

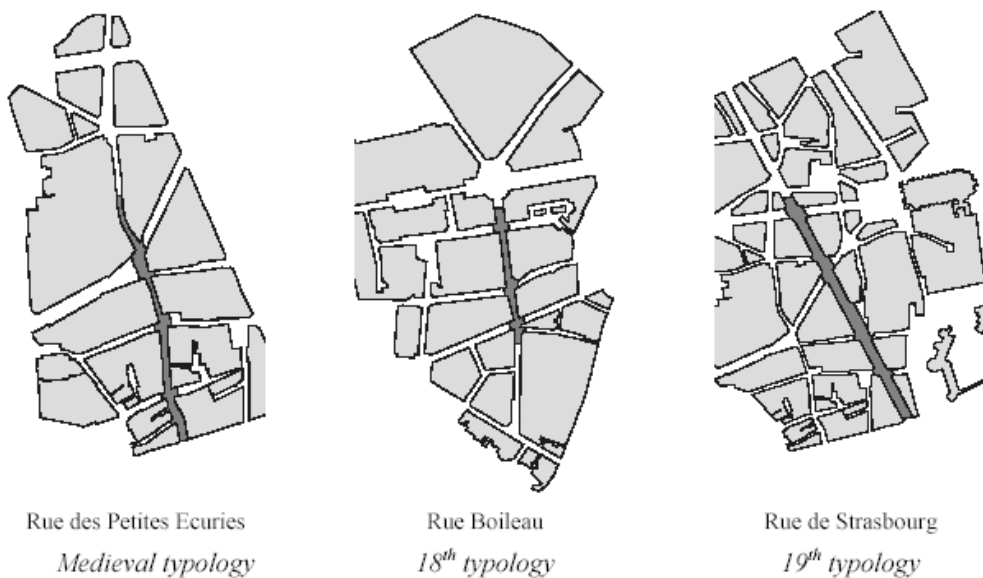


fig. 118: PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. ELECCION DE TIPOLOGIAS DE CALLE OBJETO DE ESTUDIO.

Woloszyn y Follut definen el “Paisaje iluminado por el Sol” (Solarscape) como la totalidad de fenómenos vinculados al soleamiento distribuidos en los espacios estudiados, que crean un ambiente solar perceptible para los usuarios de dichos espacios. De acuerdo con el procedimiento se calcula el valor de los descriptores arriba especificados, incluyendo la Relación entre caras visibles soleadas respecto de las caras visibles totales. Observando las tres calles en la dirección sur-norte, dicho descriptor evoluciona a lo largo del día, obteniendo como resultado los siguientes gráficos para las tres calles:

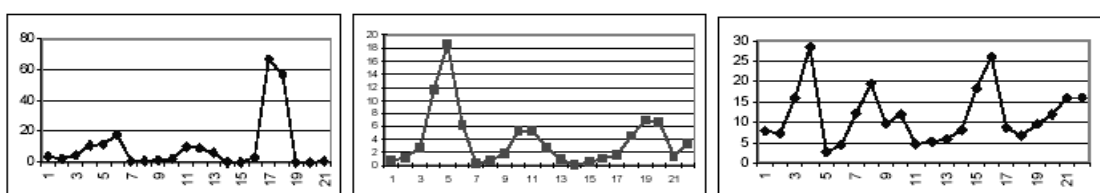


fig. 119: PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. PAISAJE SOLAR PARA LAS TRES CALLES ESTUDIADAS.

Del análisis del “Paisaje iluminado por el Sol” (Solarscape) obtenido para las tres calles pueden extraerse las siguientes conclusiones:

- para la misma orientación y el mismo periodo de observación se aprecian diferencias significativas debidas a la tipología de la trama urbana.
- los valores para cada calle analizada muestran fuertes variaciones debidas a su morfología local, interpretable como encrucijada o como plaza urbana.

De la superposición de los datos obtenidos mediante el “Paisaje iluminado por el sol” a un plano de la trama urbana de las tres calles pueden obtenerse gráficos en los que se evidencia la evolución espacial del descriptor calculado. En estos gráficos, llamados “Mapas Solares”, se asigna un valor de gris a cada punto del espacio estudiado en función del número de caras visibles soleadas desde dicho punto:

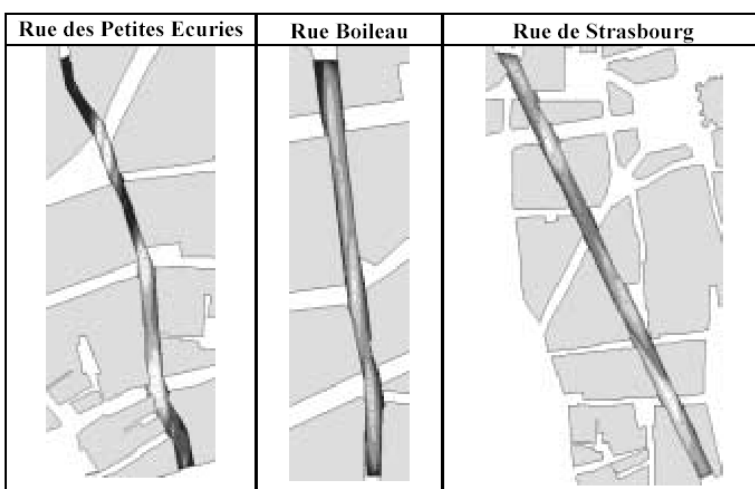


fig. 120: PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. MAPA SOLAR PARA LAS TRES CALLES ESTUDIADAS.

Otra representación sintética del “Ambiente Solar” que proponen Woloszyn y Follut es el cálculo de la posición del centro de gravedad del reflejo solar, y su evolución a lo largo del día.

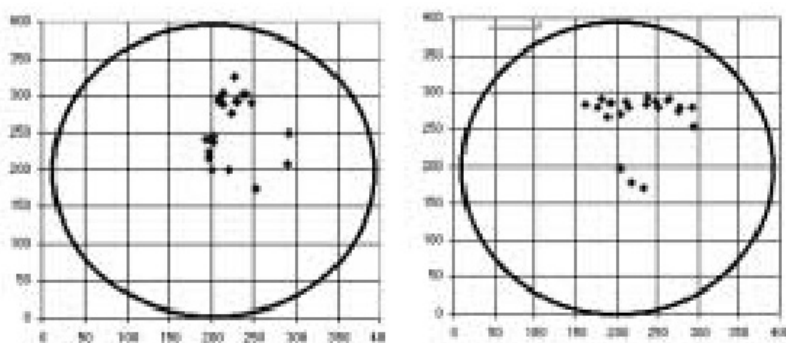


fig. 121: PROCEDIMIENTO DE WOLOSZYN Y FOLLUT. EVOLUCIÓN DEL CENTRO DE GRAVEDAD DEL REFLEJO SOLAR PARA LAS CALLES BOILEAU Y STRASBOURG.

El procedimiento de Woloszyn y Follut pretende una apreciación global de todos los fenómenos físicos que se producen en un espacio, y las relaciones mutuas entre el espacio urbano o arquitectónico y los fenómenos estudiados. Aunque el esfuerzo de entender todos los fenómenos de un modo integral tiene un indudable atractivo, este afán

de globalidad actúa en detrimento de la inteligibilidad de cada fenómeno en particular, y de las cuestiones derivadas del soleamiento en particular. Los datos obtenidos por este procedimiento son crípticos en exceso, y difícilmente extrapolables para la toma de decisiones sobre la modificación de la forma urbana, dado que las condiciones de soleamiento para una ubicación concreta no pueden ser modificadas.

En cualquier caso Woloszyn y Follut definen el descriptor “Relación entre caras visibles soleadas respecto de las caras visibles totales”, que presenta un evidente paralelismo respecto del concepto coeficiente de insolación geométrica, o GIC propuesto por Shaviv y Yezioro. En este caso el valor del descriptor está vinculado a la observación de un entorno desde un punto concreto y en una dirección determinada, y por tanto su valor es instantáneo y varía con el movimiento solar.

### 3.1.4. El procedimiento de Mesa, Quilez y Regot

Los profesores Andrés de Mesa, Joan Quilez y Joaquín Regot, Adscritos al Departamento de Expresión Gráfica de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Barcelona, de la Universitat Politècnica de Catalunya publicaron en el N°8 de la Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica, correspondiente al año 2003 un artículo titulado *Control gráfico y analítico mediante modelos 3D de la energía producida por la luz solar.*<sup>24</sup> Dicho trabajo es la continuación del artículo: *Una nueva alternativa al estudio tridimensional de la obstrucción solar en los Espacios Urbanos. La idea y la construcción gráfica de los diagramas planos de obstrucción solar* presentado en el VI Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica, celebrado en Pamplona en 1996, reseñado en la primera parte del presente estudio y de otro trabajo presentado en el eCAADe (Liverpool 1999) con el título *Sunlight energy graphic and analitic control in 3D modelling.*

El artículo propone el estudio de los fenómenos de incidencia solar y cálculo de obstrucciones desde la utilización de modelos informáticos, dada la gran capacidad para reproducir este tipo de fenómenos en entornos tridimensionales virtuales, y la posibilidad de control gráfico y numérico del fenómeno de modo simultáneo.

El modo de enfocar la cuestión, a diferencia del propuesto por Shaviv y Yezioro, en que se procedía al análisis de los fenómenos de soleamiento tomando como punto de vista la posición del sol, consiste en el estudio de entornos urbanos o arquitectónicos desde posiciones puntuales lo más representativas posibles que permitan obtener la totalidad de horas de sol/año para cada una de ellas.

Para abordar este tipo de análisis se propone la generación previa de un modelo tridimensional cuantificable del recorrido solar, adaptable a cualquier posición geográfica caracterizada por sus coordenadas geográficas latitud y longitud ( $\varphi, \lambda$ ) cuya interacción

---

<sup>24</sup> De Mesa, A, Quilez, J, Regot, J, (2003) *Control gráfico y analítico mediante modelos 3D de la energía producida por la luz solar.* Revista de Expresión Gráfica Arquitectónica N°8. Valencia

con un entorno tridimensional previamente definido permita cuantificar fácilmente las obstrucciones solares observables desde el punto de estudio.

Para una evaluación mucho más exhaustiva de la energía recibida por en entorno próximo del punto analizado se propone tener en cuenta la orientación del plano de recepción respecto de la dirección a la dirección de los rayos solares que inciden en el punto de análisis, puesto que solo así se puede aplicar la corrección correspondiente a la inclinación de la incidencia de los rayos solares sobre el plano de recepción.

De este modo, no solo se obtiene con gran exactitud la cantidad de horas de sol/año que recibe un punto concreto incluido en un entorno, sino que además esta información se complementa con la con la calidad de horas de soleamiento, todo ello controlado mediante un sistema de análisis numérico y gráfico simultáneo.

El trabajo se ha elaborado a través de diferentes módulos de aplicación completamente independientes constituidos por pequeñas rutinas informáticas que permiten resolver los diferentes problemas planteados por partes. Esta compartimentación del trabajo da lugar a que estos módulos se puedan utilizar en otros campos de actuación no estrictamente relacionados con problemas arquitectónicos o urbanísticos.

El primer problema resuelto por los autores es la sustitución de los clásicos diagramas solares por una entidad u objeto informático capaz de representar los recorridos solares sobre la bóveda celeste.

El segundo problema es determinar, sobre la base de un entorno definido y el objeto informático que representa las trayectorias solares anuales, los intervalos de obstrucción dentro del periodo estudiado.

El tercer problema es la evaluación de la energía recibida por el punto analizado en función de la orientación del plano en que se encuentra contenido.

La solución particular de cada uno de los problemas planteados se aborda mediante tres módulos informáticos que se describen a continuación:

**Sunvault:** módulo de generación de la bóveda solar: este módulo genera un modelo tridimensional que representa las trayectorias solares anuales sobre la bóveda celeste mediante un número de trayectorias diarias, sobre las que se dispone un número de puntos de control.

La posición de la bóveda solar queda determinada al proporcionar al programa los datos correspondientes a las coordenadas geográficas del punto objeto de estudio. Los parámetros del número de días, el número de puntos por día y el radio de la bóveda solar son modificables por el usuario con el fin de adaptarlo a las necesidades del estudio concreto que se realice.



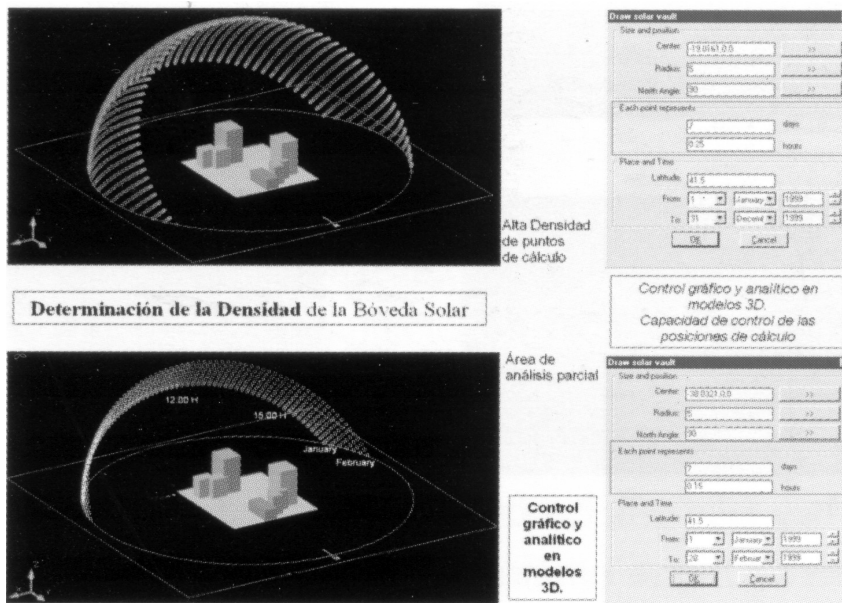


fig. 122: PROCEDIMIENTO DE MESA, QUILEZ Y REGOT. INTERFAZ DEL MODULO SUNVAULT.

**Sunobstruct:** módulo de cálculo de obstrucciones: este módulo permite reconocer y analizar la obstrucción de los rayos solares producida por la volumetría del entorno sobre el punto de análisis. Disponiendo de un modelo tridimensional del entorno se pueden detectar las zonas de la bóveda solar que emiten rayos y que encuentran obstrucción antes de llegar al punto de análisis.

Definido el punto objeto de análisis, este punto sirve como centro de la bóveda solar generada por el módulo "Sunvault". Si existe obstrucción, el punto de emisión de los rayos solares queda representado en color gris, siendo anulado a efectos del cálculo energético. Esta particularidad cromática permite hacer un análisis de carácter visual sobre la cantidad de puntos que van a aportar energía al punto de análisis.

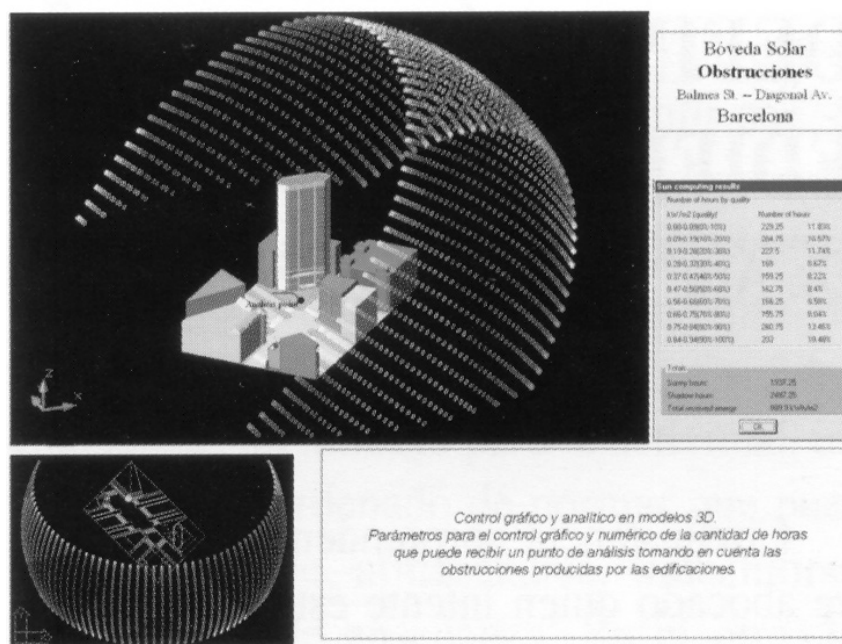


fig. 123: PROCEDIMIENTO DE MESA, QUILEZ Y REGOT. INTERFAZ DEL MODULO SUNOBSTRUCT.

**Sunenergy:** módulo de cálculo de la energía: este último módulo permite calcular la energía recibida por el plano que contiene al punto objeto de análisis. Definido el plano que contiene al punto analizado, y conocidas las posiciones de la bóveda solar que no quedan obstruidas por el entorno, el programa calcula el producto escalar del vector representativo del plano con los sucesivos vectores que representan la radiación solar. El resultado visualiza un color para cada punto de los que conforman la bóveda solar, que indican el valor de emisión energética que recibirá el punto de análisis.

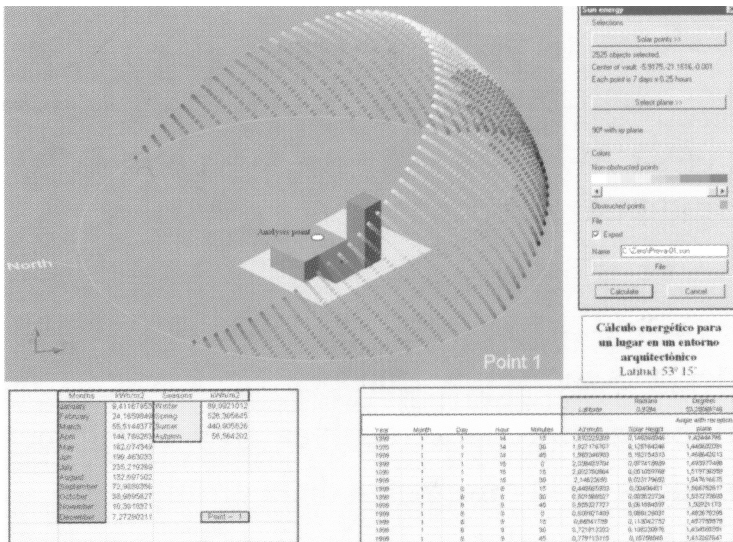


fig. 124: PROCEDIMIENTO DE MESA, QUILEZ Y REGOT. INTERFAZ DEL MODULO SUNENERGY.

Aunque la representación gráfica de la energía mediante un sistema de colores no es de carácter numérico, es un parámetro de análisis de acceso muy rápido para hacer una primera estimación del valor energético que puede recibir el punto analizado. Este módulo también permite almacenar datos numéricos en un archivo que puede ser analizado posteriormente mediante una hoja de cálculo, y establecer distintos tipos de gráficos comparativos.

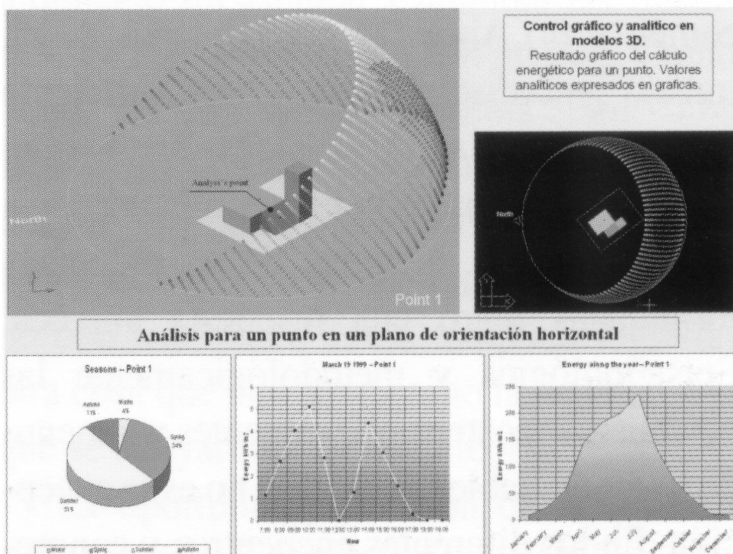


fig. 125: PROCEDIMIENTO DE MESA, QUILEZ Y REGOT. INTERFACE DEL MODULO SUNENERGY. SALIDA NUMÉRICA DE DATOS MEDIANTE HOJAS DE CÁLCULO.

El procedimiento propuesto por Mesa, Quilez y Regot supone un avance significativo en las cuestiones vinculadas al cálculo de soleamiento en entornos urbanos y arquitectónicos, ya que además de resolver de un modo eficaz la cuestión del cálculo de obstrucciones, permite la evaluación de la energía recibida por el punto objeto de análisis.

Aunque no es objeto del estudio reseñado, la información numérica suministrada por el módulo "Sunobstruct", en tanto que es capaz de cuantificar los intervalos de sombra correspondientes al periodo anual, permiten con gran sencillez el cálculo del factor de obstrucción correspondiente a cada uno de los puntos estudiados.

Por otra parte, la opción tomada por los autores de enfocar la cuestión desde el análisis de un número finito de puntos significativos dentro del modelo obliga a repetir los cálculos para gran cantidad de puntos incluidos en el entorno analizado en caso de que se quiera obtener información extensiva del fenómeno del soleamiento aplicada a la totalidad del área de estudio.

### **3.1.5. Otros Procedimientos**

A continuación se reseñan otros procedimientos de cálculo y predicción de la incidencia solar sobre entornos urbanos o arquitectónicos, en los que el elemento central de la investigación no está directamente vinculado con el concepto de factor de obstrucción. El interés de los procedimientos reseñados a continuación radica en los diversos puntos de enfoque sobre cuestiones de con aportaciones de interés.

#### **3.1.5.1. Diseño de iluminación de espacios interiores con luz natural mediante el procedimiento de Monte Carlo**

*"Daylighting Design Via Monte Carlo."* Tesis Doctoral presentada por D. Jonathan Ridgway McHugh, del Mechanical Engineering Department, de la Colorado State University en primavera de 1995:

Resumen:

Se define "Daylighting" como la iluminación de espacios interiores con luz natural. Se argumentan los beneficios fisiológicos, medioambientales y económicos de este tipo de iluminación y se propone que la iluminación de espacios interiores con luz solar sea considerada en el diseño de todos los edificios de nueva planta.

Un buen diseño de la iluminación natural de espacios interiores proporciona cantidades apropiadas de luz sin producir deslumbramiento. Se proponen métodos para la predicción de iluminación adecuada evitando el deslumbramiento.

Se describen también varios métodos de estimación de la distribución de la luz natural en espacios interiores. Los métodos de Monte Carlo son los únicos adecuados para modelizar el comportamiento de superficies cuyas propiedades de reflexión varían con el

ángulo de incidencia, como es el caso del vidrio. Este método es aplicado al diseño de un edificio de alta eficiencia energética (Zero Energy Building), que alberga establecimientos comerciales y oficinas.

El consumo de energía eléctrica en alumbrado se redujo un 70%. Los resultados de la simulación de iluminación interior son incorporados a la simulación de consumo energético global del edificio utilizando el programa de Análisis de Sistemas Termodinámicos para Cargas en Edificios "Building Loads Analysis System Thermodynamics (BLAST)". Las predicciones resultado de la simulación son una reducción de la demanda máxima en verano del 40% y una reducción del coste energético anual del 25%.

### **3.1.5.2. Aplicabilidad de modelos informáticos de iluminación natural en casos reales: Comparación entre disponibilidad de luz natural por simulación y por medida directa y consumo por alumbrado.**

*"Applicability Of Daylighting Computer Modeling In Real Case Studies: Comparison Between Measured And Simulated Daylight Availability And Lighting Consumption."* Redactado por A.D. Galasiu. y M.R. Atif, para la IEA (International Energy Agency) Tarea 21 anexo 29: Iluminación natural en edificios, Noviembre de 1998, 68 pp. Documento NRCC-42862.

Resumen:

El trabajo se centra en las estrategias de iluminación natural que pueden ser aplicadas en edificios existentes y de nueva planta con un alto potencial de ahorro en consumo eléctrico, como escuelas, edificios administrativos, comerciales e institucionales. La utilización de estrategias para la iluminación con luz natural es probada en laboratorio mediante modelos de simulación y estudio de casos reales.

Mediante su estudio se pretende atender a lo dispuesto en el anexo 29 de la IEA: "Aumentar la capacidad, exactitud y facilidad de uso de las herramientas de análisis de iluminación natural para diseñadores y proyectistas de edificios." Los proyectistas de edificios deben ser capaces de predecir el funcionamiento de los diferentes sistemas de control de iluminación natural y evaluar así el impacto de la integración de dichos sistemas en el consumo energético global del edificio"

La subtarea C del anexo 29 incluye el desarrollo del software de iluminación "Adeline". El presente trabajo investiga la exactitud y las limitaciones del programa Adeline 1.0, por aplicación a la simulación de la distribución de la iluminación mediante luz natural y el ahorro inducido en el consumo del alumbrado eléctrico en un edificio existente. El propósito del estudio es comparar los resultados obtenidos con medidas reales de los valores obtenidos in situ sobre el edificio existente.

Los datos obtenidos por el programa de predicción de iluminación natural en exteriores dieron como resultado valores muy próximos a los medidos in situ en caso de cielo despejado, presentando desviaciones en caso de nubosidad.

Pese al hecho de que los perfiles de iluminación natural simulada se encontraban muy próximos a los perfiles de iluminación medida in situ, tanto en el caso de cielo despejado como de cielo nublado, los valores de iluminación instantánea en caso de cielo nublado se mostraron especialmente impredecibles.

En el caso de cielo despejado en verano, el valor de los datos de la iluminación exterior propuesta por el programa estaban por encima de los valores medidos in situ en un rango comprendido entre el 1 y el 16%.

En el caso de cielo despejado en invierno el valor de los datos de la iluminación exterior propuesta por el programa estaba por debajo de los valores medidos in situ en un rango comprendido entre el 12 y el 29%. En el caso de cielo nublado en cualquier estación, las desviaciones entre los valores calculados y los valores medidos in situ pueden diferir hasta en un 60%.

### **3.1.5.3. Control de la Iluminación Natural y del soleamiento en la Normativa sobre Edificación.**

*“Daylighting and Solar Control in The Building Regulations.”* Redactado por el Dr. Paul Littlefair del Building Services Centre de Gran Bretaña en 1999.

Resumen:

Este informe examina los posibles beneficios y las necesidades de implementar la iluminación natural y el soleamiento en los requisitos de la normativa sobre edificación en su apartado L. En edificios no destinados a vivienda pueden producirse beneficios significativos en el ahorro de energía eléctrica mediante una exigencia mínima de iluminación natural, dado que muchos de ellos reciben un mínimo aporte de la misma.

Unos requisitos directos sobre iluminación natural serían difíciles de especificar debido a la necesidad de exenciones para una gran variedad de edificios donde la iluminación natural es ineficiente o indeseada. El ajuste de los requisitos a los distintos usos del edificio, donde las áreas no iluminadas por luz natural sean alumbradas con instalaciones eléctricas más eficientes puede resultar más eficaz.

Una aproximación posible puede ser la exigencia en las zonas iluminadas con luz natural de una eficacia mínima de 50 lúmenes. En las áreas no iluminadas por luz natural la eficacia mínima inicial puede ser de 65 lúmenes.

La iluminación natural debería ser cenital, cuando fuera posible, o como alternativa la superficie en paramentos verticales debe ocupar no menos del 20% de la superficie de

paramentos en caso de que los vidrios sean de baja emisividad. Si se utilizan vidrios tintados, la superficie se debe incrementar de acuerdo con el valor de su transmitancia. Deben implementarse también sistemas de control del flujo luminoso proporcionado por las instalaciones eléctricas de alumbrado.

En el caso de viviendas la situación es menos clara, debido al poco uso de la iluminación eléctrica durante el día, y al hecho de que muchas viviendas permanecen vacías durante las horas de sol. Sin embargo se recomienda que la superficie de ventana para las estancias más habitadas no sea inferior al 22.5% de la superficie de paramentos verticales si se utilizan vidrios ordinarios, y del 26% en caso de que se utilicen vidrios de baja emisividad, como umbral mínimo para garantizar unas buenas condiciones de iluminación natural.

No hay requisitos establecidos para limitar las ganancias térmicas debidas al soleamiento, aunque las regulaciones de edificación limitan la superficie acristalada para evitar las pérdidas de calor, en edificios no residenciales es posible todavía contar con grandes superficies acristaladas.

En algunos edificios pueden producirse ahorros energéticos significativos por incorporación de carga térmica debida al soleamiento, tal vez próximos al 5% del consumo global de energía del edificio. Sin embargo estos edificios representan una fracción mínima del conjunto total. El control del soleamiento se hace necesario para el cálculo del Método del Índice de Respuesta Energética (Energy Performance Index Method, EPIM).

La futura Parte L de la normativa incluye en sus cálculos la medida del soleamiento como requisito para las instalaciones de aire acondicionado en los edificios. Para alcanzar los requisitos de la EPIM, el proyectista del edificio debe prever mecanismos de control del soleamiento, con el fin de reducir la potencia instalada por reducción de carga debida al soleamiento. Dicha reducción facilita el cumplimiento de los requisitos del EPIM.

Para aprovechar esta oportunidad, es necesario que en próximos trabajos se establezcan estrategias adecuadas de soleamiento para distintos tipos de edificios, como información relevante para los proyectistas.

#### **3.1.5.4. Proposición para una aproximación declarativa de los Ambientes en el Proyecto Arquitectónico. Aplicación al Soleamiento**

*“Propositions Pour Une Approche Déclarative Des Ambiances Dans Le Projet Architectural. Application à L'ensoleillement”* Tesis Doctoral presentada por D. Daniel Siret en Junio de 1997 En la Ecole d'Architecture de Nantes. Francia.

Resumen:

El diseño arquitectónico es un proceso intrincado en el cual el diseñador maneja entidades de varios tipos. Entre ellas, los “Ambientes” representan las interacciones entre los fenómenos físicos y el entorno construido. En esta investigación se orienta el problema de la toma en consideración de los ambientes durante el proceso de diseño arquitectónico, y la elección de las herramientas más apropiadas para el mismo.

En primer lugar, se plantea la cuestión desde un punto de vista teórico. Esto muestra la necesidad de entender la simulación de los ambientes de un modo reversible, modelizando las formas arquitectónicas en términos de ambiente. Se propone la resolución de estos problemas inversos mediante la aproximación del modelado geométrico tridimensional, estudiando el fenómeno del soleamiento.

Se introduce una nueva formalización del fenómeno, entendiendo los fenómenos de soleamiento en su conjunto, sean directos o inversos como problemas de intersección entre los objetos de la escena y el volumen definido por los rayos del sol. Este volumen, como artefacto geométrico que evoluciona en el tiempo y en el espacio, puede ser definido en sus contornos mediante la suma de Minkowsky.

Por último se discute cómo este modelo puede ser aplicado a la práctica del diseño arquitectónico, presentando algunos ejemplos de cómo el método puede aplicarse a casos concretos.

### **3.1.5.5. Herramientas de diseño para edificios solares pasivos y bioclimáticos**

*“Design tools for bioclimatic and passive solar buildings”*. Comunicación redactada por D. Edna Shaviv, de la Faculty of Architecture and Town Planning. Technion - Israel Institute of Technology, de Israel. 1996.

Resumen:

Se presentan diversas herramientas para la evaluación de edificios bioclimáticos y de comportamiento pasivo a la radiación solar. La comunicación clasifica las distintas herramientas de diseño a lo largo de las diferentes fases del proyecto, clasificándolas en herramientas para la generación y para la evaluación.

Las herramientas para la generación permiten la definición de una geometría adecuada a la solución del problema, y deben ser utilizadas en las primeras fases del proyecto.

Las herramientas para la evaluación estudian en detalle el funcionamiento de un diseño dado, por lo que son de aplicación en fases de proyecto más avanzadas. Se recomiendan las herramientas de evaluación que permiten una mayor exactitud para derivar líneas generales de actuación, requeridas en las fases más tempranas del diseño.

Estas líneas generales pueden ser introducidas en sistemas expertos como base de conocimiento para el diseño. Se muestran algunos ejemplos del funcionamiento de dichas herramientas poniendo especial énfasis en su aplicación en las primeras fases del proyecto.

### **3.1.5.6. PASYS Un Sistema de inteligencia artificial para la determinación de sistemas pasivos de calefacción y acondicionamiento de aire**

*“Pasys - A knowledge based system for determining The passive systems for heating and cooling”*. Comunicación redactada por D. Abraham Yezioro, de la Faculty of Architecture and Town Planning. Technion - Israel Institute of Technology, de Israel. 1998.

Resumen:

Se presenta un Sistema de Inteligencia Artificial para la determinación de sistemas pasivos de calefacción y acondicionamiento de aire. El sistema esta basado en la aplicación de la inteligencia artificial al almacenamiento de las directrices de actuación para determinar los sistemas pasivos que mejor se adaptan a las condiciones de invierno o de verano.

Se recomienda utilizar el sistema de Inteligencia artificial en las fases previas del proyecto, donde básicamente se analizan las cuestiones de orientación y de geometría de la envolvente, sin detallar aspectos como los materiales a emplear. Las consideraciones de carácter geométrico permiten la determinación del tipo y tamaño de los sistemas pasivos que cumplen los requisitos necesarios para el servicio en todas las estaciones del año en una ubicación determinada. Además, el sistema de Inteligencia artificial contiene ejemplos y explicaciones descriptivas que permiten al diseñador comprender las posibilidades de diseño disponibles en el sistema. El sistema de inteligencia artificial se retroalimenta con las decisiones tomadas por el diseñador, de modo que puede aconsejarlo cuando sea necesario.

### **3.1.5.7. Modelización del diseño de tramas urbanas considerando las servidumbres solares**

*“Modeling the design of urban fabric with solar rights considerations.”* Comunicación redactada por el Dr. Isaac G. Capeluto y el Profesor. E. Shaviv, de la Faculty of Architecture and Town Planning. Technion - Israel Institute of Technology, de Israel. 1999.

Resumen:

Se presenta una modelización del diseño de tramas urbanas teniendo en cuenta las cuestiones derivadas de las servidumbres solares. La modelización permite la generación



y evaluación de la configuración de la trama urbana preservando las servidumbres solares de cada edificio, así como de los espacios abiertos en torno a ellos.

La modelización genera un diagrama que representa el máximo volumen disponible en el que es posible edificar sin violar las servidumbres solares de edificios existentes o en proyecto. Dicho volumen queda determinado por dos envolventes; la envolvente de servidumbre solar y la envolvente de captación solar, definidas en esta comunicación. La unión de ambas envolventes se define como “Volumen Solar”.

La representación del volumen solar permite la determinación de la orientación más favorable para los viarios de la trama, las proporciones y la geometría de los edificios para asegurar el derecho al sol de los edificios y sus espacios abiertos en invierno, así como garantizar la sombra entre ellos en verano.

Se demuestra la validez del método mediante casos de estudio. Los resultados demuestran que es posible diseñar establecimientos urbanos de alta densidad sin violación de las servidumbres solares en los recorridos peatonales durante determinadas horas al día en invierno. Además, el diseño debe garantizar su protección al sol no deseado en verano.

El diseño de establecimientos urbanos sin atender a estas consideraciones desde las primeras fases de proyecto puede producir condiciones de bajo confort en el interior de los edificios y en los espacios abiertos peatonales vinculados a estos. La importancia de un diseño apropiado del soleamiento fue reconocida por los investigadores hace más de cuarenta años (Olgay y Olgay, 1957).

La crisis energética de 1973 aceleró los intentos de encontrar herramientas y métodos basados en el CAD tanto para el diseño y la evaluación de soluciones de soleamiento como para las mejoras en la calidad de la envolvente construida como aislante térmico. Se pueden clasificar estas modelizaciones CAD de acuerdo con la siguiente clasificación: a: Herramientas CAD para la determinación de estrategias de soleamiento adecuadas y b: Herramientas CAD para el diseño adecuado de espacios abiertos entre edificios, considerando su aislamiento, soleamiento, sombras arrojadas y determinación de servidumbres solares.

### **3.1.5.8. Una carta solar complementaria del diagrama de Mazria para el diseño de protecciones solares considerando las propiedades angulares de las ventanas**

*“A complementary chart to Mazria’s sunpath diagram to design shading devices considering the window angular properties.”* Comunicación presentada por Marie-Claude Dubois del Department of Construction & Architecture, de la Universidad de Lund, Suecia. 2000.

Resumen:

Se presenta una carta solar para el cálculo de protecciones solares en las primeras fases del proyecto. La carta solar, complementaria de la carta cilíndrica de Mazria, proporciona información adicional sobre la incidencia y la transmisión de energía solar a través de la ventana en función del ángulo de incidencia de la radiación solar sobre el plano de la misma.

Esta información adicional permite hacer hipótesis significativas sobre la geometría óptima de las protecciones solares. Se propone un ejemplo donde el uso de la carta solar permite definir la geometría de un voladizo de protección para ventanas de orientación sur en un edificio de oficinas en Estocolmo. El ejemplo muestra la utilidad de la carta solar para dirigir las hipótesis iniciales e identificar las dimensiones óptimas (mínimas) del voladizo proyectado.

### **3.1.5.9. LightSketch Un programa de diseño y modelización para el análisis de la iluminación.**

Lightsketch. Un programa de diseño y modelización para el análisis de la iluminación. Comunicación presentada por Daniel Glaser, del Interdisciplinary Doctoral Program, U.C. Berkeley; M. Susan Ubbelohde del Department of Architecture, U.C. Berkeley; Jan Voun, Ling Xiao John Canny y Bonnie Tai, del Computer Science Division, U.C. Berkeley; Ellen Yi-Luen Do del Department of Architecture, University of Washington. 1999.

Resumen:

Esta comunicación presenta una herramienta flexible, aunque potente para el cálculo y análisis de la iluminación mediante luz natural llamada Lightsketch. Dicha herramienta está basada en programas de simulación que permiten definir tanto la geometría del edificio como las condiciones de iluminación mediante símbolos que son convertidos en entidades tridimensionales que permiten su visualización, lo que permite analizar las virtudes y limitaciones de las geometrías propuestas. El uso de Lightsketch se ilustra mediante la aplicación a varios ejemplos.

## **4. Procedimientos para el cálculo del factor de obstrucción solar**

El cálculo del factor de obstrucción solar para todos y cada uno de los puntos de un entorno de geometría definida requiere de métodos extensivos que suministren información simultánea sobre lo que sucede en la totalidad del entorno estudiado. Estos métodos están basados necesariamente en el cálculo del vector solar para cada uno de los momentos estudiados, y en el cálculo de las sombras arrojadas en cada instante, para posteriormente extraer los datos necesarios del conjunto de imágenes obtenidas.

Como alternativas al cálculo extensivo del factor de obstrucción solar para un mismo modelo se proponen dos aproximaciones radicalmente distintas en los procedimientos, aunque convergentes en sus resultados.

Como primera aproximación se propone el empleo de los procedimientos clásicos de cálculo de obstrucciones mediante la carta solar estereográfica, aplicada de modo individual a un conjunto finito de puntos distribuidos de un modo uniforme, a modo de matriz sobre la superficie objeto de estudio. La información obtenida en cada punto permite definir por interpolación lineal un resultado extensivo a toda la superficie estudiada.

Como segunda alternativa se propone la aplicación de un procedimiento informático, capaz de calcular una secuencia de imágenes suficientemente representativa del periodo estudiado con el fin de estudiar la evolución de las sombras a lo largo de dicho periodo.

#### **4.1. Enfoque analógico. Planteamiento del problema**

Definido el modelo tridimensional objeto de estudio en los capítulos anteriores, ubicado en una latitud de  $39^{\circ}30'$ , correspondiente a Valencia, se trata de definir una serie de puntos en los que analizar el valor del factor de obstrucción durante un periodo definido. Con el fin de obtener un número de valores suficientemente significativo en lo que se refiere al periodo de tiempo estudiado se ha optado por analizar la evolución del vector solar a lo largo de seis meses, comprendidos entre dos solsticios consecutivos.

Respecto de la distribución de los puntos objeto de estudio, se ha optado por situarlos exclusivamente sobre el plano horizontal en el que los prismas del modelo arrojan sombra, renunciando en esta primera fase al estudio de las sombras que un prisma pueda arrojar sobre el otro. La posición de los puntos sobre el plano horizontal responde a una malla cuadrada, cuya orientación en uno de sus lados coincide con la orientación norte-sur del modelo.

El ancho de la malla cuadrada que define en su intersección la posición de los puntos es tal que permite obtener un número significativo de valores en los alrededores de los prismas, atendiendo a la posición de los puntos tanto al norte como al sur de los mismos, dado que a lo largo de todo el año, el valor del azimut del vector solar permite que existan sombras arrojadas en las direcciones comprendidas entre el sureste y el suroeste pasando por el norte.

El cuadrado así definido en torno al modelo define por intersección de las líneas que lo componen la malla de 121 puntos de control, organizados en once filas y once columnas. Ninguno de los puntos de control se sitúa en el interior de los volúmenes que componen el modelo, aunque algunos de ellos están en su perímetro, y dado que desde cualquiera de ellos puede observarse la trayectoria solar sobre la bóveda celeste, todos ellos son puntos válidos para el objeto del presente estudio.

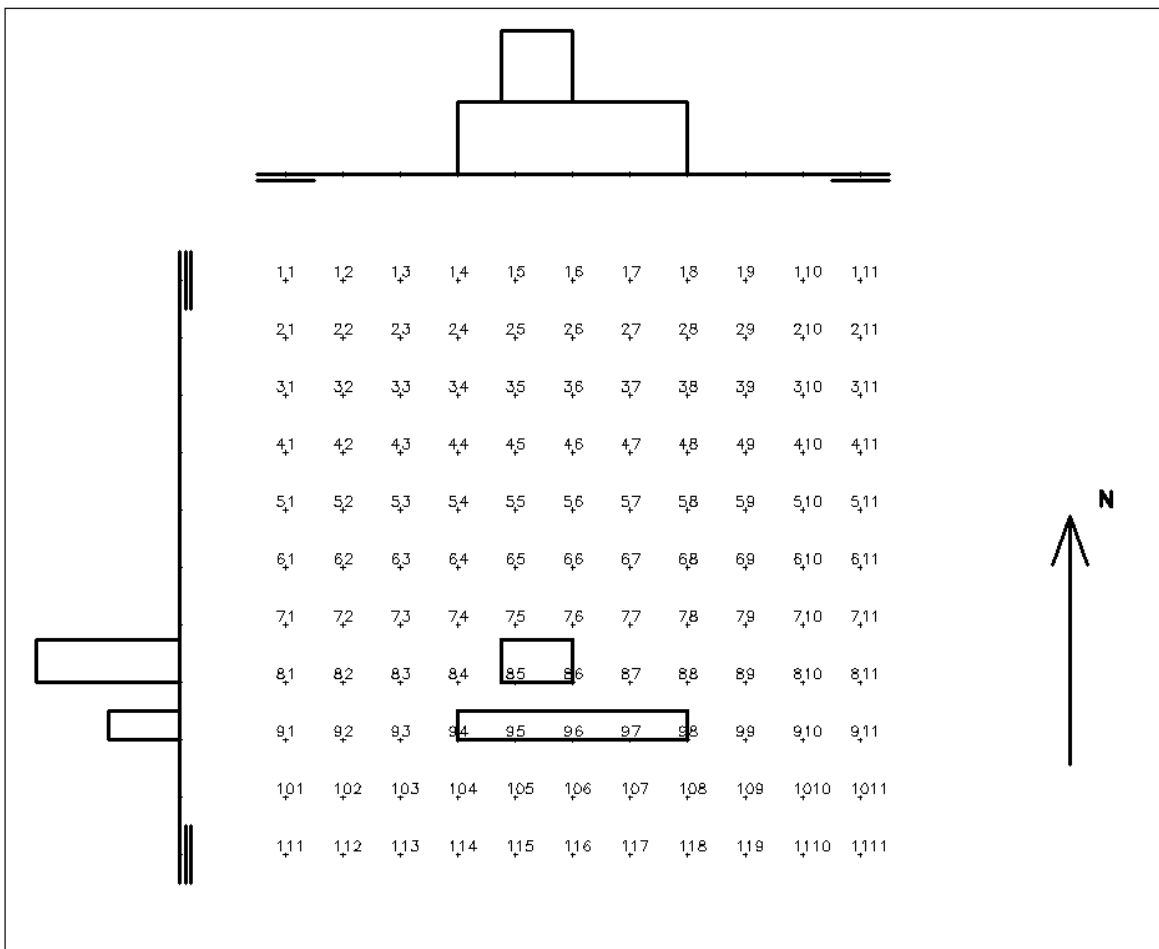


fig. 126: MODELO OBJETO DE ESTUDIO CON LA MATRIZ DE PUNTOS DE CONTROL.

### 4.1.1. La utilización del modelo estereográfico

El estudio pormenorizado del factor de obstrucción en cada uno de los puntos de la matriz definida anteriormente requiere de un procedimiento de cálculo de obstrucciones solares, abordable desde un punto de vista gráfico con una relativa sencillez.

Las tres cartas solares que permiten el cálculo de obstrucciones de un modo eficiente, son la carta gnomónica, la carta cilíndrica y la carta estereográfica. De estas tres cartas se ha optado por la carta estereográfica, dado que de las tres reseñadas es la de más sencillo manejo, al transformar en circunferencias la proyección de las trayectorias solares sobre el plano del cuadro. Además tiene la ventaja de que la proyección del hemisferio superior de la bóveda celeste queda confinado en una circunferencia, con lo que no se producen puntos impropios en la proyección de las trayectorias solares.

La carta gnomónica ha sido desestimada, aun tratándose de la más sencilla de las cartas, debido a que los puntos del orto y ocaso para cada día, y todos los que se encuentran sobre el plano horizontal resultan impropios en proyección, y las primeras y últimas horas del día necesitan de una carta de grandes dimensiones para ser recogidos, lo que reduce considerablemente el tamaño de la imagen de los objetos que producen las obstrucciones.

La carta cilíndrica ha sido desestimada por la laboriosidad que implica la obtención de imágenes en la misma. Esta dificultad de utilización se debe al hecho de que la operación de desarrollo de la superficie del cilindro sobre un plano no puede resolverse por proyección, lo que obliga a situar cada punto sobre la superficie mediante un sistema de coordenadas, para ser transferido con posterioridad a la superficie desarrollada del cilindro.

Otro problema añadido de la carta cilíndrica es la imposibilidad de proyectar sobre la superficie del cuadro trayectorias solares dentro de la zona tropical, dado que algunos de sus puntos resultan necesariamente impropios, y los que se encuentran en sus proximidades obligan a utilizar una escala en el eje Y excesivamente grande.

#### **4.1.2. Cuantificación de los periodos de obstrucción**

La cuantificación de los periodos de soleamiento y obstrucción solar sobre la carta estereográfica requiere de un análisis de la superficie de la bóveda celeste que permita discriminar aquellos puntos que, conteniendo a una trayectoria solar, son observables desde el punto objeto de estudio, y por tanto la luz que emita el sol desde dicho punto incidirá sobre el punto objeto de estudio, de aquellos otros que conteniendo también a una trayectoria solar quedan ocultos por los objetos del entorno, y por tanto la luz que emita el sol desde su posición no incidirá en el punto objeto de estudio.

La discriminación de ambas superficies puede hacerse gracias a la proyección del contorno aparente de los objetos del entorno sobre la bóveda celeste, discriminando así el área de la bóveda celeste desde la cual es observable el punto, y por tanto puede recibirse radiación solar, de la que queda oculta por los objetos, y por tanto, queda en sombra.

El problema que se plantea es la cuantificación de dicha superficie en términos de horas de sol y horas de sombra para el punto a lo largo del año. Una primera observación de la carta estereográfica permite apreciar que la superficie correspondiente a diferenciales de área de igual dimensión tienen distinto tamaño en proyección estereográfica en función de cual sea su posición dentro de la bóveda celeste.

Para ilustrar este ejemplo se definen sobre la bóveda celeste diferenciales de área limitados por un haz de paralelos equidistantes  $15^\circ$  sexagesimales del meridiano del lugar, que son cortados a su vez por otro haz de meridianos que contienen a la dirección este oeste del lugar, separados entre sí  $15^\circ$  sexagesimales.

Es evidente que el área de cada uno de los diferenciales comprendidos entre dos paralelos consecutivos así definidos es la misma para cada uno de ellos, mientras que en proyección, se aprecia que los más lejanos al plano de cuadro se aprecian de menor dimensión

Por otra parte, la variación anual de la declinación de las trayectorias solares a lo largo del año responde a una función senoidal, que hace que a un mismo diferencial de

tiempo, por ejemplo, el área comprendida entre las trayectorias correspondientes a 30 días de diferencia, depende de la época del año en que se elija el intervalo, siendo su separación máxima en el entorno de los equinoccios y mínima en las proximidades de los solsticios.

La separación de meridianos correspondientes a una hora solar de diferencia, tienen distinta amplitud dependiendo también de la posición de dicho diferencial sobre la bóveda celeste, siendo menor su separación en proyección cuanto más próximo se encuentre el diferencial al zenit del lugar.

En las ilustraciones siguientes se muestran las dos redes de diferenciales sobre la bóveda celeste en proyección estereográfica.

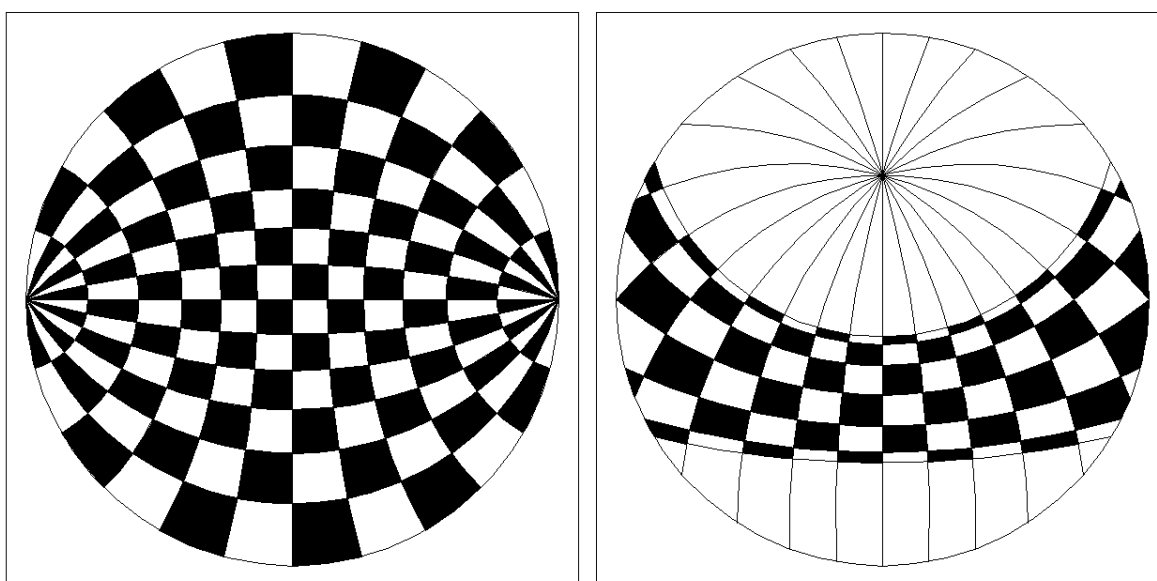


fig. 127: REDES DE DIFERENCIALES SOBRE LA BÓVEDA CELESTE EN PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA

Por todo lo anterior, resulta imposible cuantificar los periodos de obstrucción para un punto por medida del área encerrada dentro de la proyección estereográfica del contorno aparente de los objetos del entorno.

Otra opción encaminada a la cuantificación de los periodos de soleamiento y obstrucción es definir un número significativo de trayectorias solares sobre la bóveda celeste, y situar sobre cada una de ellas un número significativo de puntos, de tal modo que la separación entre dichos puntos represente un intervalo de tiempo constante.

En el ejemplo que se ilustra a continuación se han elegido las trayectorias solares que resultan de elegir como día de origen el del solsticio de invierno, 22 de diciembre, y aquellas que distan de ella un número de días múltiplo de cinco, hasta sobrepasar el solsticio de verano, el 22 de junio. Respecto a la separación de los puntos de control sobre cada trayectoria solar diaria se ha elegido un intervalo de 5 minutos, tomando como origen de tiempos para cada día el momento de paso del sol por el meridiano del lugar, resultando para cada día un número distinto de puntos en función de la duración del mismo.

Otro ajuste realizado con el fin de no introducir puntos representativos de la posición del vector solar que no resulten significativos ha sido despreciar todos aquellos puntos cuya situación en la bóveda celeste tenga una altura sobre el horizonte inferior a 5° sexagesimales. Estos puntos representan posiciones del vector solar en los que, por su baja altura sobre el horizonte, la dirección del vector solar resulta casi rasante al plano horizontal, produciendo sombras arrojadas cuya longitud excede con mucho el ámbito del área objeto de estudio. De la elección de los días de control, y de la distribución de puntos con una separación de 5 minutos sobre cada trayectoria diaria resulta la siguiente tabla:

DIA	SALIDA+5°	PUESTA-5°	HORAS	MIN	PUNTOS
22 DIC	7'56"	16'06"	8 <sup>H</sup> 10 <sup>m</sup>	490	98
27 DIC	7'58"	16'08"	8 <sup>H</sup> 10 <sup>m</sup>	490	98
1 ENE	7'59"	16'10"	8 <sup>H</sup> 11 <sup>m</sup>	491	98
6 ENE	7'59"	16'16"	8 <sup>H</sup> 17 <sup>m</sup>	497	99
11 ENE	7'58"	16'22"	8 <sup>H</sup> 25 <sup>m</sup>	504	101
16 ENE	7'56"	16'28"	8 <sup>H</sup> 32 <sup>m</sup>	512	102
21 ENE	7'53"	16'34"	8 <sup>H</sup> 41 <sup>m</sup>	521	104
26 ENE	7'49"	16'41"	8 <sup>H</sup> 52 <sup>m</sup>	532	106
31 ENE	7'45"	16'47"	9 <sup>H</sup> 02 <sup>m</sup>	542	108
5 FEB	7'39"	16'53"	9 <sup>H</sup> 14 <sup>m</sup>	554	111
10 FEB	7'33"	17'00"	9 <sup>H</sup> 27 <sup>m</sup>	567	113
15 FEB	7'27"	17'06"	9 <sup>H</sup> 39 <sup>m</sup>	579	116
20 FEB	7'20"	17'12"	9 <sup>H</sup> 52 <sup>m</sup>	592	118
25 FEB	7'13"	17'18"	10 <sup>H</sup> 05 <sup>m</sup>	605	121
2 MAR	7'05"	17'24"	10 <sup>H</sup> 19 <sup>m</sup>	619	124
7 MAR	6'58"	17'29"	10 <sup>H</sup> 31 <sup>m</sup>	631	126
12 MAR	6'50"	17'35"	10 <sup>H</sup> 45 <sup>m</sup>	645	129
17 MAR	6'42"	17'40"	10 <sup>H</sup> 58 <sup>m</sup>	658	132
22 MAR	6'34"	17'45"	11 <sup>H</sup> 11 <sup>m</sup>	671	134
27 MAR	6'26"	17'50"	11 <sup>H</sup> 24 <sup>m</sup>	684	137
1 ABR	6'18"	17'55"	11 <sup>H</sup> 37 <sup>m</sup>	697	139
6 ABR	6'10"	18'00"	11 <sup>H</sup> 50 <sup>m</sup>	710	142
11 ABR	6'03"	18'05"	12 <sup>H</sup> 02 <sup>m</sup>	722	144
16 ABR	5'56"	18'09"	12 <sup>H</sup> 13 <sup>m</sup>	733	147
21 ABR	5'49"	18'12"	12 <sup>H</sup> 23 <sup>m</sup>	743	149
26 ABR	5'42"	18'19"	12 <sup>H</sup> 37 <sup>m</sup>	757	151
1 MAY	5'36"	18'23"	12 <sup>H</sup> 47 <sup>m</sup>	767	153
6 MAY	5'31"	18'28"	12 <sup>H</sup> 57 <sup>m</sup>	777	155
11 MAY	5'26"	18'32"	13 <sup>H</sup> 06 <sup>m</sup>	786	157
16 MAY	5'21"	18'37"	13 <sup>H</sup> 16 <sup>m</sup>	796	160
21 MAY	5'17"	18'41"	13 <sup>H</sup> 24 <sup>m</sup>	804	161
26 MAY	5'14"	18'45"	13 <sup>H</sup> 31 <sup>m</sup>	811	162
31 MAY	5'12"	18'48"	13 <sup>H</sup> 36 <sup>m</sup>	816	163
5 JUN	5'11"	18'51"	13 <sup>H</sup> 40 <sup>m</sup>	820	164
10 JUN	5'10"	18'54"	13 <sup>H</sup> 44 <sup>m</sup>	824	165
15 JUN	5'10"	18'56"	13 <sup>H</sup> 46 <sup>m</sup>	826	165
20 JUN	5'10"	18'57"	13 <sup>H</sup> 47 <sup>m</sup>	827	165
25 JUN	5'11"	18'58"	13 <sup>H</sup> 47 <sup>m</sup>	828	165
NUMERO TOTAL DE PUNTOS DE CONTROL					5082

Los valores relativos a las horas en que el sol se encuentra a una altura de  $5^\circ$  sexagesimales sobre el horizonte para cada día se han obtenido a partir de un programa de cálculo astronómico, que considera en el cálculo la influencia de la Ecuación del tiempo.

De la proyección estereográfica de las trayectorias solares diarias y de los meridianos horarios resulta un gráfico en el que ambas familias de curvas se cortan ortogonalmente, definiendo así la posición de cada punto en la intersección de las trayectorias diarias con los meridianos horarios.

En la imagen de la izquierda se muestra la totalidad de la carta obtenida, en la que la gran cantidad de puntos introducidos no permite observar con exactitud la posición de los mismos. En la imagen de la derecha se ha ampliado una zona del dibujo con el fin de apreciar la posición de los puntos en la intersección de los dos haces de circunferencias:

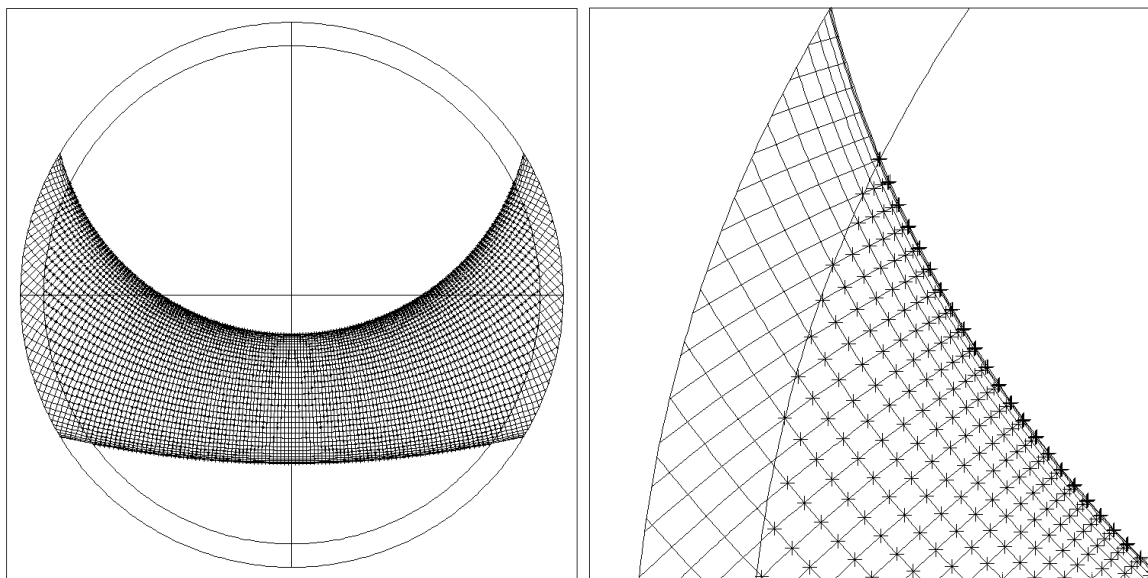


fig. 128: DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS SOBRE LA BÓVEDA CELESTE EN PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA 1

En este gráfico quedan representadas 38 trayectorias solares diarias, con un número de puntos de control sobre ellas, que varían entre los 98 puntos de control para el 22 de diciembre, y los 165 correspondientes al 25 de junio, sumando un total de 5082 puntos de control para toda el área ocupada por las trayectorias solares a lo largo del año.

Cada uno de los puntos así obtenidos representa una posición del sol sobre la bóveda celeste, que a su vez define un vector solar que resulta de unir dicho punto con el punto objeto de estudio. Cada punto puede considerarse también como el centro de un diferencial de área comprendido entre dos trayectorias solares diarias consecutivas, y dos meridianos horarios consecutivos.

Aceptando que el número de diferenciales en que queda dividida el área de la bóveda celeste barrida por las trayectorias solares diarias es un número finito, puede asociarse cada uno de los puntos al diferencial de superficie del que es centro. La bóveda celeste, y su división en diferenciales, después de suprimir los puntos cuya posición sobre la esfera



celeste es inferior al almicantarate  $5^\circ$ , produce por proyección estereográfica una imagen como la que se muestra a continuación:

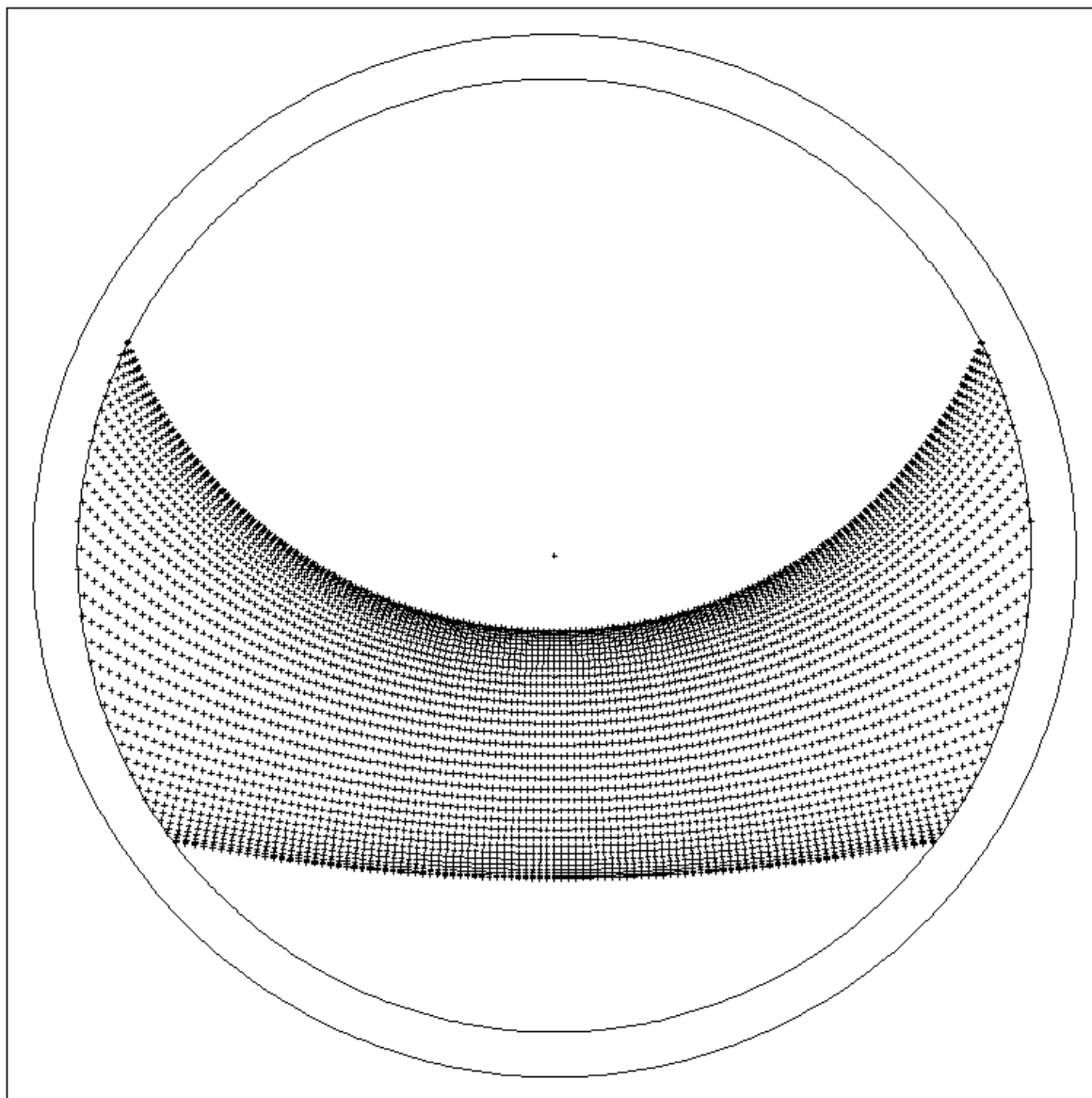


fig. 129: DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS SOBRE LA BÓVEDA CELESTE EN PROYECCIÓN ESTEREOGRÁFICA 2

#### **4.1.3. Obtención analítica del valor del factor de obstrucción para cada punto de la matriz**

El cálculo del factor de obstrucción para cada uno de los puntos de la matriz de control para el periodo anual puede evaluarse por superposición de la proyección estereográfica de los obstáculos del entorno desde el punto analizado sobre la imagen obtenida por proyección estereográfica de los puntos de la bóveda celeste.

De este modo un cierto número de los puntos de la bóveda celeste quedarán ocultos por la proyección de los obstáculos del entorno. Procediendo al recuento de los puntos interiores a la proyección del contorno aparente de los obstáculos, la división del número

obtenido entre el número total de puntos proporciona el valor numérico del factor de obstrucción para dicho punto considerando el periodo anual.

Con el fin de evaluar en valor del factor de obstrucción para cada uno de los puntos de la matriz de control, será necesario calcular desde cada uno de ellos la proyección estereográfica de los objetos que configuran el entorno, obteniéndose la siguiente imagen:

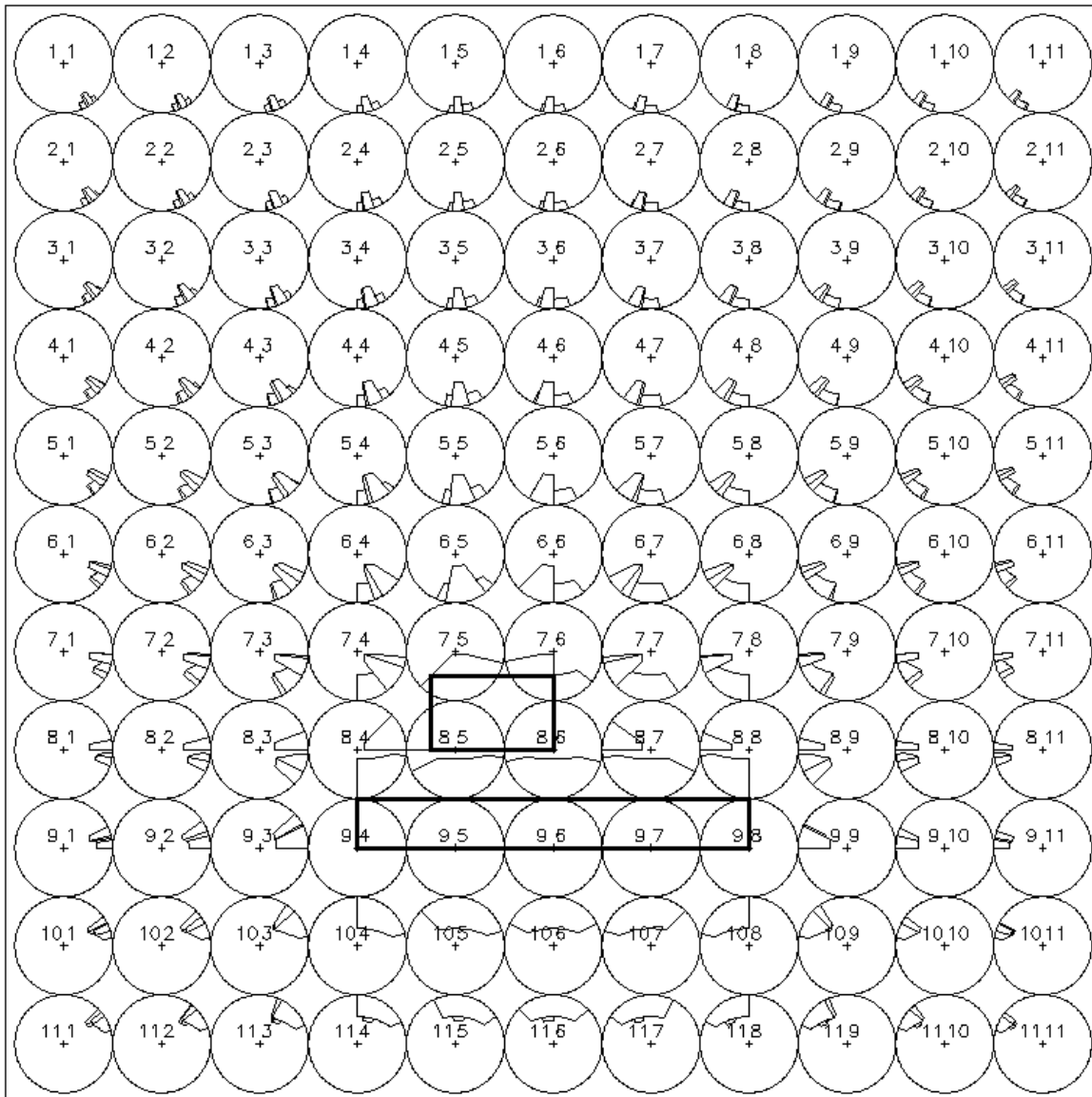


fig. 130: PROYECCION ESTEREOGRAFICA DEL MODELO OBJETO DE ESTUDIO DESDE LOS PUNTOS DE LA MATRIZ DE CONTROL.

Cada una de las imágenes obtenidas es la proyección estereográfica de los objetos del entorno, considerando como punto de vista cada uno de los puntos definidos en la matriz de control. Se ha llevado a cabo la superposición de cada una de las imágenes obtenidas, procediendo al recuento de los puntos confinados en el interior del contorno aparente de las obstrucciones.

De las 121 imágenes obtenidas se muestra a continuación una de ellas, en concreto aquella cuyo punto de vista tiene por coordenadas el punto (7,3), en la que se puede

apreciar de un modo general el proceso seguido en la superposición de imágenes. El recuento de los puntos interiores puede hacerse de un modo automático, utilizando los comandos de dibujo propios del programa CAD que se ha utilizado. Para ello basta con definir el contorno de las obstrucciones como ventana de captura, con el fin de listar los objetos que se encuentren en su interior.

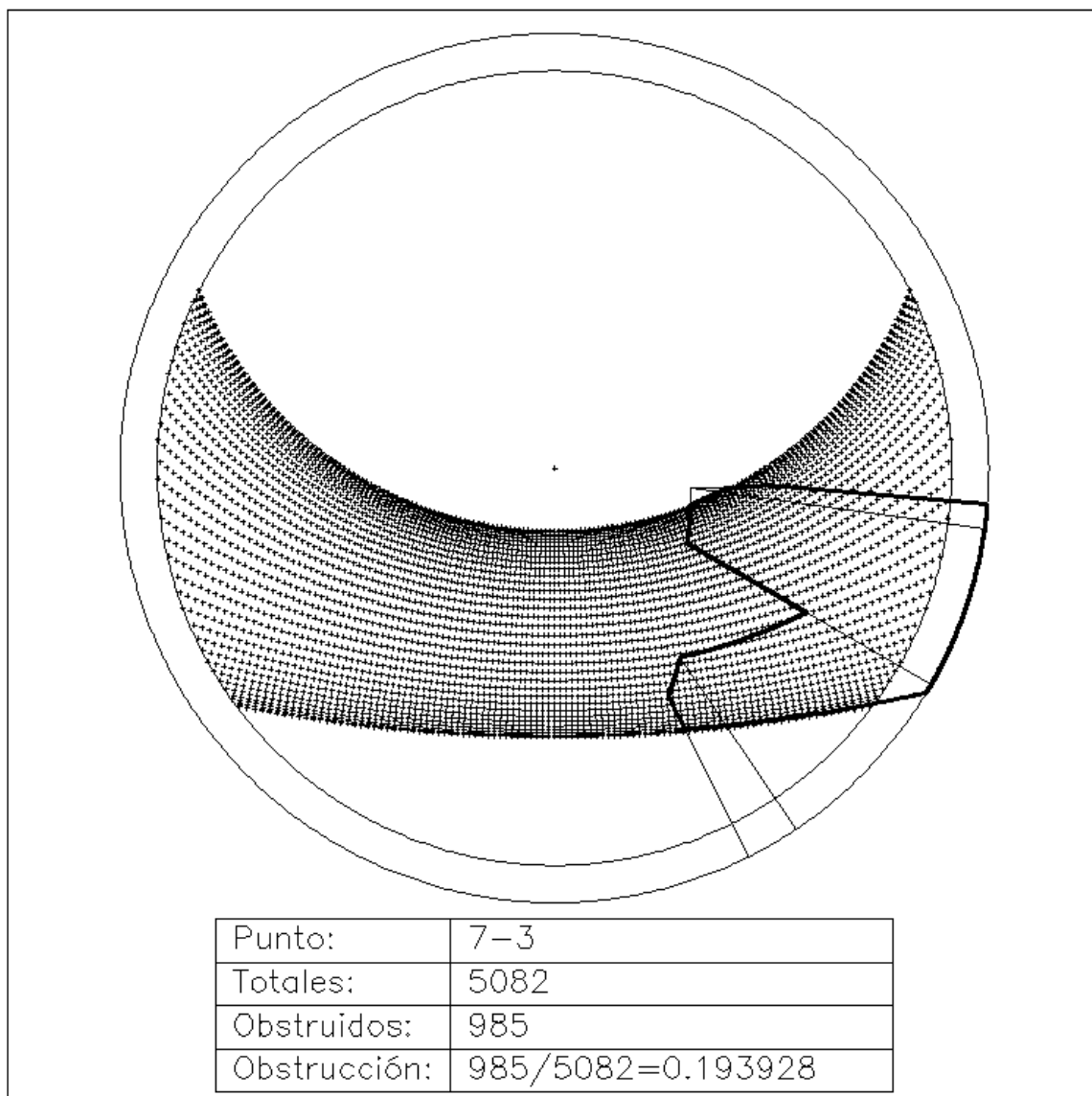


fig. 131: CALCULO DEL FACTOR DE OBSTRUCCION PARA UN PUNTO DE LA MATRIZ DE CONTROL.

En el Anejo I pueden consultarse las imágenes obtenidas para el cálculo del valor del factor de obstrucción para los 121 puntos que componen la matriz de control.

El punto que se muestra en la imagen coincide con el que ha sido objeto de estudio en el apartado 3. Cabe destacar que aunque el número de puntos de control considerado es manifiestamente mayor en este caso, el valor del factor de obstrucción obtenido es relativamente próximo al calculado con anterioridad:

El valor del Factor de obstrucción obtenido para el punto en cuestión para el periodo correspondiente al equinoccio de primavera, 22 de marzo resultaba:

$$F = \frac{Ns}{Nt}; \quad F = \frac{135}{720}; \text{ donde } F = 0,1875$$

En cambio, considerando el periodo de soleamiento anual, tomando como días de control el día 22 de cada mes, considerando medio periodo anual, con un total de siete días de control resultaba:

$$F = \frac{Ns}{Nt}; \quad F = \frac{895}{5040}; \text{ donde } F = 0,17757$$

En caso de considerar el periodo de soleamiento anual, con un total de 38 días de control, el valor del factor resulta:

$$F = \frac{Ns}{Nt}; \quad F = \frac{985}{5082}; \text{ donde } F = 0,193928$$

Entre ambos valores se produce una discrepancia del 1,6%. Esta discrepancia puede deberse a que los siete días considerados en el primer caso, tomados como días representativos del mes en que se encuentran, no responden al valor medio del mes, dado que los meses más próximos a los equinoccios registran variaciones en la declinación mucho más significativas que los meses próximos a los solsticios.

Por otra parte el diferencial de tiempo apreciable en el primer caso debe medirse por lectura directa sobre la carta solar estereográfica, siendo aceptable en este caso una exactitud de lectura de ±15 minutos. En el segundo caso, dado que los puntos situados sobre las trayectorias diarias equidistan entre sí periodos de 5 minutos, lo que aumenta considerablemente la exactitud en la apreciación del periodo de obstrucción para cada día. Otro factor que puede introducir una cierta discrepancia en los tres valores calculados es el hecho de haber despreciado en el último caso las posiciones del vector solar inferiores al almicantarate 5°, que al disminuir la duración del periodo de estudio, hace aumentar necesariamente el valor numérico del factor de obstrucción. Cabe pues considerar el valor obtenido por superposición de la imagen de las obstrucciones con los 5082 puntos de control, más próxima al valor real del factor de obstrucción.

En las tablas siguientes se recoge el valor del factor de obstrucción para cada uno de los puntos de la matriz de control. Este valor representa el tanto por uno del tiempo total de soleamiento que el punto en cuestión se encuentra en sombra por efecto de las obstrucciones de los objetos del entorno:

Columnas comprendidas entre la 1 y la 6

	1	2	3	4	5	6
1	0.00136761	0	0	0	0	0
2	0.0117615	0.00847921	0.00300875	0	0	0
3	0.0232495	0.0218818	0.0199672	0.0172319	0.0158643	0.0161379
4	0.0369256	0.0402079	0.0382932	0.0371991	0.0344639	0.0355580
5	0.0544311	0.0601751	0.0713895	0.0768600	0.0684546	0.0689278
6	0.0686543	0.0929978	0.1203500	0.1433260	0.1791580	0.1690370
7	0.0670131	0.113786	0.193928	0.304158	0.526532	0.473742
8	0.0642779	0.106127	0.207877	0.387582	0.714442	0.653993
9	0.0566193	0.0845186	0.0850656	0.0905361	0.1810722	0.1810722
10	0.0421225	0.0410284	0.0385667	0.0341904	0.0216038	0.00929978
11	0.023523	0.0205142	0.0136761	0.00464989	0	0

Columnas comprendidas entre la 7 y la 11

	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0.00191466	0.00601751
2	0.00027352	0.00519694	0.00902626	0.0123085	0.0155908
3	0.0177790	0.0202407	0.0218818	0.0232495	0.0237965
4	0.0371991	0.0382932	0.0374726	0.0352845	0.0333698
5	0.0702945	0.0653720	0.0577133	0.0533370	0.0497812
6	0.143873	0.119256	0.100093	0.0817834	0.0618162
7	0.349836	0.234136	0.150438	0.0990066	0.0571663
8	0.623906	0.370624	0.183260	0.0850656	0.0443107
9	0.1810722	0.0905361	0.0845186	0.0743982	0.0497812
10	0.0216038	0.0341904	0.0385667	0.0413020	0.0402079
11	0	0.00464989	0.0136761	0.0205142	0.023523

#### 4.1.4. Interpretación gráfica de los resultados obtenidos

El valor del factor de obstrucción obtenido para cada uno de los puntos de la matriz de control es un escalar adimensional que representa el tanto por uno respecto del tiempo total de soleamiento que el punto podría recibir si no existieran obstrucciones en el entorno.

El valor obtenido es válido en exclusiva para cada punto, de modo que el valor del factor de obstrucción en un punto distinto de los considerados necesitaría de la repetición del proceso para el punto en cuestión.

Dado que para cada uno de los puntos que puedan considerarse sobre la superficie de los objetos del entorno que producen las obstrucciones, existe un valor del factor de obstrucción, cabe considerar que existe una función  $F(x,y,z)$ , capaz de representar el valor del factor de obstrucción en cualquier punto del espacio, y en concreto sobre cualquier punto de la superficie del entorno que produce las obstrucciones.

La naturaleza de dicha función  $F(x,y,z)$  puede deducirse a partir de las cualidades del entorno que produce las obstrucciones y de las particularidades del movimiento solar sobre la bóveda celeste, que al ocupar distintas posiciones sobre la bóveda celeste produce las sombras propias y arrojadas del entorno.

Respecto del entorno, debe exigirse que la forma, posición y dimensiones de los objetos que producen las sombras propias y arrojadas sean constantes. Esta cualidad suele ser inherente a los objetos que componen los entornos arquitectónicos y urbanísticos objeto de estudio.

Respecto del movimiento solar, puede considerarse que las sombras propias y arrojadas que este movimiento produce varían de un modo continuo a lo largo de cada día. Si se considera a su vez que la variación de la declinación entre dos pasos consecutivos del sol por el meridiano del lugar es tan pequeña que puede considerarse también despreciable, puede suponerse que la variación de la declinación para una hora

concreta producirá también una variación de las sombras propias y arrojadas sobre el entorno que puede considerarse también continua.

Siendo que la geometría del entorno es constante a lo largo del periodo objeto de estudio, y que la variación, tanto horaria como diaria de la posición del vector solar puede considerarse continua sin introducir errores significativos en los cálculos, puede concluirse que la función  $F(x,y,z)$  que representa el valor del factor de obstrucción es una función continua en todo su rango, y en concreto, sobre las superficies del entorno objeto de estudio.

Esta circunstancia, la continuidad de  $F(x,y,z)$ , permite aplicar procedimientos de interpolación lineal con el fin de conocer el valor del factor de obstrucción para puntos distintos de los de la matriz de control, a condición de que estén incluidos dentro del área definida por dicha matriz.

Para estudiar el valor del factor de obstrucción sobre el plano horizontal en el que se apoyan los prismas que componen el entorno, es decir, para calcular  $F(x,y,0)$  procederemos del modo siguiente:

- 1.- puede considerarse el valor del factor de obstrucción obtenido para cada punto de la matriz  $(x_i, y_i, 0)$ , con  $i=1-11$ , como la altura medida sobre el plano horizontal. De este modo  $F(x_i, y_i, 0) = (x_i, y_i, h)$ , siendo  $h$  el valor del factor de obstrucción para cada punto de la matriz de control;
- 2.- el valor de  $h = G(x, y, 0)$ , define una superficie sobre la matriz de control, donde el la altura representa el valor del factor de obstrucción en el punto considerado;
- 3.- con el fin de caracterizar la superficie, se asigna a los puntos de la matriz de control una cota proporcional al valor del factor de obstrucción obtenido para cada uno de ellos;
- 4.- los puntos así obtenidos pertenecen a la superficie buscada. El tratamiento y definición de la superficie mediante un programa CAD puede abordarse definiendo un elemento de superficie, llamado 3Dcara, entre puntos consecutivos, definiendo de este modo una malla triangular, que reproduce la superficie con suficiente aproximación;
- 5.- la representación de dicha superficie en proyección sobre el plano horizontal puede abordarse con facilidad por aplicación del Sistema Acotado. Los programas de tratamiento topográfico permiten la definición de las curvas de nivel de una superficie definida a partir de una nube de puntos suficientemente significativos pertenecientes a la superficie. En este caso se han definido sobre la superficie las curvas de nivel equidistantes un 5% entre ellas. De este modo, todos los puntos situados entre dos curvas de nivel consecutivas tienen un valor del factor de obstrucción que difieren entre sí menos de 0.05.

En la imagen siguiente se muestra una proyección axonométrica de la matriz de control, sobre la que se ha situado la superficie definida por la asignación de la cota a cada punto de la matriz como valor del factor de obstrucción, y la malla triangular así definida:

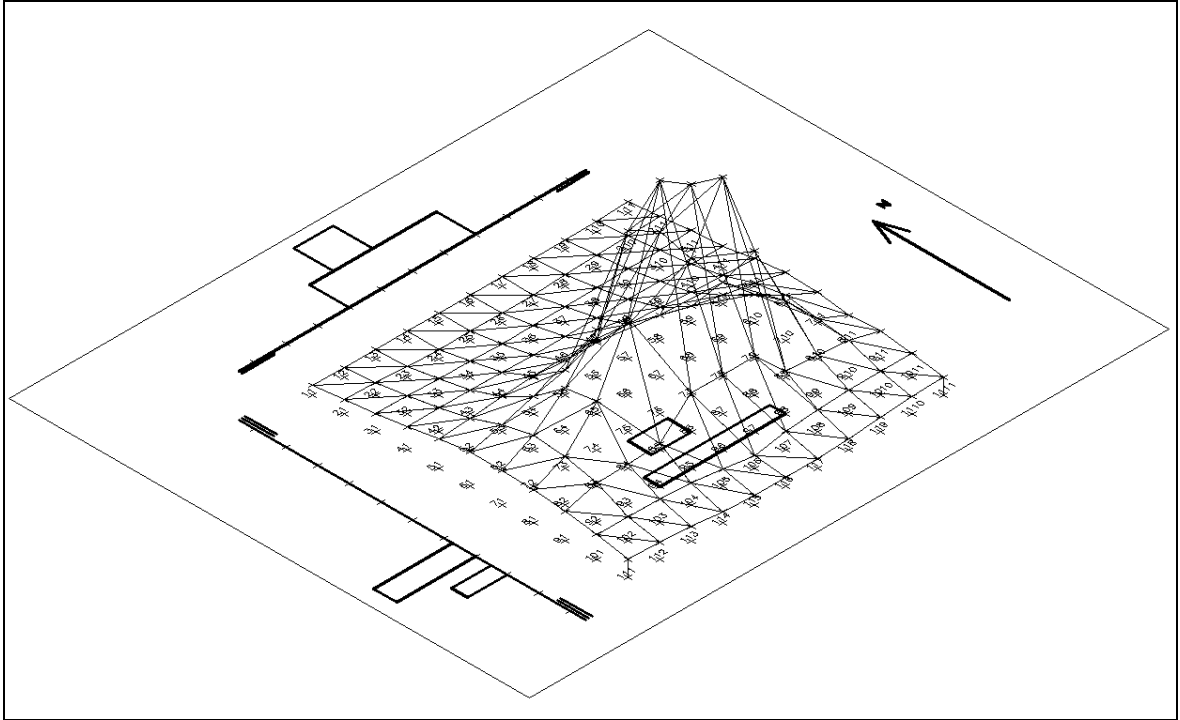


fig. 132: MALLA TRIANGULAR SOBRE LA MATRIZ DE PUNTOS DE CONTROL. AXONOMETRÍA.

Sobre la malla triangular se han interpolado curvas de nivel equidistantes un valor proporcional a una variación de 0.05 del factor de obstrucción. Dichas curvas permiten representar en sistema acotado la superficie definida por interpolación lineal del factor de obstrucción.

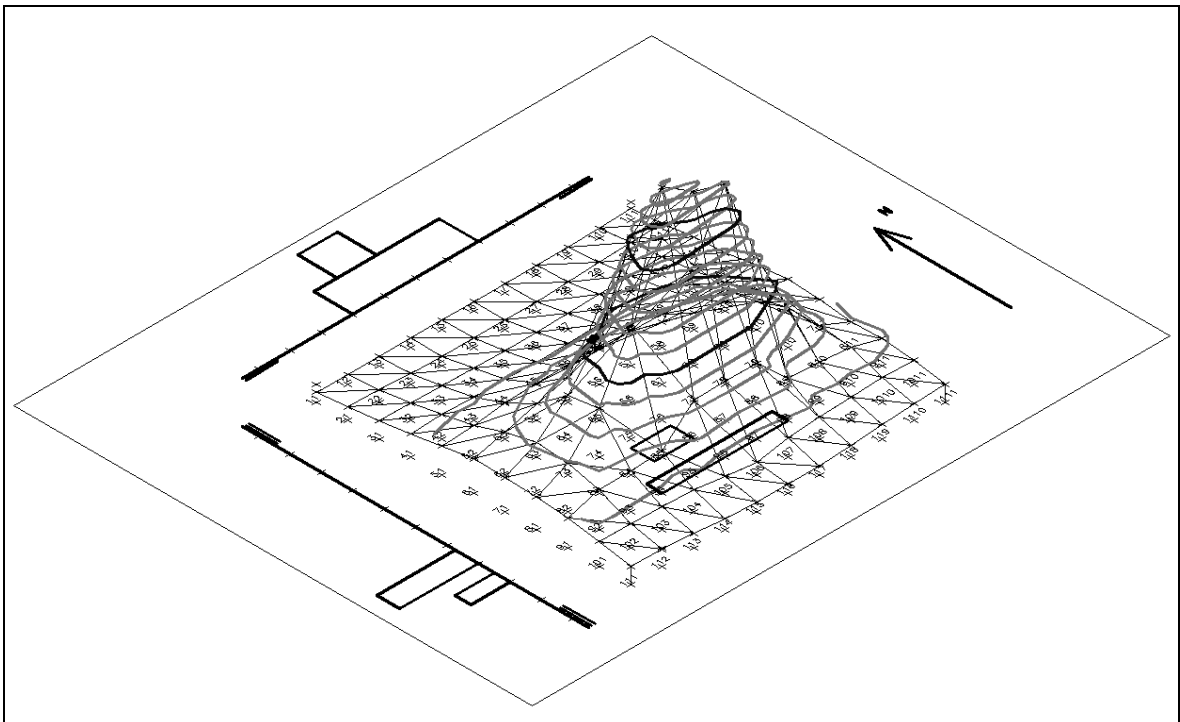


fig. 133: CURVAS DE NIVEL SOBRE LA MALLA TRIANGULAR. AXONOMETRÍA.

La proyección de dichas curvas de nivel sobre el plano horizontal delimita las áreas en que la variación del factor de obstrucción es inferior a 0.05.

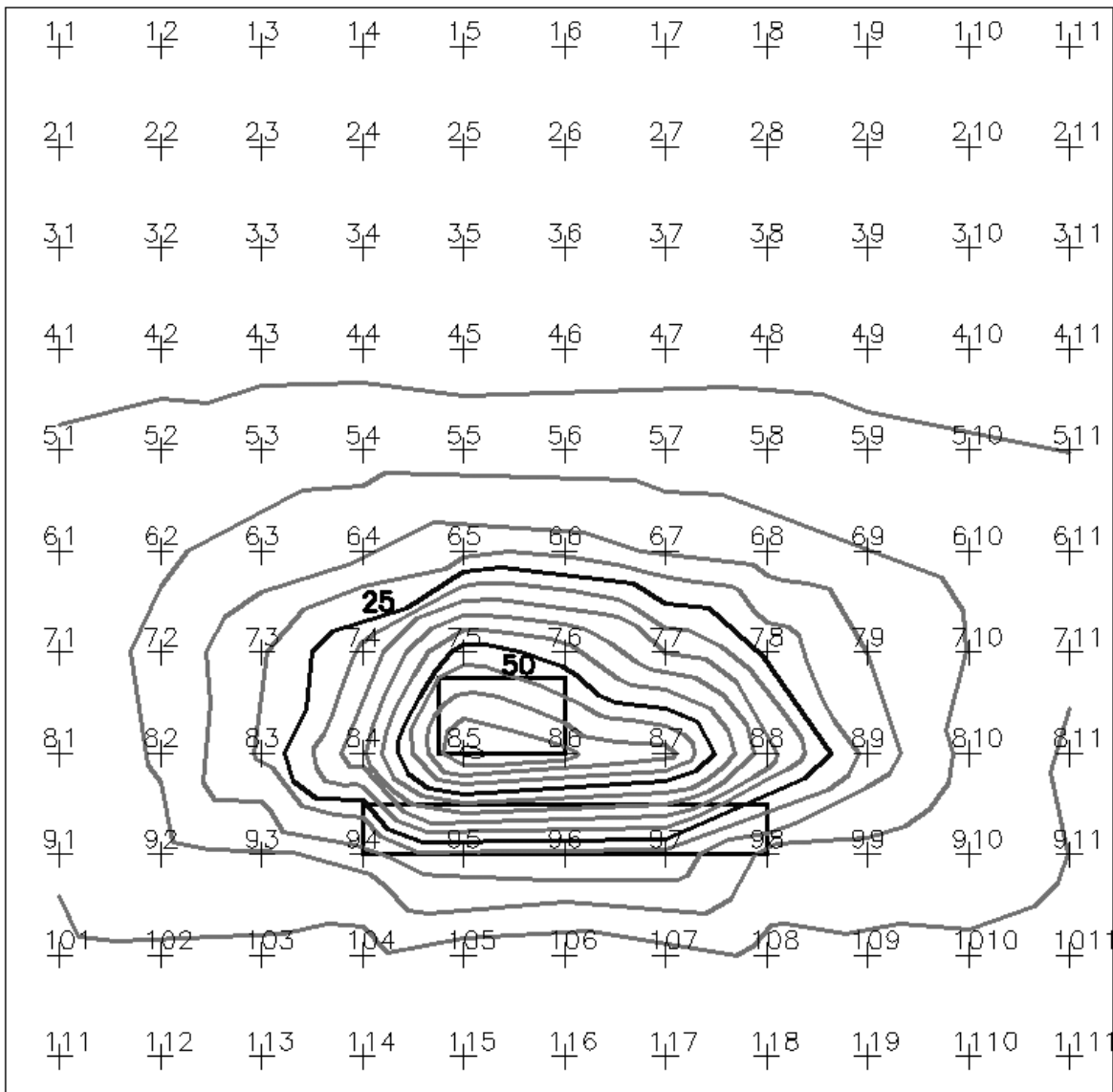


fig. 134: CURVAS DE NIVEL SOBRE LA MALLA TRIANGULAR. PLANTA.

Dado que las curvas de nivel representan la superficie cuyo valor de z es proporcional al factor de obstrucción para todos los puntos interiores al área de la matriz, hay que considerar que estos valores son válidos para todos los puntos del plano horizontal interiores a la matriz de control. Las caras superiores de los prismas, por encontrarse situados en planos horizontales cuya cota es mayor que la del plano horizontal, no quedan afectados por la superficie que representa el factor de obstrucción.

Los valores numéricos obtenidos para el factor de obstrucción pueden ser interpretados gráficamente en términos de tonos de grises. Para esta conversión se adopta la carta de color standard propia de los programas del entorno Windows. Dicha carta de color, conocida como RGB, define de un modo vectorial cada uno de los colores



que pueden mostrarse en pantalla como color de un pixel perteneciente a un gráfico o imagen. Los parámetros o componentes que definen un color cualquiera son:

- Red: Cantidad de componente rojo en el color, su rango varía entre 0 y 255.
- Green: Cantidad de componente verde en el color, su rango varía entre 0 y 255.
- Blue: Cantidad de componente azul en el color, su rango varía entre 0 y 255.

Además de estos tres componentes se definen otros tres parámetros que son:

- Matiz: Representa la predominancia de uno de los tres colores puros sobre los otros dos que registra el color en cuestión. Su rango varía entre 0 y 240. Sobre el diagrama de color una variación del matiz produce un desplazamiento horizontal del cursor desde la derecha de la paleta, donde se encuentra el rojo, hasta la zona izquierda de la paleta vuelve a encontrarse el rojo, tras haber pasado por los otros colores puros. Su valor es combinación lineal de sus respectivos componentes de rojo, verde y azul.
- Saturación: Representa la concentración de los tres colores puros que registra el color en cuestión. Su rango varía entre 0 y 240. Sobre el diagrama de color una variación de la saturación produce un desplazamiento vertical del cursor desde las zonas bajas de la paleta, donde todos los colores se aprecian próximos al gris medio, hasta la zona alta de la paleta donde los colores registran una saturación máxima. Su valor es independiente del valor de las respectivas componentes de rojo, verde y azul.
- Luminosidad: representa la proximidad al blanco o al negro que registra el color en cuestión. Su rango varía entre 0 y 240, y su valor es combinación lineal de sus respectivos componentes de rojo, verde y azul. Sobre la carta de colores RGB puede hacerse variar la luminosidad desplazando verticalmente el cursor triangular sobre una escala que comienza en el valor de color saturado y termina en el color negro.

Cualquier color puede pues obtenerse a partir de sus componentes en valores de Matiz, Saturación y luminosidad, aunque en el caso que nos ocupa, será más sencillo caracterizar los valores de grises a partir de sus componentes de rojo, verde y azul.

Tal y como se aprecia el color en la pantalla de un ordenador, por tratarse de color-luz, se trata de una mezcla aditiva. En estas condiciones, la suma de los tres colores básicos produce el color blanco, y la ausencia de los tres colores básicos produce el color negro.

Cualquier valor de gris se caracteriza en la paleta RGB por el hecho de que sus tres componentes en los tres colores básicos que componen la paleta son iguales entre sí. De este modo, la elección de un valor dentro del rango de los valores posibles para los colores básicos de la paleta produce un tono de gris, al que le corresponden unos valores

numéricos de saturación y luminosidad, con independencia del valor elegido para el matiz.

El número de grises disponibles en la paleta RGB es de 256, comprendidos entre los valores 0, que identifica al color negro, y 255, que identifica al color blanco.

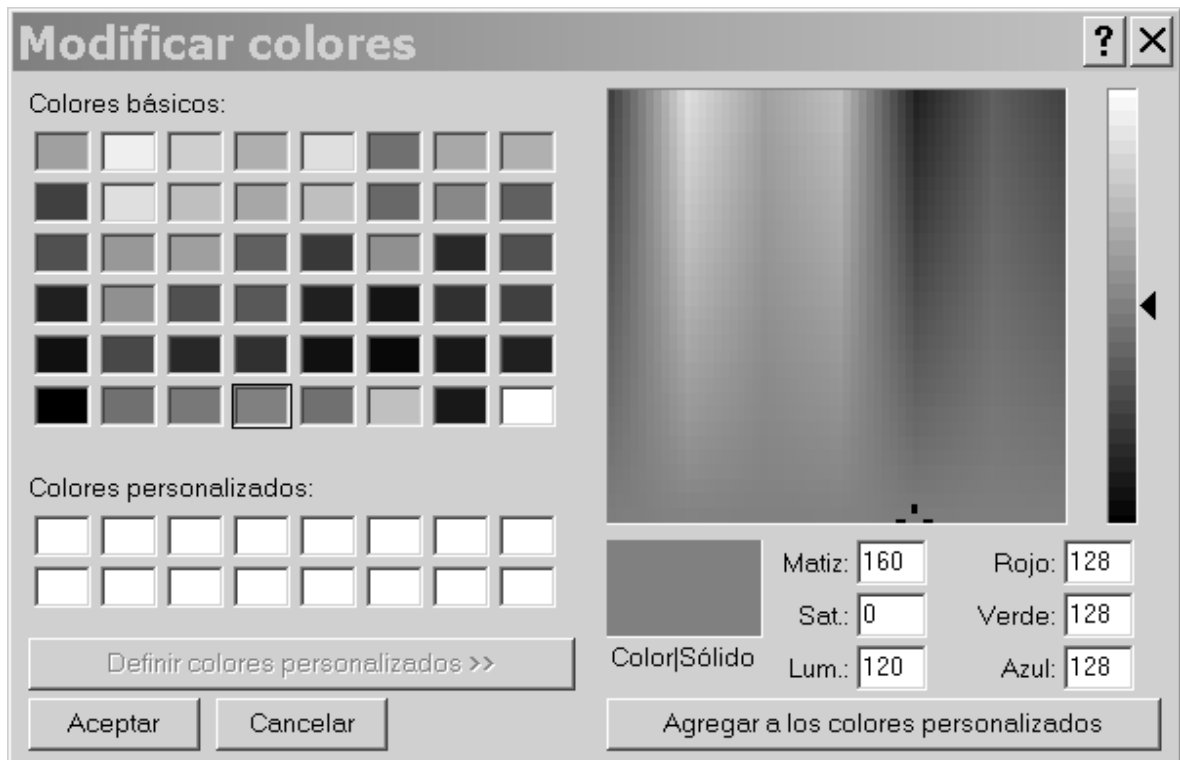


fig. 135: CARTA DE COLORES RGB.

En la imagen superior se muestra la caracterización del gris medio equidistante entre el blanco y el negro. Las componentes RGB que le corresponden son (128,128,128), obteniéndose como combinación lineal de los valores anteriores los valores 0 para la saturación, y 120 para la luminosidad.

La correspondencia entre los valores de grises así obtenidos y los valores numéricos que representan el valor del factor de obstrucción se ha obtenido distribuyendo el rango de los 256 grises en 20 valores significativos correspondientes a incrementos del 5% distribuidos entre los valores de 0 y 1.

Cabe destacar que un valor concreto de gris se corresponde con un intervalo en el que el factor de obstrucción tiene un valor comprendido entre  $F$  y  $F+0.05$ . De este modo la línea que separa dos grises consecutivos se corresponde con los puntos en que el factor de obstrucción tiene un valor exacto múltiplo de 0.05. La conversión de valores numéricos del factor de obstrucción en valores de grises tiene el inconveniente añadido de que la división de 256 en 20 partes iguales resulta un incremento entre grises consecutivos de valor 12,8. Este incremento no coincide con un valor entero representativo de un gris, por lo que ha sido necesario redondear al valor de gris entero más próximo. En la imagen siguiente se muestra la distribución de grises obtenidos repartidos según incrementos de 0.05 en el valor del factor de obstrucción:

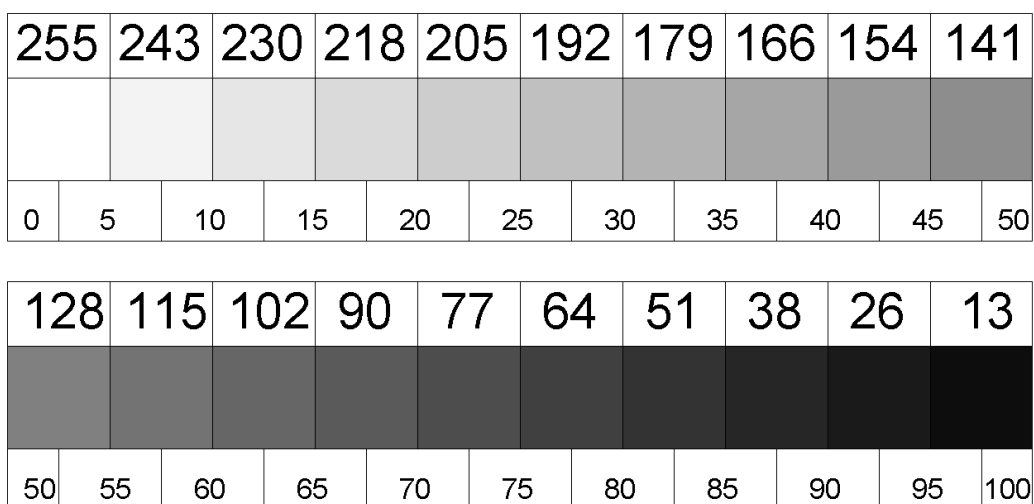


fig. 136: CARTA DE GRISES Y SU CORRESPONDENCIA PORCENTUAL.

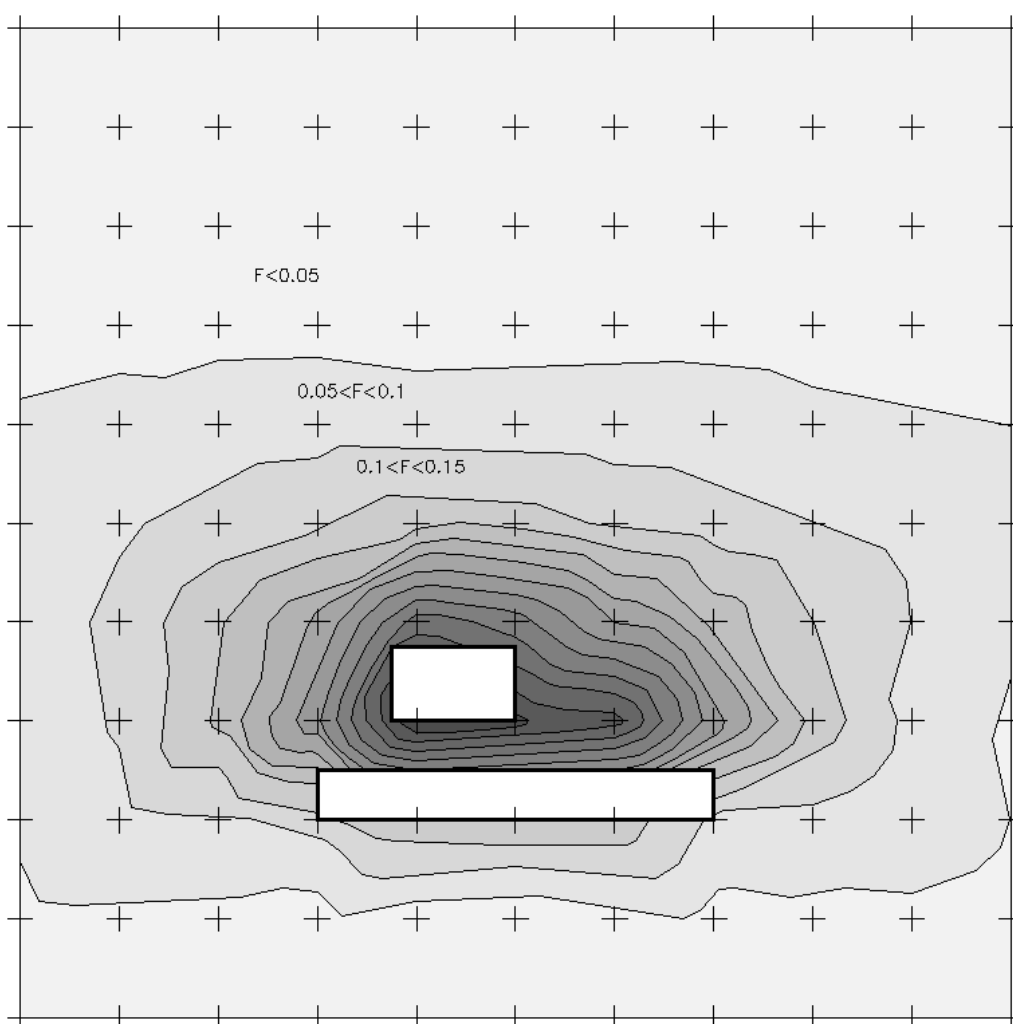


fig. 137: PROCEDIMIENTO ANALÓGICO. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE OBSTRUCCIÓN SOBRE LA MATRIZ DE CONTROL.

De la distribución de los grises obtenidos en la proyección en planta de las curvas de nivel representativas de la superficie obtenida por interpretación gráfica de los valores del factor de obstrucción resulta la imagen anterior, que permite una interpretación visual e intuitiva de dichos valores.

Esta imagen permite apreciar cual es el valor del factor de obstrucción en cualquier punto del plano horizontal sobre el que se apoyan los prismas, permitiendo establecer los valores numéricos de la duración del periodo en que un punto concreto del plano horizontal estudiado se encuentra en luz o en sombra dentro del periodo anual estudiado, en función del valor de gris que se registre en dicho punto.

Para calcular la duración en minutos del periodo anual de soleamiento cabe considerar que la duración del día solar, variable a lo largo del año, registra una evolución simétrica respecto de los equinoccios, por lo que las horas de luz correspondientes al solsticio de invierno son las mismas que las horas de noche del solsticio de verano. El total de horas de sol sobre el horizonte puede obtenerse pues multiplicando 365 días por 12 horas.

Para evaluar los periodos en que la altura del sol sobre el horizonte es inferior a la posición del almicanarate  $5^\circ$  sexagesimales puede tomarse el valor medio correspondiente al equinoccio, que es de 25 minutos entre el orto y el paso por el almicanarate  $5^\circ$  y otros 25 minutos entre el paso por el almicanarate  $5^\circ$  y el ocaso. De todo lo anterior se deduce que la duración anual del periodo de soleamiento para Valencia es de 4075,83 horas de sol. La equivalencia de los valores del factor de obstrucción en horas sol/año puede calcularse a partir de la siguiente fórmula:

$$Hsa = 4075,83(1 - F)$$

En la tabla siguiente se han calculado los valores de horas sol/año para valores del factor de obstrucción múltiplos de 0,05:

Valor del Factor de obstrucción	Minutos sol/año	Horas sol/año
0,00	244548	4075,83
0,05	232320	3872,03
0,10	220093	3668,24
0,15	207865	3464,45
0,20	195638	3260,66
0,25	183411	3056,87
0,30	171183	2853,08
0,35	158956	2649,28
0,40	146728	2445,49
0,45	134501	2241,70
0,50	122274	2037,91
0,55	110046	1834,12
0,60	97819	1630,33
0,65	85591	1426,54
0,70	73364	1222,74
0,75	61137	1018,95
0,80	48909	815,16
0,85	36682	611,37
0,90	24454	407,58
0,95	12227	203,79
1,00	0,00	0,00

El proceso de obtención descrito para dicha imagen, puede ser variado en el sentido de considerar un mayor número de puntos en la matriz de control, o bien optando por una distribución de puntos distinta a la malla cuadrada utilizada en este caso. También se puede intervenir sobre la definición de las curvas de nivel obtenidas sobre la superficie, haciendo menor el valor de la equidistancia entre ellas.

Cualquiera de estas acciones produciría un aumento en la definición y exactitud de los valores obtenidos para el factor de obstrucción, aunque también haría que el proceso de obtención de la imagen fuera más laborioso, considerándose en este caso suficiente la aproximación de los valores obtenidos para el presente estudio.

## **4.2. Cálculo del factor de obstrucción mediante un procedimiento Informático**

Tanto los programas CAD de diseño asistido como los programas que permiten la animación de escenas, del tipo 3DStudio, cuentan con módulos que permiten la definición de focos luminosos en entornos tridimensionales, capaces de producir sombras propias y arrojadas.

Los programas cuentan también con la posibilidad de conferir a un foco luminoso los atributos propios del sol, produciendo un haz luminoso de vértice impropio cuya dirección coincide con la del vector solar, una vez definida la situación geográfica y orientación de los objetos a iluminar, la fecha y la hora en que se quiere conocer la dirección del vector solar.

La posibilidad de obtener animaciones de una escena concreta permite variar la posición de los objetos que componen la escena, de tal modo que en imágenes sucesivas los objetos van ocupando distintas posiciones en el espacio, con la posibilidad de definir con exactitud las trayectorias que un objeto concreto debe seguir en su movimiento.

De este modo, es posible definir una secuencia de imágenes donde una serie de objetos, que definen un entorno arquitectónico o urbanístico quedan sometidos a la iluminación producida por un haz de vértice impropio, cuya posición varía en imágenes sucesivas reproduciendo el movimiento del sol sobre la esfera celeste. La secuencia de imágenes así obtenida permite observar la variación de las sombras propias y arrojadas de la escena en función del movimiento solar.

En cada una de las imágenes obtenidas podrá apreciarse unas determinadas áreas iluminadas, por recibir directamente la radiación solar, y otras en sombra, por quedar la radiación interceptada por los objetos del entorno. Del análisis de una serie de imágenes sucesivas, en cantidad suficiente para representar un periodo concreto, y correspondientes a la variación de la posición del vector solar en un periodo de tiempo definido pueden extraerse conclusiones válidas para el cálculo del factor de obstrucción sobre las superficies que aparecen representadas en la imagen.

El objeto de los apartados siguientes es definir un procedimiento válido para el cálculo del factor de obstrucción para todos los puntos de un entorno definido, orientado y situado en una ubicación geográfica concreta. Con el fin de comparar los resultados obtenidos se procede al análisis del modelo estudiado en el punto anterior por procedimientos gráficos analógicos, optando en este caso por un procedimiento informático como alternativa al procedimiento anterior.

#### 4.2.1. Obtención de imágenes con sombras propias y arrojadas

La obtención de una secuencia de imágenes sucesivas en las que se aprecien las áreas delimitadas por las sombras propias y arrojadas por los objetos que definen el entorno precisa de la definición geométrica del mismo.

En este caso, dado que se procede al estudio del modelo definido anteriormente será necesaria la definición tridimensional de los prismas que componen la escena, y del plano horizontal sobre el que se apoyan, y que recibe las sombras arrojadas por estos. También será necesario definir la orientación de la dirección norte, en este caso, la dirección transversal al prisma de mayor dimensión.

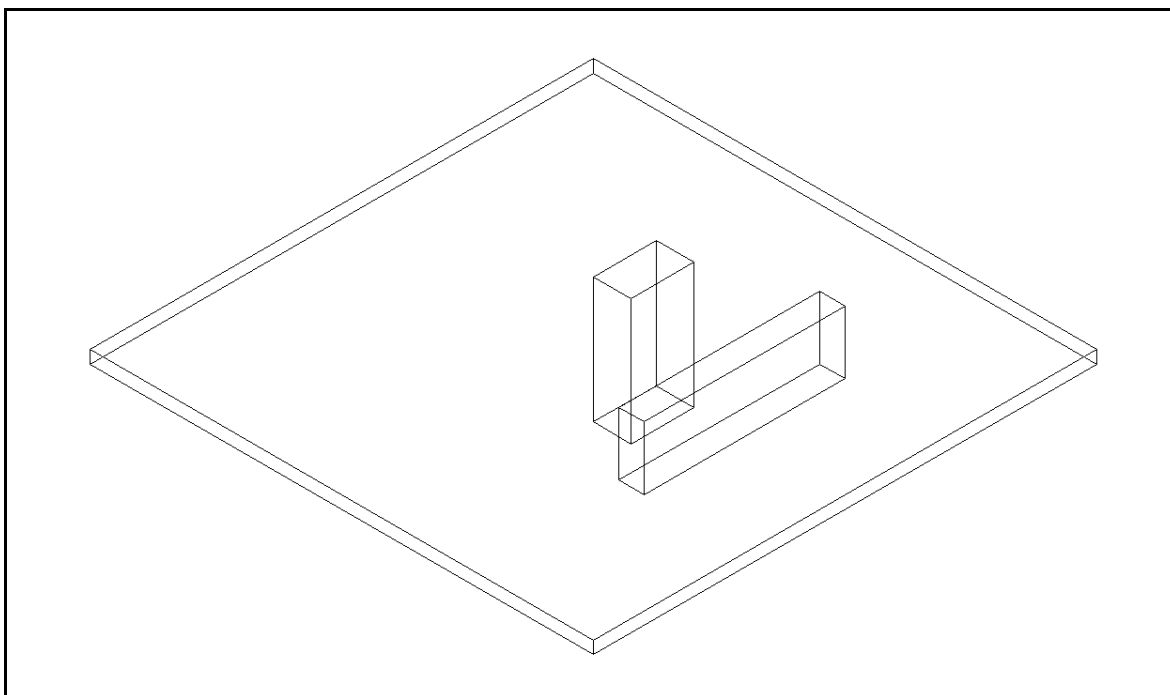


fig. 138: DEFINICIÓN GEOMETRICA TRIDIMENSIONAL DEL MODELO OBJETO DE ESTUDIO.

Una vez definido el entorno a estudiar, es necesario definir el intervalo temporal en el que se quiere estudiar el factor de obstrucción, y el movimiento solar sobre la esfera celeste que le corresponde a dicho intervalo.

Dado que se pretende establecer una analogía con el procedimiento estudiado anteriormente para la definición del factor de obstrucción, será necesario que se reproduzcan unas condiciones lo más parecidas posibles al caso anterior.

De este modo, las condiciones que se establecen para definir las trayectorias solares son las siguientes:

- el periodo estudiado es el correspondiente al recorrido completo del sol sobre la esfera celeste, correspondiente a los días comprendidos entre el solsticio de invierno y el solsticio de verano;
- los días objeto de estudio están separados entre sí un intervalo de cinco días, contados a partir del solsticio de invierno, hasta sobrepasar el solsticio de verano;
- los puntos de control, correspondientes a las posiciones del vector solar desde las cuales se va a producir una imagen están separados sobre cada trayectoria diaria un intervalo de cinco minutos.
- se desprecian aquellas posiciones del vector solar cuya altura sobre el horizonte sea inferior al almicantrate  $5^{\circ}$  sexagesimales.

Partiendo de las premisas anteriores se define una secuencia de posiciones en las que el vector solar adopta sucesivamente las coordenadas sobre la bóveda celeste que representan los puntos definidos en el procedimiento gráfico descrito en el punto 4.1.

Cada una de las imágenes obtenidas representará las sombras propias y arrojadas por los objetos de la escena cuando el sol ocupe cada una de las posiciones así definidas. Cada uno de los días de control tendrá tantas imágenes como el resultado de dividir el periodo comprendido entre el orto  $+5^{\circ}$  y el ocaso  $-5^{\circ}$ , en periodos de cinco minutos.

La secuencia completa consta de 38 días, con una cantidad variable de imágenes por día, comprendida entre las 98 imágenes correspondientes al 22 de diciembre, y las 165 imágenes correspondientes al 25 de junio, primer y último día de la secuencia.

El número total de imágenes de la secuencia es de 5082, que representan a su vez a los 5082 puntos definidos sobre la bóveda celeste en el procedimiento analógico.

Para la definición de las trayectorias solares correspondientes a cada uno de los días elegidos sobre la bóveda celeste se ha tenido en cuenta la latitud del lugar, que es este caso, y para que coincida con la del estudio gráfico desarrollado con anterioridad, se ha optado por la ubicación geográfica de Valencia, cuyas coordenadas geográficas son: (39.30°N, 00.38°O)

Las horas correspondientes al orto $+5^{\circ}$  y al ocaso $+5^{\circ}$  están calculadas según la hora solar del meridiano del lugar, y son definidas de un modo automático por el propio programa. Puede comprobarse que los datos obtenidos coinciden con los datos utilizados en el cálculo gráfico del factor de obstrucción.

La división en intervalos de cinco minutos sobre cada uno de los días considerados se ha llevado a cabo en este caso tomando el origen de tiempos para cada día en el punto correspondiente al orto $+5^{\circ}$ , a diferencia de la división que se tomó en el caso del

procedimiento gráfico que consideraba el origen de tiempos el paso del sol sobre el meridiano del lugar. Aun con esta salvedad, el número de intervalos correspondientes a cada día coincide con el considerado en el procedimiento gráfico. En la tabla adjunta se define para cada uno de los días de control la hora siguiente al orto y anterior al ocaso en que el sol se encuentra por encima del almicanarate 5° sexagesimales sobre el horizonte.

Como diferencia de las horas de inicio y fin del periodo estudiado para cada día se calcula la duración en horas y minutos del periodo correspondiente a cada día, el número de imágenes que le corresponde a cada día, como resultado de dividir el periodo en intervalos de cinco minutos, y el número de orden que le corresponde a cada una de las imágenes de la secuencia.

DIA	ORTO+5	OCASO-5	HORAS	MIN	IMAGENES	PRI	ULT
22 DIC	7'56"	16'06"	8 <sup>H</sup> 10 <sup>m</sup>	490	98	0	97
27 DIC	7'58"	16'08"	8 <sup>H</sup> 10 <sup>m</sup>	490	98	98	195
1 ENE	7'59"	16'10"	8 <sup>H</sup> 11 <sup>m</sup>	491	98	196	293
6 ENE	7'59"	16'16"	8 <sup>H</sup> 17 <sup>m</sup>	497	99	294	392
11 ENE	7'58"	16'22"	8 <sup>H</sup> 25 <sup>m</sup>	504	101	393	493
16 ENE	7'56"	16'28"	8 <sup>H</sup> 32 <sup>m</sup>	512	102	494	595
21 ENE	7'53"	16'34"	8 <sup>H</sup> 41 <sup>m</sup>	521	104	596	699
26 ENE	7'49"	16'41"	8 <sup>H</sup> 52 <sup>m</sup>	532	106	700	805
31 ENE	7'45"	16'47"	9 <sup>H</sup> 02 <sup>m</sup>	542	108	806	913
5 FEB	7'39"	16'53"	9 <sup>H</sup> 14 <sup>m</sup>	554	111	914	1024
10 FEB	7'33"	17'00"	9 <sup>H</sup> 27 <sup>m</sup>	567	113	1025	1137
15 FEB	7'27"	17'06"	9 <sup>H</sup> 39 <sup>m</sup>	579	116	1138	1253
20 FEB	7'20"	17'12"	9 <sup>H</sup> 52 <sup>m</sup>	592	118	1254	1371
25 FEB	7'13"	17'18"	10 <sup>H</sup> 05 <sup>m</sup>	605	121	1372	1492
2 MAR	7'05"	17'24"	10 <sup>H</sup> 19 <sup>m</sup>	619	124	1493	1616
7 MAR	6'58"	17'29"	10 <sup>H</sup> 31 <sup>m</sup>	631	126	1617	1742
12 MAR	6'50"	17'35"	10 <sup>H</sup> 45 <sup>m</sup>	645	129	1743	1871
17 MAR	6'42"	17'40"	10 <sup>H</sup> 58 <sup>m</sup>	658	132	1872	2003
22 MAR	6'34"	17'45"	11 <sup>H</sup> 11 <sup>m</sup>	671	134	2004	2137
27 MAR	6'26"	17'50"	11 <sup>H</sup> 24 <sup>m</sup>	684	137	2138	2274
1 ABR	6'18"	17'55"	11 <sup>H</sup> 37 <sup>m</sup>	697	139	2275	2413
6 ABR	6'10"	18'00"	11 <sup>H</sup> 50 <sup>m</sup>	710	142	2414	2555
11 ABR	6'03"	18'05"	12 <sup>H</sup> 02 <sup>m</sup>	722	144	2556	2699
16 ABR	5'56"	18'09"	12 <sup>H</sup> 13 <sup>m</sup>	733	147	2700	2846
21 ABR	5'49"	18'12"	12 <sup>H</sup> 23 <sup>m</sup>	743	149	2847	2995
26 ABR	5'42"	18'19"	12 <sup>H</sup> 37 <sup>m</sup>	757	151	2996	3146
1 MAY	5'36"	18'23"	12 <sup>H</sup> 47 <sup>m</sup>	767	153	3147	3299
6 MAY	5'31"	18'28"	12 <sup>H</sup> 57 <sup>m</sup>	777	155	3300	3454
11 MAY	5'26"	18'32"	13 <sup>H</sup> 06 <sup>m</sup>	786	157	3455	3611
16 MAY	5'21"	18'37"	13 <sup>H</sup> 16 <sup>m</sup>	796	160	3612	3771
21 MAY	5'17"	18'41"	13 <sup>H</sup> 24 <sup>m</sup>	804	161	3772	3932
26 MAY	5'14"	18'45"	13 <sup>H</sup> 31 <sup>m</sup>	811	162	3932	4094
31 MAY	5'12"	18'48"	13 <sup>H</sup> 36 <sup>m</sup>	816	163	4095	4257
5 JUN	5'11"	18'51"	13 <sup>H</sup> 40 <sup>m</sup>	820	164	4258	4421
10 JUN	5'10"	18'54"	13 <sup>H</sup> 44 <sup>m</sup>	824	165	4422	4586
15 JUN	5'10"	18'56"	13 <sup>H</sup> 46 <sup>m</sup>	826	165	4587	4751
20 JUN	5'10"	18'57"	13 <sup>H</sup> 47 <sup>m</sup>	827	165	4752	4916
25 JUN	5'11"	18'58"	13 <sup>H</sup> 47 <sup>m</sup>	827	165	4917	5081



La definición de las posiciones sucesivas que ocupa el vector solar a lo largo del periodo estudiado se ha obtenido definiendo un foco de luz cilíndrica, es decir, de rayos paralelos, tal que el punto al que va dirigido el rayo es fijo, y el punto de origen del mismo es variable, ocupando sucesivamente las posiciones representativas de las posiciones del vector solar sobre las trayectorias diarias correspondientes a los días elegidos.

Esta trayectoria continua sobre la bóveda celeste, representativa de las posiciones sucesivas que adopta el vector solar a lo largo del año, se muestra en las imágenes siguientes, dentro del programa informático en el que ha sido generada y observada desde distintos puntos de vista:

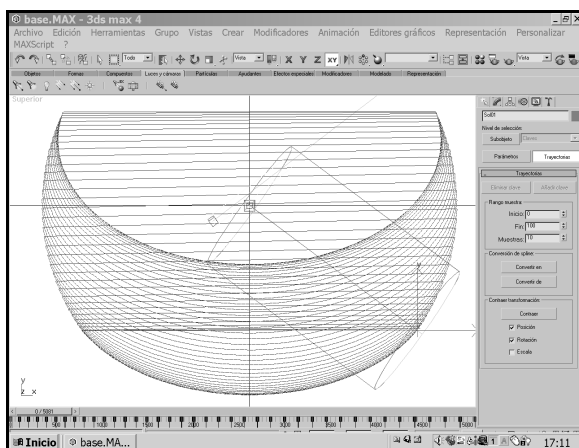


fig. 139: TRAYECTORIA SOLAR VISTA EN PLANTA.

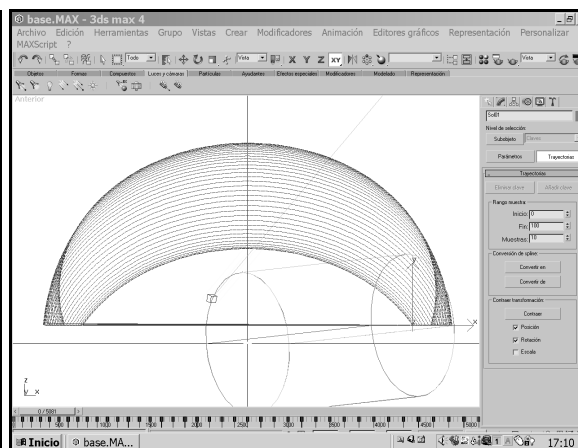


fig. 140: TRAYECTORIA SOLAR VISTA EN ALZADO.

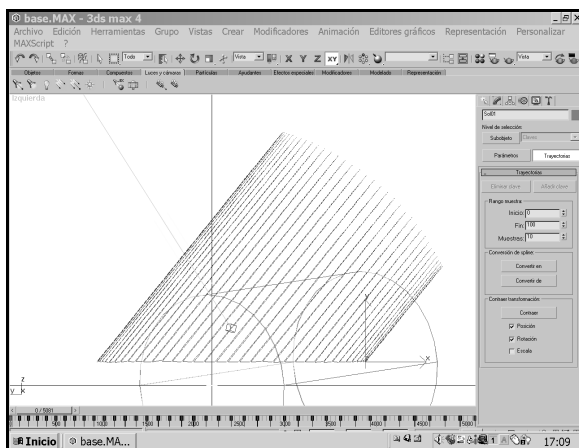


fig. 141: TRAYECTORIA SOLAR VISTA DE PERFIL.

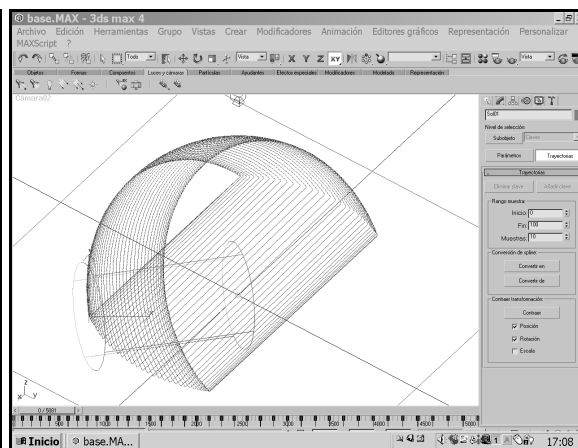


fig. 142: TRAYECTORIA SOLAR VISTA EN AXONOMÉTRICO.

Definida la trayectoria del vector solar, y la geometría del entorno a estudiar, el programa está en condiciones de obtener una secuencia de 5082 imágenes en las que se representan las sombras propias y arrojadas por los objetos que definen la escena, siguiendo la variación anual de las distintas posiciones que ocupa el sol sobre la bóveda celeste.

Dichas imágenes son generadas por el programa de un modo sucesivo y son almacenadas, asignando a cada una de ellas un número de orden comprendido entre el 0 y el 5081.

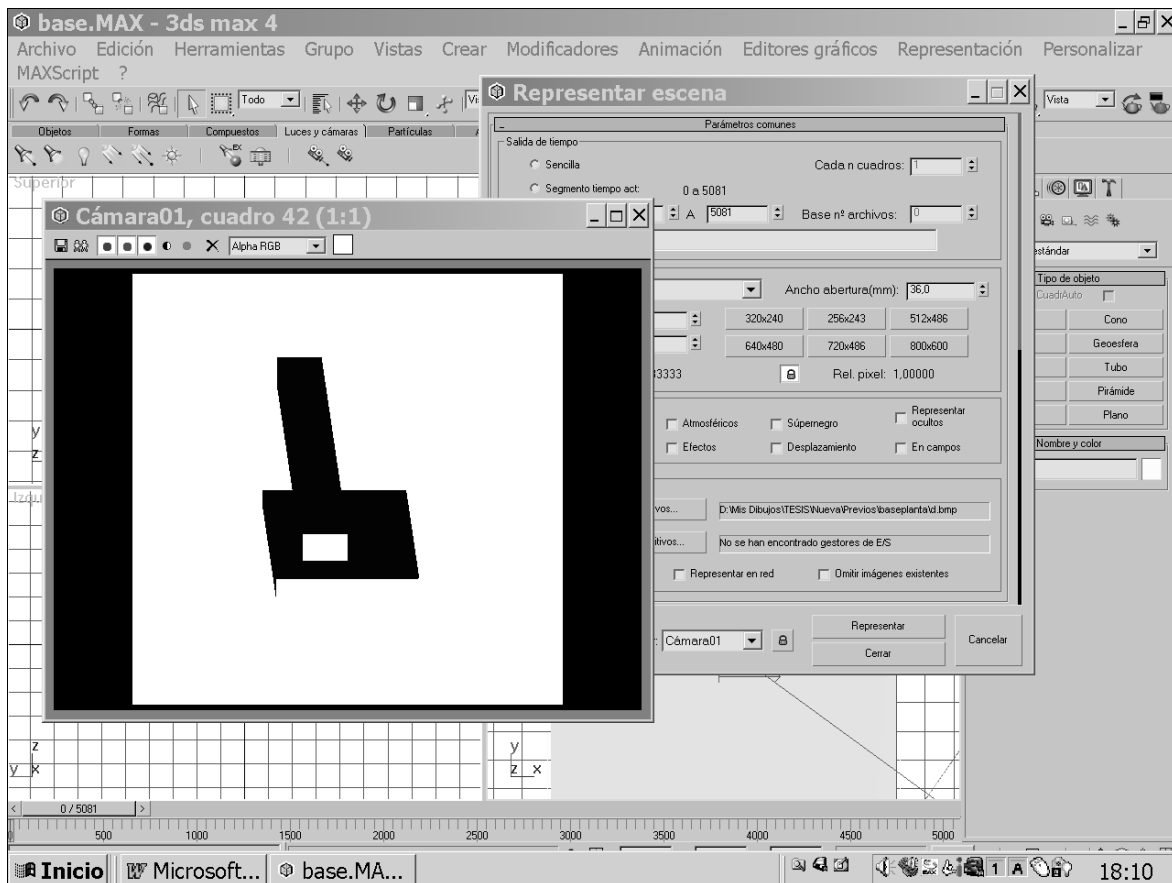


fig. 143: PROCESO DE OBTENCIÓN DE SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS.

El punto de vista, y el tipo de proyección con el que se obtiene la imagen debe ser definido de antemano, situando una cámara en la posición deseada, y optando por el tipo de proyección cónica o cilíndrica, siendo necesario para el estudio que nos ocupa, que todas las imágenes estén obtenidas desde el mismo punto de vista y con el mismo tipo de proyección.

Respecto de la intensidad de la luz, y del color de la escena, es necesario que la imagen obtenida sea en blanco y negro, y que tenga el menor número de tonos posibles, con el fin de simplificar los cálculos posteriores.

Para ello se define el color blanco tanto para los objetos de la escena, como para la luz de la radiación solar, aplicando a la intensidad de la luz un factor multiplicador  $\times 10$ , que es el máximo aplicable.

De este modo los efectos que se consiguen son unas imágenes con un alto contraste donde las áreas en luz y sombra están claramente delimitadas, al tiempo que se minimiza la influencia del ángulo con que los rayos solares inciden sobre las superficies de la escena.

A continuación se muestra la imagen correspondiente al N° 42 de la secuencia, tanto en planta como en tres axonometrías isométricas:

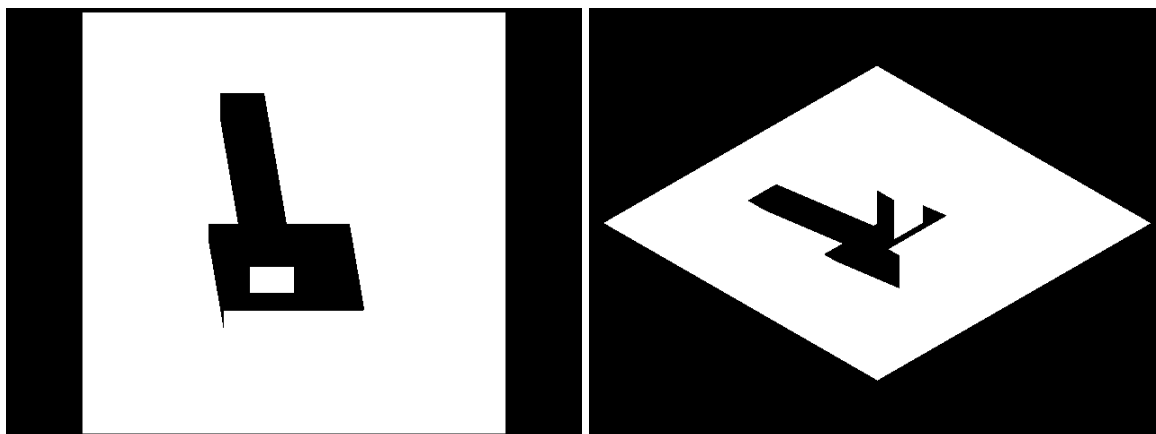


fig. 144: SOMBRAS ARROJADAS EN PLANTA POR LOS OBJETOS DEL ENTORNO.

fig. 145: SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS POR LOS OBJETOS DEL ENTORNO. AXONOMETRICO SUROESTE

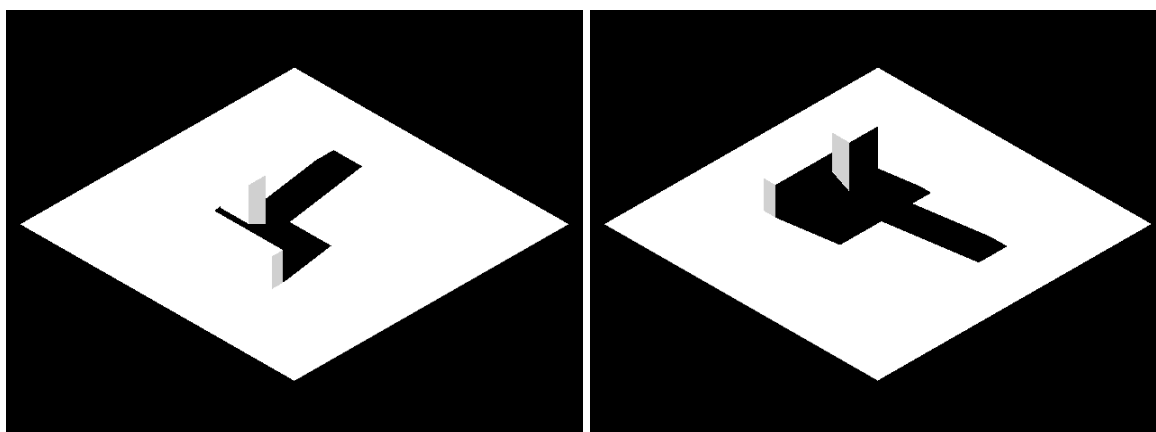


fig. 146: SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS POR LOS OBJETOS DEL ENTORNO. AXONOMETRICO SURESTE

fig. 147: SOMBRAS PROPIAS Y ARROJADAS POR LOS OBJETOS DEL ENTORNO. AXONOMETRICO NORESTE

En el caso que nos ocupa, y dado que se pretende establecer una analogía con el procedimiento gráfico aplicado anteriormente, se ha obtenido la secuencia de imágenes correspondiente a la vista en planta de la escena.

En el Anejo II se recoge, a modo de ejemplo, parte de la secuencia de imágenes obtenidas. Se muestran las imágenes correspondientes al solsticio de invierno, al equinoccio de primavera y al solsticio de verano.

#### **4.2.2. Estructura de los archivos informáticos, analogía con el concepto de matriz**

Las imágenes obtenidas en la secuencia se almacenan en los sistemas físicos del ordenador que las ha obtenido en forma de archivos gráficos informáticos. En esencia, todos los archivos gráficos tienen una estructura similar, y están compuestos por una serie de celdas cuadradas, llamadas píxeles, ordenadas en filas y columnas, con un valor de color asignado a cada una de las celdas.

La resolución del archivo representa el número de píxeles que lo compone en horizontal y vertical, siendo habitual que ambas cantidades estén en relación 4:3. La resolución standard mas baja es la llamada VGA, que corresponde a las siglas en inglés

Video Game Adapter, es la resolución mínima con la que funcionan los monitores de los ordenadores y tiene una resolución de 640x480 píxeles. Partiendo de esta resolución, se definen como resoluciones habituales los valores de 800x600, 1024x768, 1280x960 y 1600x1200 píxeles, siendo el tamaño del archivo obtenido proporcional al resultado de multiplicar ambas cantidades.

Respecto del formato del archivo, depende de los diversos procedimientos de almacenamiento de datos que utiliza cada uno de ellos, propio en cada caso de la empresa de software que lo ha desarrollado. Unos formatos se distinguen de otros en la extensión de los mismos, representada por los tres últimos dígitos del nombre del archivo, separados de este por un punto. Aunque existen infinidad de formatos de archivo gráfico, cada cual adaptado para el uso de un programa concreto, los formatos de archivos gráficos más habituales son:

- BMP: (Windows Bitmap) Es el formato habitual del entorno Windows. Se trata de un archivo sin compresión, habitual para resoluciones medianas y pequeñas.
- TIFF: (Tagged Image File Format) Se trata de un formato menos habitual, también sin compresión.
- JPG: Formato standard de imagen comprimida. Especialmente apto para imágenes de gran resolución. Tiene el inconveniente de que los procesos de apertura y cierre de la imagen, y los procesos subsecuentes de compresión y descompresión pueden hacerle perder calidad.
- TGA: Es un formato de compresión media, apto para archivos de tamaño mediano a grande.
- GIF: Es el formato de máxima compresión, habitual en Internet. Produce pérdidas de calidad de la imagen por compresión. Es habitual en archivos de poco tamaño.

A modo de ejemplo, se ha almacenado un archivo de los obtenidos en la secuencia de imágenes en los distintos formatos, obteniéndose para cada uno de ellos el siguiente tamaño para una resolución de 640x480 píxeles:

FORMATO	TAMAÑO EN BYTES	% respecto del mayor
BMP	301 KB (308.278 bytes)	100.00
TIFF	300 KB (307.374 bytes)	99.70
JPG	10,2 KB (10.526 bytes)	3.41
TGA	7,50 KB (7.689 bytes)	2.49
GIF	3,50 KB (3.587 bytes)	1.16

Puede observarse que la relación de tamaños entre archivos, en distintos formatos para una misma imagen puede hacer que el tamaño del archivo sea hasta cien veces mayor, por lo que la elección del formato queda condicionada en el caso de que no se disponga de una amplia capacidad de almacenamiento.

Respecto de la estructura interna del archivo, queda condicionada a la existencia o no de compresión. En el caso de los archivos comprimidos se almacena la información necesaria para reconstruir la imagen representada, mientras que en los archivos sin

compresión la información se almacena en bruto, de modo que cada byte del archivo, que representa a su vez el color que presenta un pixel en concreto ocupa siempre la misma posición.

En el caso que nos ocupa, se ha elegido un formato sin compresión, en concreto el formato BMP, con una resolución de 640x480 pixeles. La elección de una resolución relativamente baja para un archivo gráfico se debe al hecho de que cada secuencia obtenida con las distintas posiciones del vector solar cuenta con 5082 archivos, de modo que el volumen total de información puede hacerse excesivamente grande en el caso de que cada archivo individualmente tenga un tamaño grande de por sí.

Cada uno de estos archivos está compuesto por un total de 308278 bytes. Cada byte, ocupa dos dígitos en sistema de numeración hexadecimal. Dicho sistema de numeración cuenta con 16 dígitos: 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B, C, D, E y F. Los dos dígitos disponibles permiten identificar 256 valores distintos, comprendidos entre el 00 y el FF.

El volumen total de información que compone cada secuencia es de 1566668796 bytes, equivalente a 1.45 Gigabytes. Con el fin de proporcionar una idea del volumen que supone dicha información, baste con decir que para almacenarla serían necesarios un total de 1058 diskettes de 31/2 pulgadas.

Los archivos obtenidos pueden entenderse como una matriz, de 480 filas por 640 columnas, estando ocupada cada posición de la matriz por un número comprendido entre el 00 y el FF, que representa el color del pixel que representa dicha posición.

El valor correspondiente al color negro se representa por el valor 00, mientras que el blanco se representa por el valor FF, tomando los valores intermedios entre ellos la gradación de la escala de grises que corresponde a la transición entre el negro y el blanco en 256 tonos intermedios de gris.

La analogía de los archivos informáticos con el concepto de matriz permite definir entre ellos operaciones matemáticas, como la suma, la diferencia, o el producto por un escalar, que permiten la interacción entre imágenes, con el fin de obtener resultados gráficos interpretables.

### **4.2.3. Integración de las imágenes. Obtención de mapas de sombras**

Cada una de las imágenes obtenidas en la secuencia es almacenada como un archivo de extensión BMP, con una resolución de 640x480 pixeles, y con un tamaño de 308278 bytes.

La estructura de la imagen así almacenada es análoga a una matriz de 480 filas por 640 columnas, donde cada celda, o pixel contiene un valor de gris, de los 256 posibles, comprendido entre el blanco (FF ó 255) y el negro (00 ó 00):

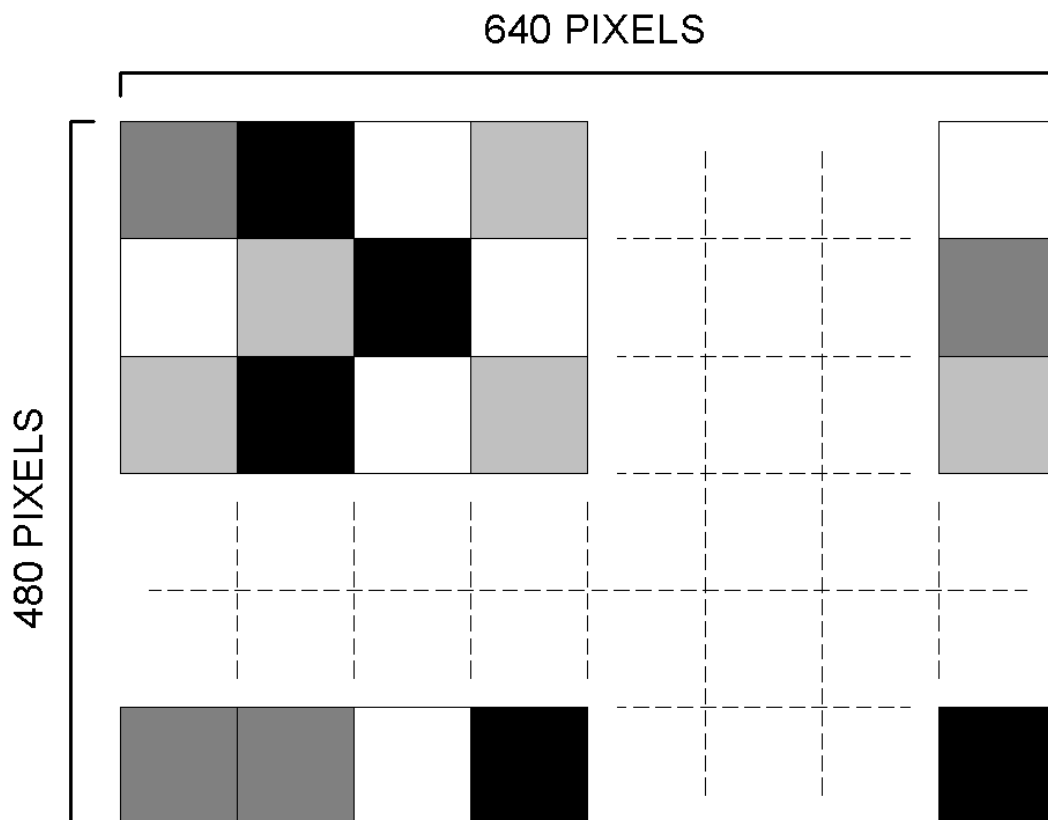


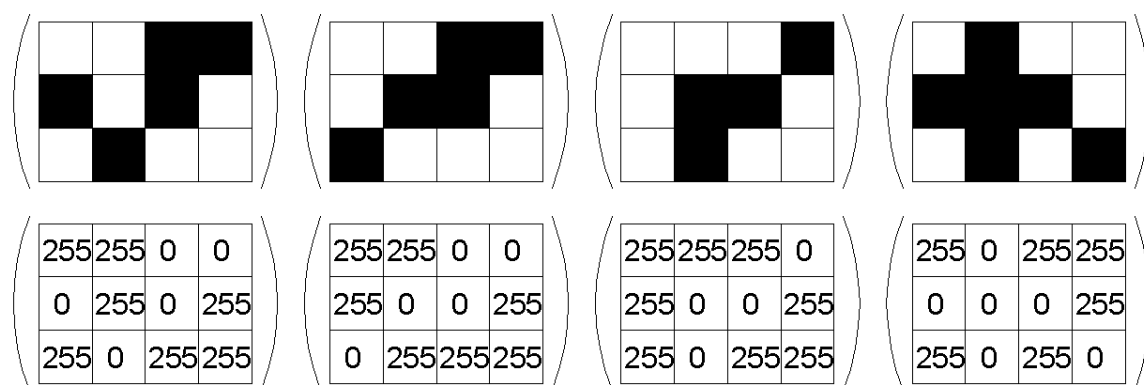
fig. 148: MATRIZ DE 480 FILAS POR 640 COLUMNAS CONTENIENDO GRISES.

Cada uno de los pixeles que aparecen en una imagen representa, dentro de la imagen obtenida, una porción de la superficie de los objetos que componen la escena, que puede tener un valor de luz, o de sombra en función de que el valor numérico del pixel que lo representa esté más o menos próximo al valor numérico del blanco o del negro.

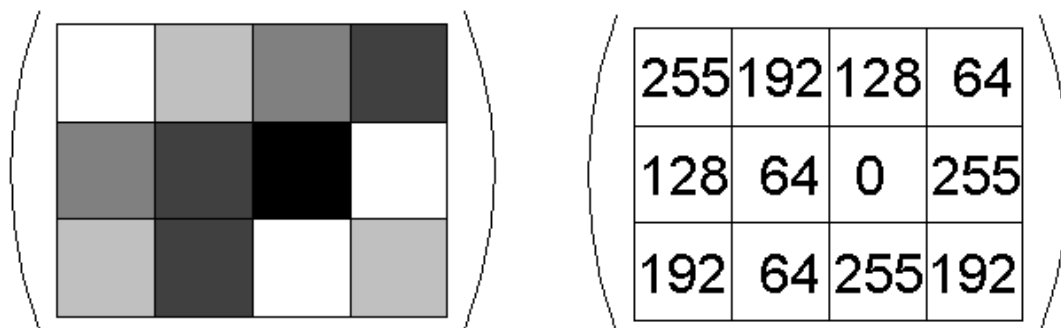
En las imágenes sucesivas obtenidas, un pixel que ocupa una posición concreta dentro de la imagen puede cambiar de valor, a medida pase de estar expuesto a la radiación solar, o bien a la sombra. El tiempo total dentro del intervalo estudiado que el área que representa dicho pixel se encuentra expuesta a la radiación solar depende de cuantas veces en las sucesivas imágenes dicho pixel aparece blanco.

Dado que los valores de grises tienen un correlato numérico, el valor de gris obtenido por la media aritmética de los 5082 valores que registra dicho pixel en la secuencia de imágenes representa un valor de gris proporcional a la duración del intervalo que dicha porción de superficie permanece en sombra.

A modo de ejemplo, supongamos una secuencia compuesta por cuatro imágenes, donde la resolución de las mismas sea de 4x3 pixeles. Suponiendo que en las imágenes obtenidas los pixeles adquieren un valor de blanco (FF en base hexadecimal, 255 en base decimal), o negro (00 en ambas bases), una representación gráfica y numérica de las imágenes obtenidas, entendidas como matrices puede ser la siguiente:



La media aritmética de los valores numéricos contenidos en cada pixel dan como resultado la siguiente matriz, cuyo resultado numérico y su traducción en la escala de grises es la siguiente:



Respecto de la interpretación de los resultados numéricos, el valor del factor de obstrucción correspondiente a cada valor numérico es el siguiente:

VALOR NUMÉRICO DEL PIXEL	VALOR DEL FACTOR DE OBSTRUCCION
0	$0 \leq F < 0.25$
64	$0.25 \leq F < 0.5$
128	$0.5 \leq F < 0.75$
192	$0.75 \leq F < 1$
255	$F = 1$

De este modo, el área que representa cada uno de los pixeles de la matriz media aritmética de las cuatro matrices que componen la secuencia se encuentra expuesta a la radiación solar un tiempo igual a la duración del intervalo estudiado, multiplicado por el valor numérico de su factor de obstrucción.

En el caso de los archivos de la secuencia obtenida, su contenido numérico y estructura interna pueden apreciarse al ser abierto con un editor hexadecimal. Dicho editor interpreta el contenido de cada byte según un código de dos dígitos, capaz de representar los 256 valores distintos que pueden contener:

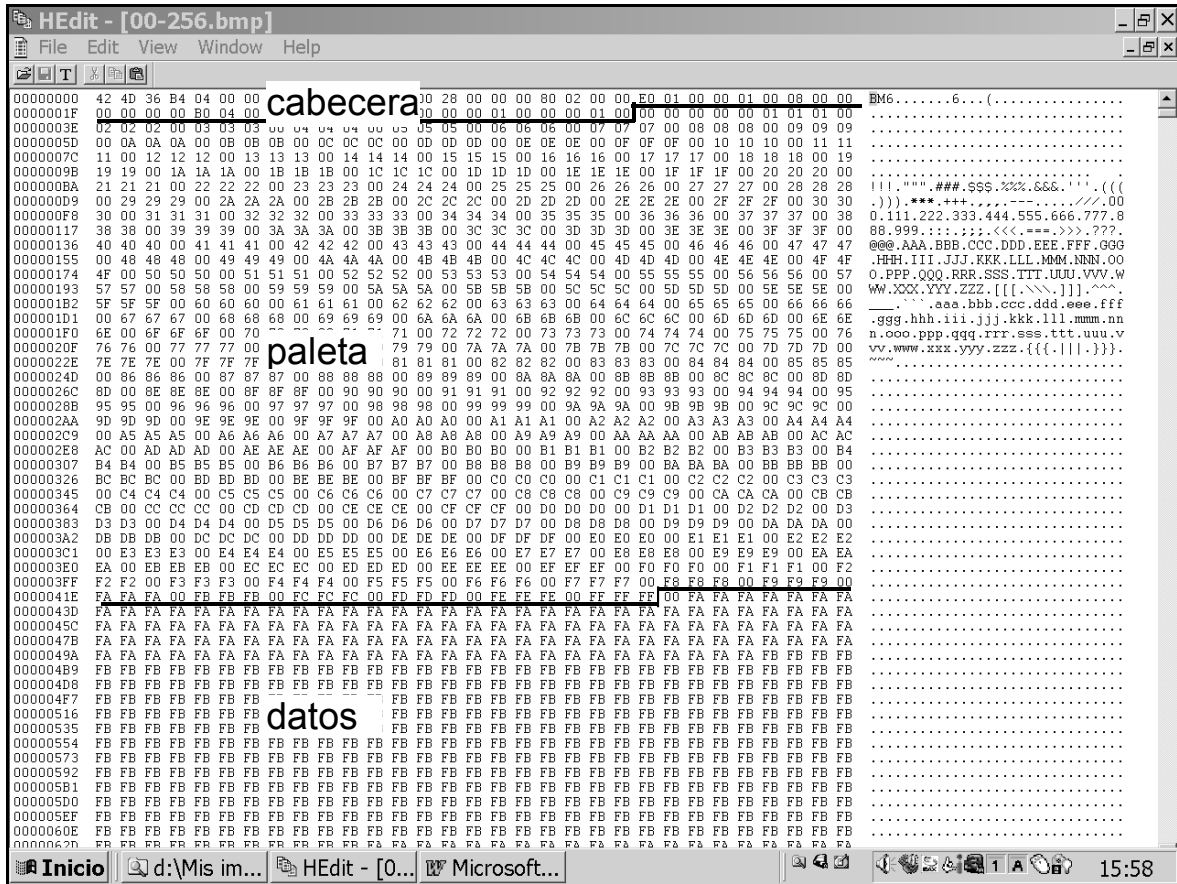


fig. 149: EDICIÓN HEXADECIMAL DE UN ARCHIVO DE IMAGEN DE EXTENSIÓN BMP.

Los 308278 bytes que componen el archivo, están organizados en tres partes distintas, que son:

- Cabecera: Está compuesta por los primeros 54 bytes del archivo, y contienen información sobre el tipo de formato, el tamaño del archivo, las posiciones de principio y fin de la paleta de grises utilizados y de los datos que componen el archivo;
- Paleta: Representa el valor numérico de los tonos de gris que pueden aparecer en el archivo. Cada valor de gris ocupa tres bytes consecutivos, y está separado del siguiente valor de gris por un cero (0). Ocupa un total de 1024 bytes;
- Datos: Son los 640x480=307200 bytes restantes, que contienen la información numérica correspondiente al valor de gris que representa cada pixel. Esta información se refiere a la posición que ocupa el valor de gris representado dentro de la paleta de grises del archivo.

Los distintos archivos que componen una secuencia concreta tienen en común los datos correspondientes a la cabecera y la paleta, dado que se trata de archivos del mismo formato, con el mismo tamaño, y susceptibles de contener los mismos valores de grises. La parte variable de los distintos archivos es la correspondiente a los datos, y es la parte de cada archivo que debe ser procesada.

Con el fin de proceder a la selección parcial de una secuencia de imágenes dentro del intervalo definido es necesario que éstas hagan referencia a la fecha y hora en que han sido obtenidas las sombras propias y arrojadas que representan.



El programa de obtención de secuencias, del tipo 3DStudio identifica la secuencia de imágenes de salida mediante un número natural de cuatro cifras, comenzando por el 0000 para la primera imagen de la secuencia, pero no informa sobre la fecha y hora correspondiente a dicha imagen. Dado que la secuencia de imágenes que representa la evolución de las sombras propias y arrojadas para cualquier modelo se obtiene partiendo de un archivo informático en el que están definidas las trayectorias solares correspondientes a los días de control, y la hora a la que se obtiene cada imagen es conocida, se puede establecer una relación entre el número de orden del archivo y la fecha y hora que representan.

La identificación de los archivos se lleva a cabo mediante la aplicación de un programa diseñado ex profeso que cambia el nombre del archivo a un código de nueve cifras que permite identificarlo. La estructura del código es la siguiente:

Dxxxx.bmp → MMDDHHmm.bmp Donde:

- MM: representa el mes.
- DD: representa el día.
- HH: representa la hora.
- mm; representa el minuto.

Datos del instante en que se han obtenido las respectivas imágenes.

El programa pide como datos de entrada los correspondientes a cada día estudiado, que son:

- identificación del día: Sobre un calendario, o bien como entrada numérica, se trata de proporcionarle al programa el mes y el número de día a estudiar;
- comienzo sol: Hora después del orto a partir de la cual el sol ha sobrepasado el almicantrate 5° sexagesimales;
- tiempo sol: Periodo durante el día en que el sol se encuentra por encima del almicantrate 5° sexagesimales;
- intervalo minutos: Intervalo en minutos que separa dos imágenes consecutivas;
- Intervalo días: Intervalo en días que separa dos días consecutivos de los estudiados.

Proporcionados estos datos para todos los días del intervalo estudiado basta con pulsar el botón RENOMBRAR, para que el programa cambie el nombre a todos los archivos del directorio.

Esta identificación permite la selección de días completos, o bien la selección de archivos pertenecientes a distintos días dentro de un intervalo horario concreto, además de permitir el análisis puntual de las sombras producidas por el vector solar en un momento concreto dentro del intervalo estudiado.

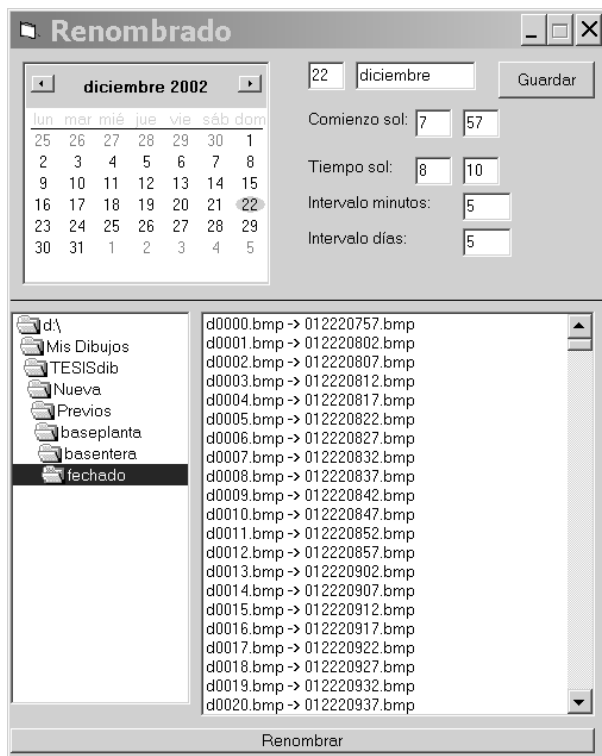


fig. 150: CUADRO DE DIALOGO DEL PROGRAMA DE RENOMBRADO.

La integración de una secuencia de imágenes se lleva a cabo mediante la aplicación de un programa informático creado al efecto, cuya interfaz de usuario y funcionamiento se define a continuación. Tras solicitar la ejecución del programa, la interfaz de usuario muestra en pantalla el menú de configuración de salida. En este menú puede optarse por los siguientes parámetros de configuración:

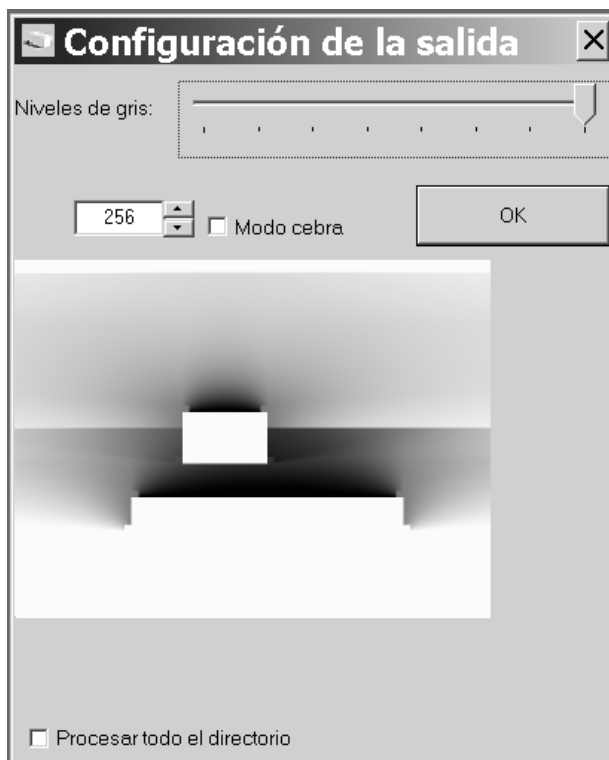


fig. 151: INTERFAZ DE CONFIGURACIÓN DE SALIDA.

- niveles de gris: Permite establecer el número de grises en que la imagen de salida será discretizada. El rango de grises por el que se puede optar responde a la fórmula  $g=2^n$ , siendo n un número natural comprendido entre 1 y 8, que proporciona para g los valores 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 y 256. El valor de gris de salida se puede proporcionar por su valor numérico, o ser obtenido por deslizamiento de la barra, haciendo variar de modo interactivo la imagen que se muestra en el menú;
- modo cebra: permite discretizar la imagen de salida en blanco y negro exclusivamente, de modo que las áreas correspondientes a los niveles de grises se alternan en blanco y negro. Esta modalidad de salida permite, en imágenes con un valor de g muy alto, distinguir la línea que delimita dos grises consecutivos, difíciles de diferenciar a simple vista;
- procesar todo el directorio: informa al programa que la secuencia de imágenes a procesar está íntegramente contenida en un directorio.

Tras definir los parámetros de la configuración de salida puede presionarse el botón OK, que permite en una ventana titulada ABRIR, la selección de los archivos que van a ser procesados. La selección de los archivos puede llevarse a cabo en dos modalidades distintas:

- en caso de tratarse de un número pequeño de archivos, o si no se quiere procesar la totalidad de un directorio hay que seleccionar uno a uno los archivos que el programa debe procesar;
- si previamente se ha seleccionado la opción “Procesar todo el directorio” basta con seleccionar el primer archivo del directorio. El programa leerá todos los archivos contenidos en el directorio hasta llegar al final de mismo.

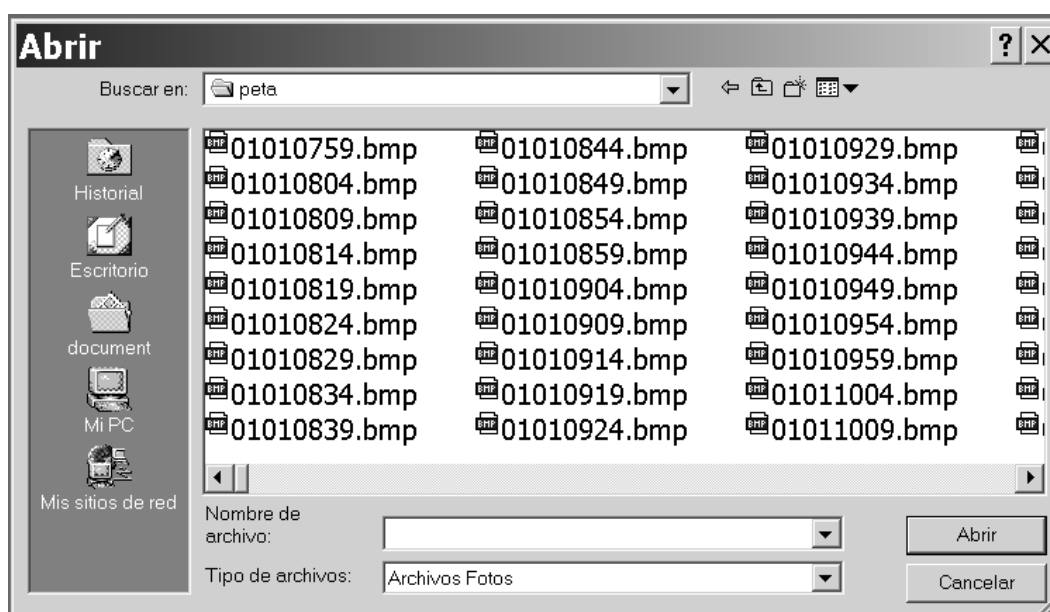


fig. 152: CUADRO DE DIÁLOGO DEL MENU ABRIR.

Tras seleccionar los archivos objeto del proceso puede presionarse el botón ABRIR del menú. A continuación el interfaz de usuario abre una nueva pantalla llamada GUARDAR COMO:

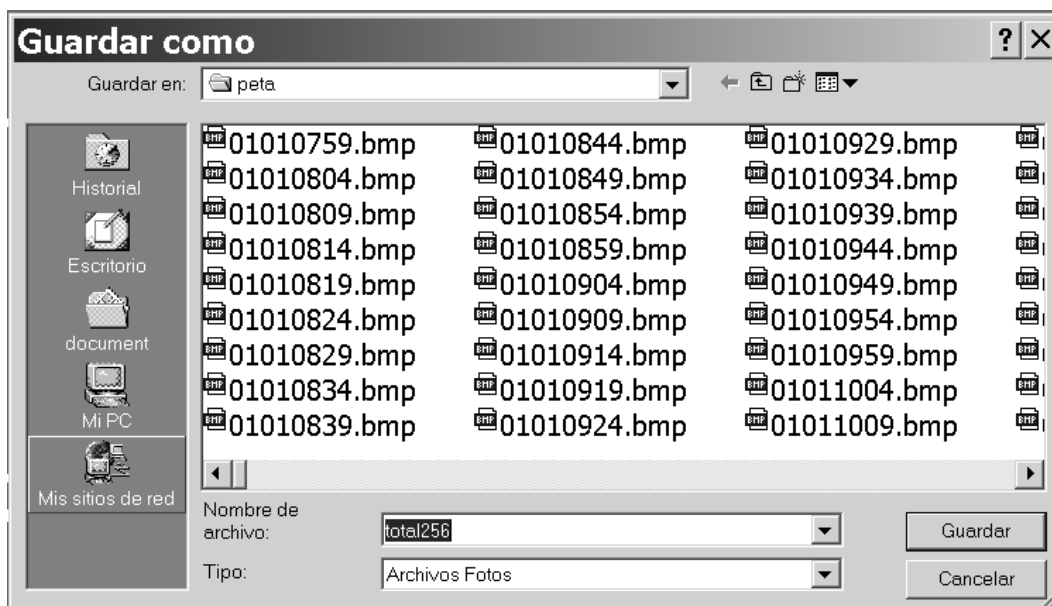


fig. 153: CUADRO DE DIÁLOGO DEL MENU GUARDAR COMO.

Dicha pantalla permite escribir el nombre del archivo de salida, y definir su destino en un directorio concreto. Presionando el botón GUARDAR, el programa inicia su ejecución, durante la cual se muestra el nombre y número de orden del archivo que está siendo procesado respecto del total de archivos, al tiempo que se muestra una barra de progreso y se indican los segundos restantes para concluir el proceso. La velocidad media del proceso de imágenes es de 23,1 archivos/segundo. Un directorio que contenga 5082 imágenes es procesado en un tiempo medio de 3 minutos 40 segundos.

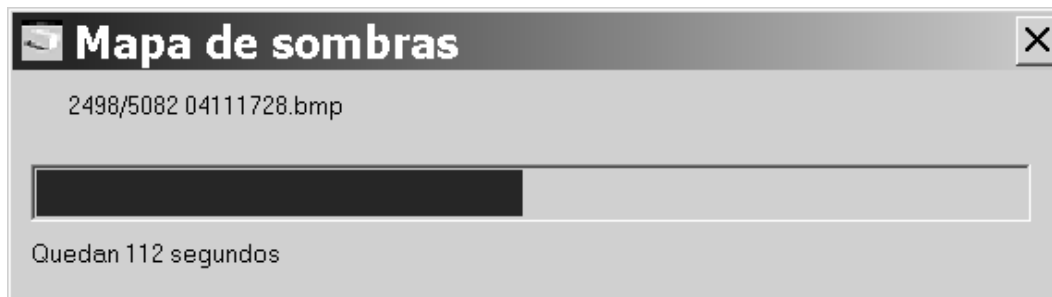


fig. 154: BARRA DE PROGRESO DE EJECUCION DEL PROGRAMA.

El proceso de la secuencia de archivos opera sobre todas y cada una de las imágenes designadas para ser procesadas de modo consecutivo hasta agotar la lista completa, y consta de las operaciones siguientes:

- 1.-Lee los datos contenidos en el primer archivo designado.
- 2.-Escribe los datos leídos sobre el archivo de salida.
- 3.-Añade una unidad al contador “C” de archivos. Dicho contador está vacío por tratarse del primer archivo procesado.
- 4.-Lee los datos contenidos en el archivo siguiente.
- 5.-Suma los datos leídos al contenido del archivo de salida.
- 6.-Añade una unidad al contador de archivos.
- 7.-Repite las operaciones 4, 5 y 6 hasta acabar con los archivos designados para ser procesados.

8.-Multiplica el valor numérico de cada pixel del archivo de salida por el escalar  $1/C$ , que equivale a dividir el valor numérico de cada pixel por el número de imágenes procesadas.

Concluida la serie de operaciones de proceso de todos los archivos el programa escribe el archivo de salida. Mientras se realiza dicha operación se muestra una barra de progreso.

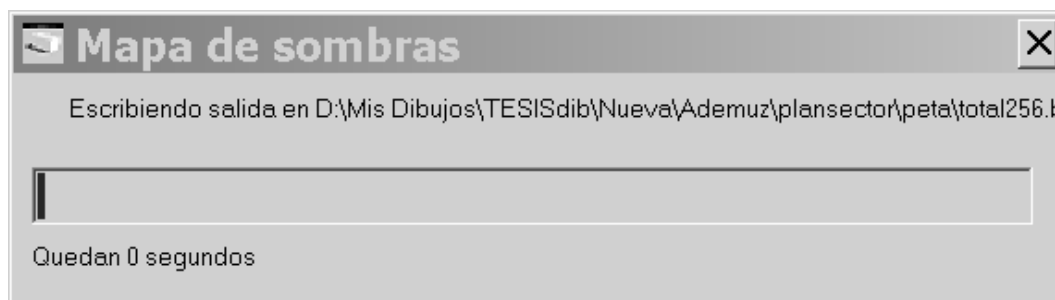


fig. 155: BARRA DE PROGRESO DE ESCRITURA DEL ARCHIVO DE SALIDA.

Durante la escritura del archivo de salida se reconstruye la estructura del archivo con el fin de hacerlo identificable por los programas que puedan utilizarlo. En dicha reconstrucción se escriben sobre el archivo de salida las tres partes que lo componen, que son:

- cabecera: el archivo de salida tiene una cabecera idéntica a los archivos de entrada, ya que se trata de archivos de la misma extensión y del mismo tamaño;
- paleta: la paleta del archivo de salida depende de las opciones elegidas al iniciar el proceso de las imágenes. Dicha paleta contiene tantos niveles de grises como hayan sido designadas en la configuración de salida, o bien tantos niveles de blanco y negro si se ha designado el modo cebra. Dichas paletas están predeterminadas, y el programa elige aquella que se adapta a las designaciones de la configuración de salida;
- datos: se escriben los datos obtenidos durante el proceso de integración de imágenes, resultado de obtener la media proporcional del valor de gris contenido en cada uno de los pixeles de las imágenes procesadas. La parte obtenida en el proceso de datos es la misma con independencia de las designaciones elegidas en la configuración de salida del archivo;

A continuación el programa muestra una ventana que contiene la imagen resultado del proceso completo. La apariencia de esta imagen, como se verá a continuación, esta condicionada por los parámetros seleccionados en el menú de salida.

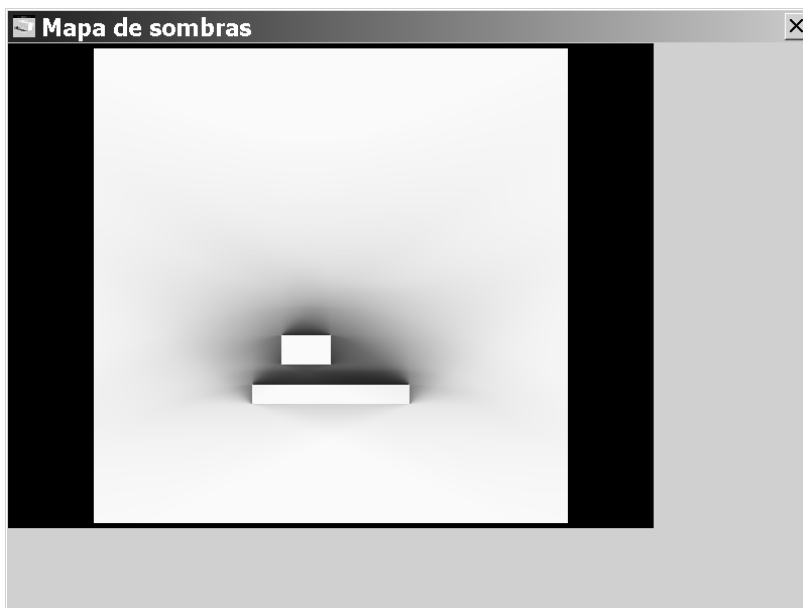


fig. 156: IMAGEN CONTENIDA EN EL ARCHIVO DE SALIDA.

Además del archivo gráfico de salida, el programa escribe un archivo de texto con el mismo nombre que el archivo de salida, pero con extensión .INI. Dicho archivo de texto contiene la información siguiente:

Numero de imágenes acumuladas = C

El valor de “C” es el contenido en el contador de imágenes después de haber concluido el proceso. El archivo de extensión .INI permite retroalimentar el proceso de integración de imágenes. De este modo si en una secuencia de archivos se elige una imagen ya procesada, y con un archivo .INI asociado, a dicho archivo se le atribuye el valor equivalente al número de imágenes contenida en su contador “C”. En caso de que un archivo de imagen carezca de archivo asociado .INI se le atribuye un valor equivalente a una imagen.

A continuación se muestran todas las posibilidades de archivo de salida obtenidos a partir de la secuencia de imágenes, acompañada cada una de ellas de una imagen que representa la paleta que ha generado la imagen. Las paletas se representan en forma parrilla con 256 posiciones, ocupadas por los valores de grises que contiene la imagen. En la paleta base de 256 grises cada una de las posiciones está ocupada por un gris distinto ordenados en orden creciente a partir del 0 que representa el negro. A medida disminuye el número de grises, un mismo gris ocupa distintas posiciones consecutivas dentro de la parrilla, de modo que todos los pixeles cuyo nivel de gris esté comprendido entre dos valores consecutivos de la paleta se muestran con el mismo tono de gris.

En el caso de las imágenes procesadas en “modo cebra” la parrilla se ha generado del mismo modo que en el caso anterior, solo que ocupando los valores correspondientes a valores de grises consecutivos por casillas blancas y negras, de este modo, los pixeles cuyo nivel de gris esté comprendido entre dos valores consecutivos de la paleta se muestran con el color blanco o negro respectivamente. La utilidad de este tipo de imágenes se aprecia en el caso de que el número de grises de la imagen sea elevado.

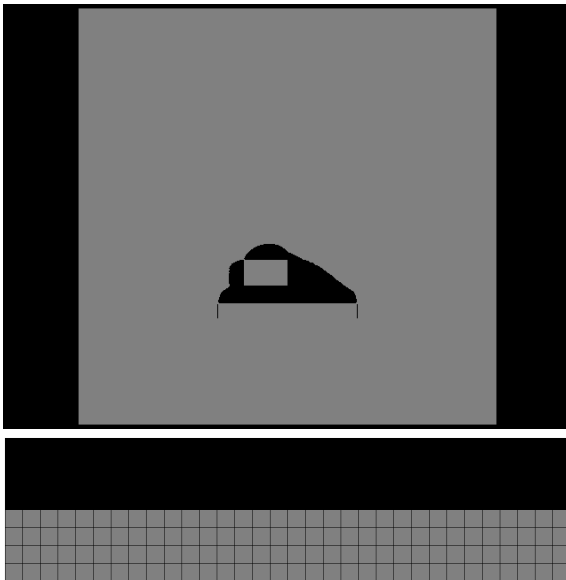


fig. 157: SALIDA NORMAL 2 NIVELES DE GRIS.

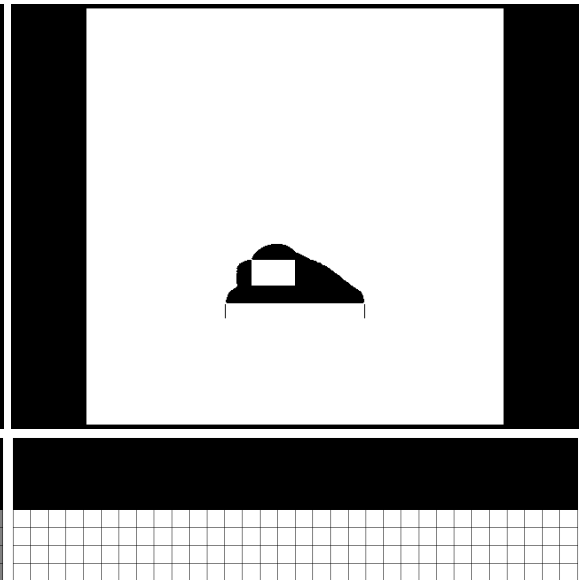


fig. 158: SALIDA MODO CEBRA 2 NIVELES DE B/N.

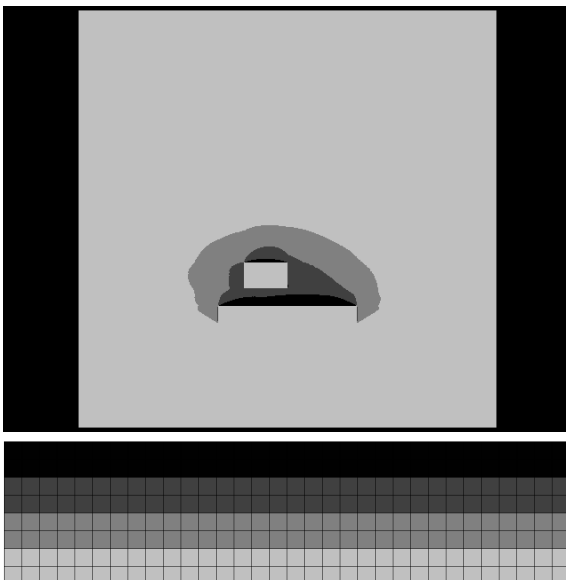


fig. 159: SALIDA NORMAL 4 NIVELES DE GRIS.

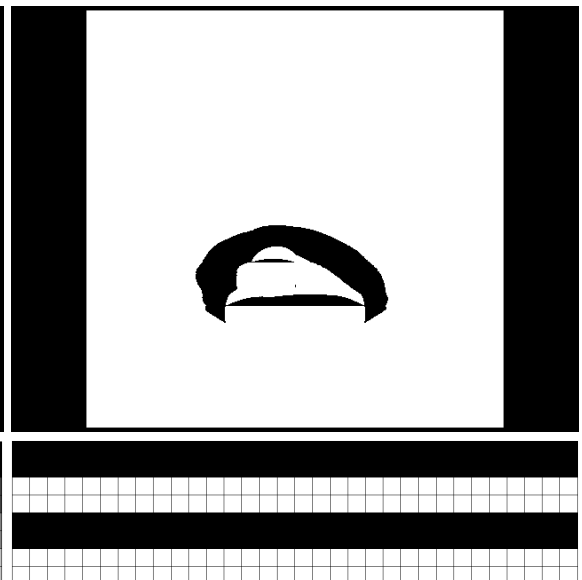


fig. 160: SALIDA MODO CEBRA 4 NIVELES DE B/N.

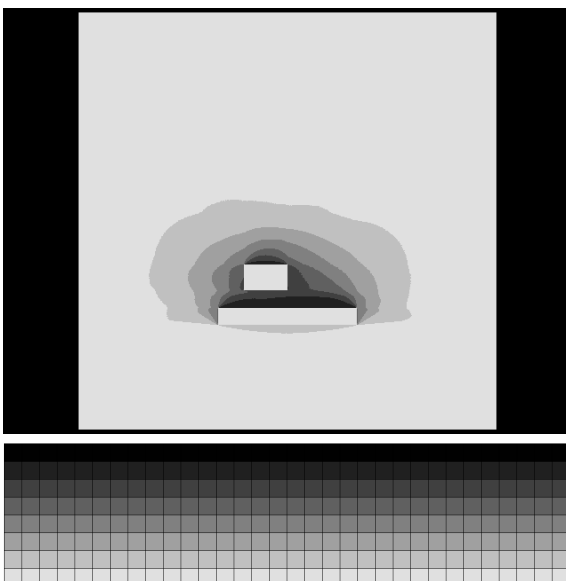


fig. 161: SALIDA NORMAL 8 NIVELES DE GRIS.

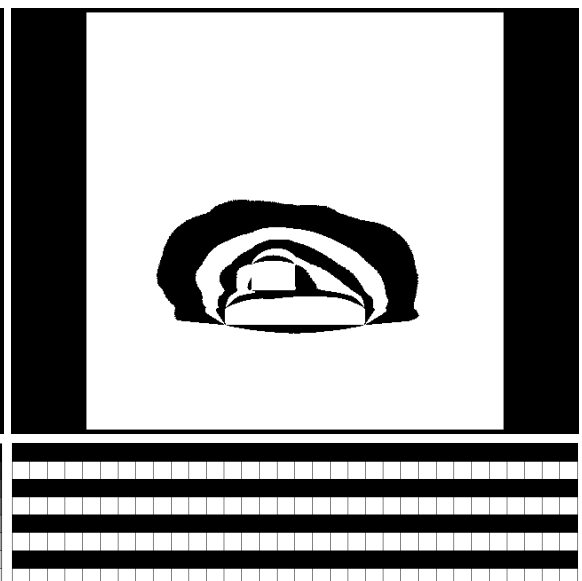


fig. 162: SALIDA MODO CEBRA 8 NIVELES DE B/N.

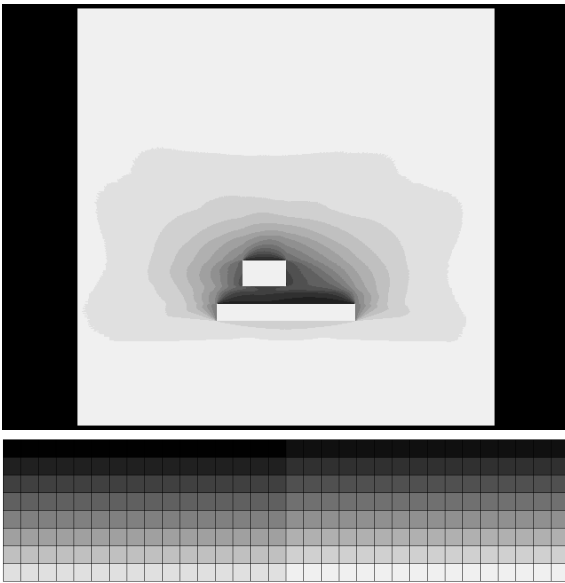


fig. 163: SALIDA NORMAL 16 NIVELES DE GRIS.

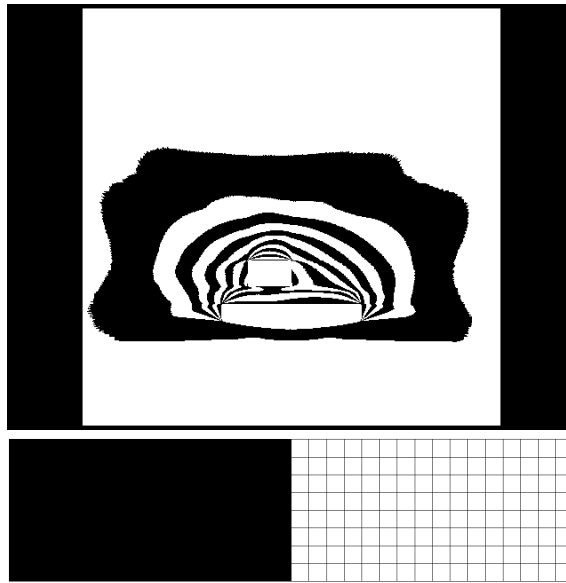


fig. 164: SALIDA MODO CEBRA 16 NIVELES DE B/N.

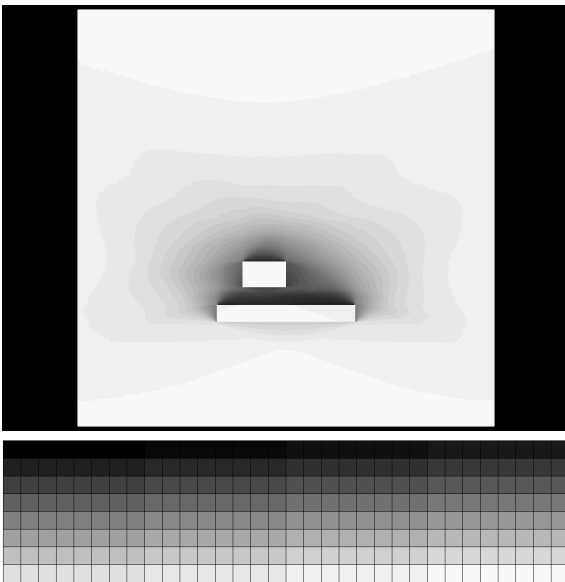


fig. 165: SALIDA NORMAL 32 NIVELES DE GRIS.

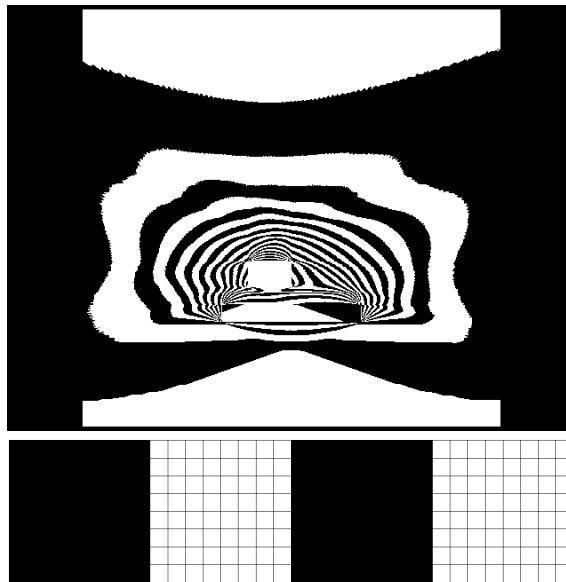


fig. 166: SALIDA MODO CEBRA 32 NIVELES DE B/N.

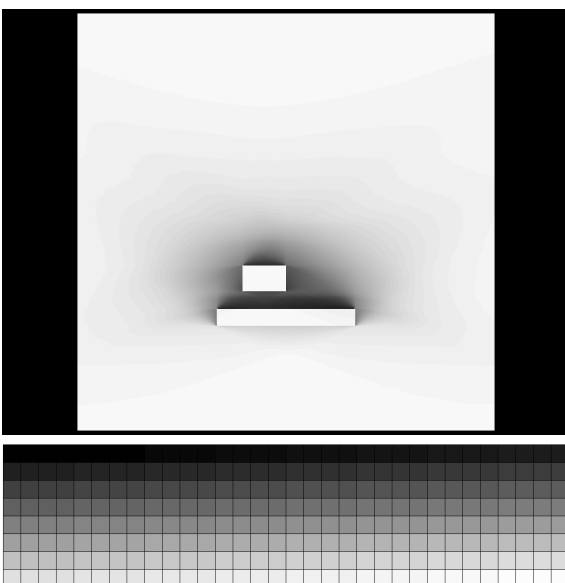


fig. 167: SALIDA NORMAL 64 NIVELES DE GRIS.

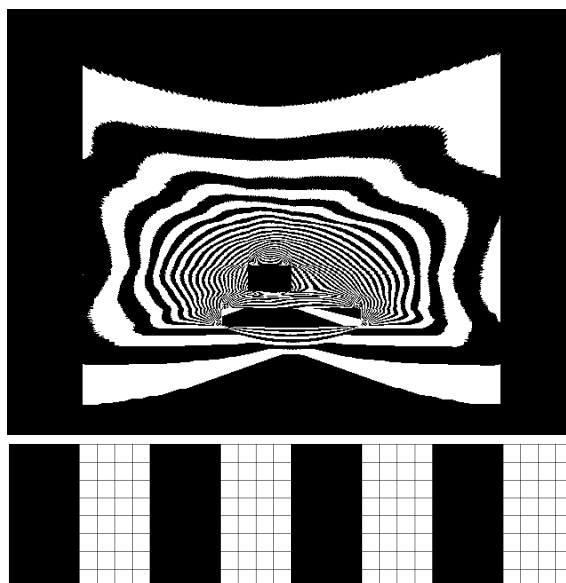


fig. 168: SALIDA MODO CEBRA 64 NIVELES DE B/N.



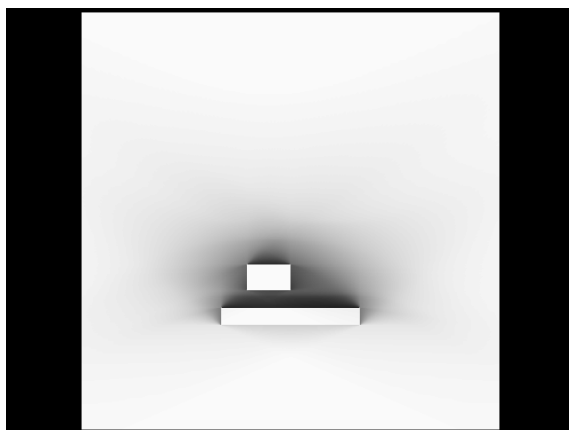


fig. 169: SALIDA NORMAL 128 NIVELES DE GRIS.

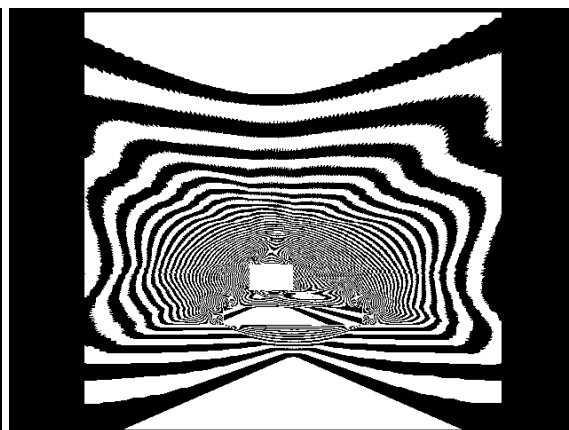


fig. 170: SALIDA MODO CEBRA 128 NIVELES DE B/N.

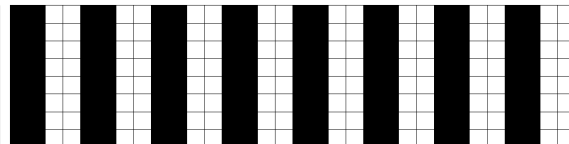
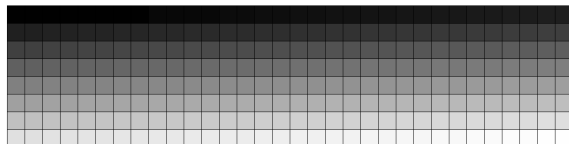


fig. 171: SALIDA NORMAL 256 NIVELES DE GRIS.

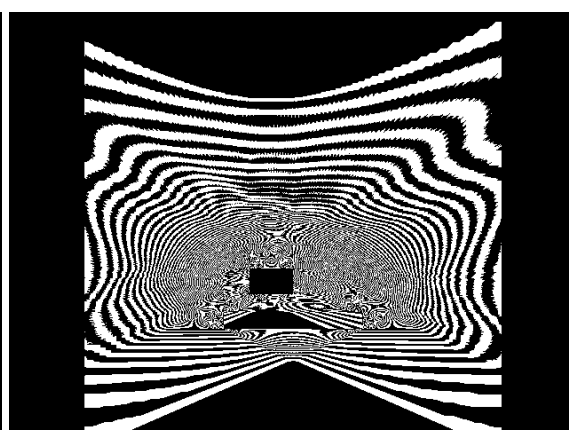


fig. 172: SALIDA MODO CEBRA 256 NIVELES DE B/N.

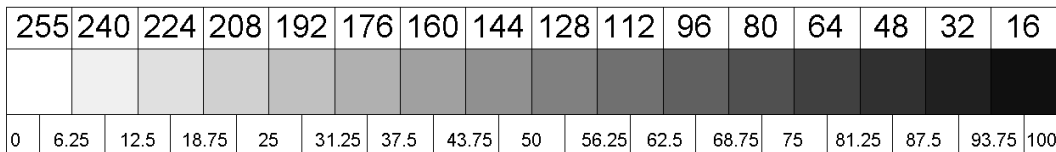
Las imágenes así obtenidas, si están procesadas en modo normal contienen en cada uno de sus pixeles un valor de gris, cuyo correlato numérico permite asignarle un valor del Factor de obstrucción, y a partir de él, un número de horas sol/año. Las fórmulas que permiten la conversión en función del valor numérico del gris son las siguientes:

Valor del factor de obstrucción: 
$$F = 1 - \left( \frac{G}{256} \right)$$

Horas de sol/año: 
$$Hsa = 4075,83 \left( \frac{G}{256} \right)$$

En ambos casos G es el valor numérico que representa un gris concreto asociado a un pixel. El rango de G es el conjunto de números naturales comprendidos en el intervalo

[0,255]. En la tabla siguiente se muestran los valores del factor de obstrucción y las horas de sol/año correspondientes a los tonos de gris contenidos en la paleta de 16 grises:



Valor de gris (G)	Factor de Obs. (F)	Horas sol/año (Hsa)
255	0,0000<F<0,0625	4075,83
240	0,0625<F<0,1250	3821,09
224	0,1250<F<0,1875	3566,35
208	0,1875<F<0,2500	3311,61
192	0,2500<F<0,3125	3056,87
176	0,3125<F<0,3750	2802,13
160	0,3750<F<0,4375	2547,39
144	0,4375<F<0,5000	2292,65
128	0,5000<F<0,5625	2037,91
112	0,5625<F<0,6250	1783,17
96	0,6250<F<0,6875	1528,43
80	0,6875<F<0,7500	1273,69
64	0,7500<F<0,8125	1018,95
48	0,8125<F<0,8750	764,21
32	0,8750<F<0,9375	509,47
16	0,9375<F<1,0000	254,73
0	1,0000	0

Dado que la distribución de los valores de grises es discreta para cualquier paleta elegida, mientras que la distribución del factor de obstrucción es continua, a cada valor de gris le corresponde un intervalo del factor de obstrucción cuya amplitud depende del número de grises contenidos en la paleta elegida.

Los valores extremos del factor de obstrucción para cada intervalo recogidos en la tabla corresponden a la línea que en las imágenes obtenidas separan dos grises consecutivos.

### 4.3. Comparación de resultados entre el procedimiento analógico e informático

En el punto 4.1 se ha establecido un procedimiento gráfico para el cálculo extensivo del factor de obstrucción aplicado a un modelo tridimensional, basado en la proyección estereográfica desde una red de puntos de control. En el punto 4.2 se aplica un procedimiento distinto para el cálculo extensivo del factor de obstrucción, aplicado al mismo modelo tridimensional, basado en este caso en el proceso de una secuencia de

imágenes donde se recogen las sombras propias y arrojadas por el modelo a lo largo de medio ciclo anual.

Dado que ambos procedimientos se aplican sobre el mismo modelo, estudiado durante el mismo periodo de exposición al sol, los resultados obtenidos deben ser comparables. La imagen resultado de la aplicación del procedimiento gráfico analógico es única, y en ella se muestran las áreas sombreadas con distinta intensidad en función del valor del factor de obstrucción asignado a los puntos del plano horizontal en el que se encuentra situada la red de puntos de control. En el segundo caso, se puede optar por una de las 32 modalidades de imagen de salida en función del número de grises de la paleta, y de que el archivo de salida esté en modo normal o en “modo cebra”.

En el caso de la imagen obtenida por el primer procedimiento, se han establecido valores discretos del factor de obstrucción con intervalos de amplitud igual a 0.05, lo que divide el rango total del factor, comprendido entre 0 y 1 en 20 intervalos de igual amplitud. En el caso del segundo procedimiento, y dado que se puede elegir entre distintas imágenes para establecer la comparación, se elige la correspondiente a 16 tonos de gris, que resulta de dividir el rango del factor en 16 intervalos de igual amplitud, como valor más próximo a los 20 intervalos de la primera imagen.

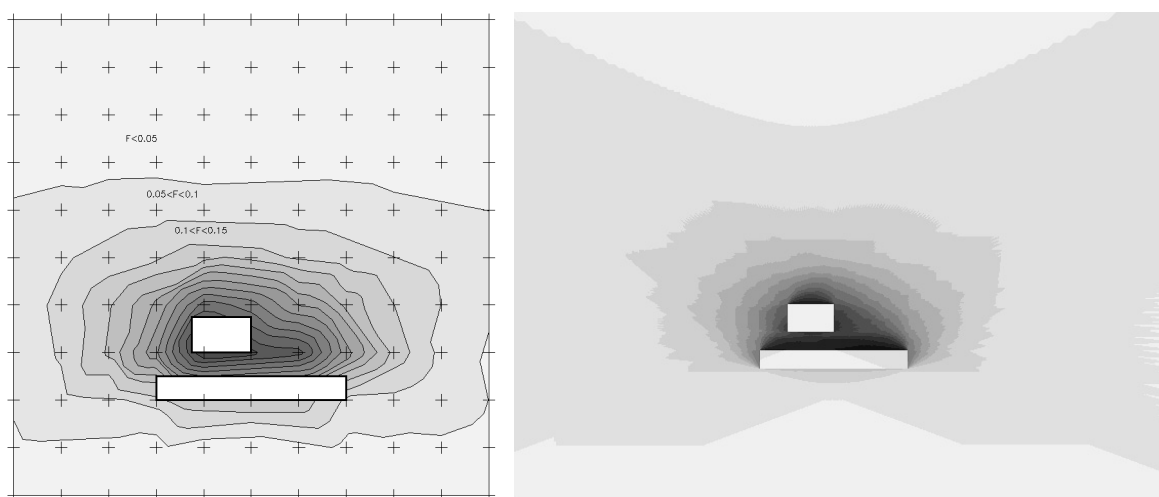


fig. 173: IMÁGENES ANALÓGICA (1) E INFORMÁTICA (2) RESULTADO DEL PROCESO

El modo de establecer la comparación entre ambas imágenes consiste en delimitar las áreas con igual factor de obstrucción mediante las líneas que los separan, para después superponer las líneas obtenidas en una imagen sobre la otra. De este modo puede evaluarse el grado de coincidencia entre las áreas delimitadas en ambas imágenes, y las discrepancias que entre ellas puedan producirse.

En una imagen independiente se definen las líneas que delimitan áreas de igual factor de obstrucción de la imagen 1, transformándolas en polilíneas para superponerlas posteriormente sobre la imagen 2. De modo análogo, se definen en un archivo independiente las polilíneas que encierran pixeles de igual valor de gris, correspondientes a puntos de igual factor de obstrucción en la imagen 2, para superponerlas posteriormente sobre la imagen 1.

El resultado de dichas superposiciones son las dos imágenes siguientes:

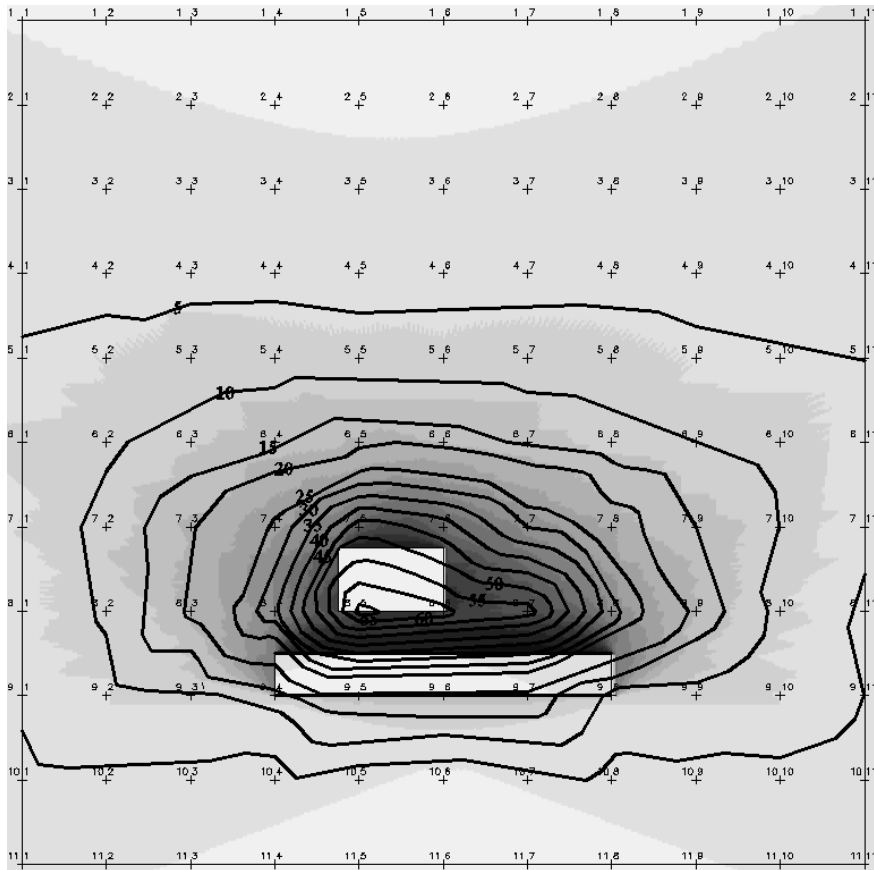


fig. 174: IMAGEN (2) CON SUPERPOSICIÓN DE LAS POLILÍNEAS DE LA IMAGEN (1).

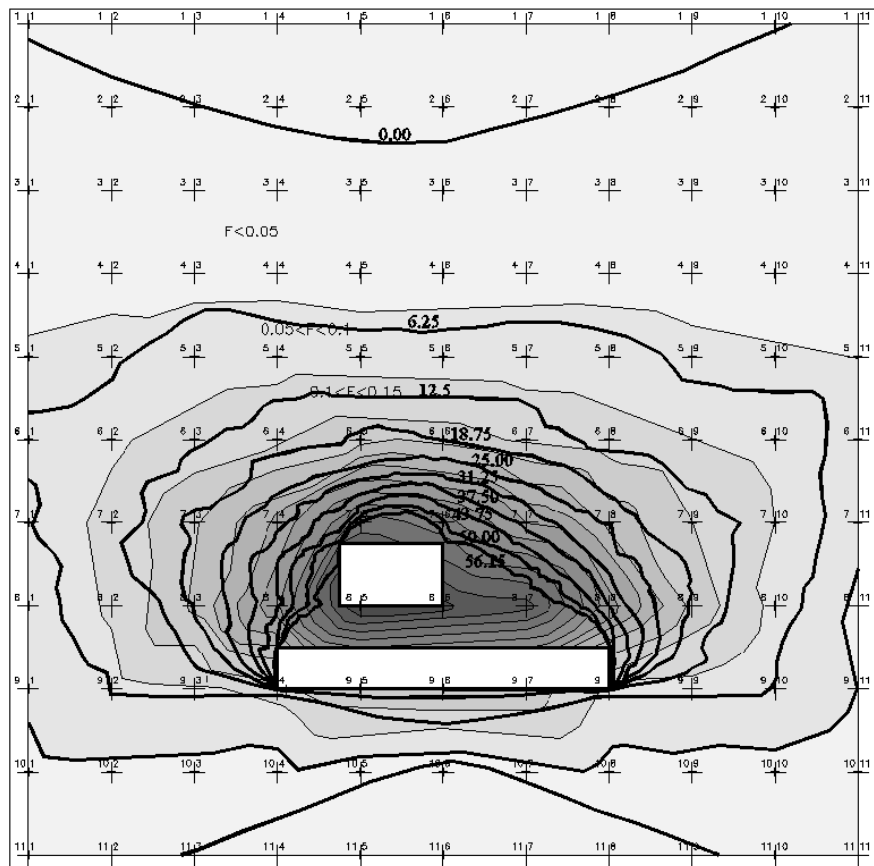


fig. 175: IMAGEN (1) CON SUPERPOSICIÓN DE LAS POLILÍNEAS DE LA IMAGEN (2).

En ambas imágenes, y a efectos de extraer conclusiones de la comparación de los procedimientos empleados para el cálculo del Factor de obstrucción, puede observarse que:

- las líneas que cierran puntos de igual factor, de valor numérico bajo (de 0 a 20 en la imagen 1 y de 0 a 18,75 en la imagen 2) definen áreas que quedan comprendidas unas dentro de las otras en casi todos sus puntos, en las filas comprendidas entre la 4 y la 7 produciéndose discrepancias en el entorno de los puntos (9,4) y (9,8), coincidentes con las esquinas inferiores del prisma más bajo;
- las líneas que cierran puntos de igual factor, de valor numérico alto (de 50 y superiores para ambas imágenes) no guardan relación entre sí. La discrepancia es especialmente notoria en el entorno de los puntos (8,4) y (8,8).

Estas discrepancias pueden explicarse desde las diferencias que existen en ambas imágenes respecto del número de puntos en que se calcula el valor del factor de obstrucción, y el número de intervalos en que se divide el rango del Factor:

	Nº PUNTOS DE CONTROL	Nº DE INTERVALOS
IMAGEN 1	11X11=121	20
IMAGEN 2	640X480= 307200	16

La diferencia en el número de puntos de control hace que en el caso de la imagen 1 no haya datos suficientes en el entorno de los puntos (8,4) y (8,8), dado que se trata de un espacio comprendido entre dos prismas, en los que debido a la obstrucción solar que estos producen se registran altos valores del factor de obstrucción. Esto produce una gran discrepancia en los valores obtenidos en el entorno de dichos puntos. Esta discrepancia en el número de puntos de control, con muchos más puntos en la imagen 2 es difícilmente soslayable, pues obligaría a emprender un proceso excesivamente laborioso con los medios disponibles para aumentar la resolución de la red de puntos.

La diferencia entre el número de intervalos en que queda dividido el rango del Factor dificulta la comparación entre ambas imágenes, dado que las líneas que encierran puntos de igual valor del factor no son coincidentes.

El principal inconveniente soslayable que impide la correcta comparación entre ambas imágenes radica en el hecho de que el número de intervalos en que está dividido el rango del factor de obstrucción en cada imagen no es el mismo, y aun siendo relativamente próximos, la diferencia en el número de intervalos impide el análisis por superposición.

Para obtener dos imágenes comparables es necesario que el número de intervalos en los que queda dividido el rango del factor sea el mismo, y para ello resulta más sencillo actuar sobre las imágenes obtenidas mediante el segundo procedimiento. La discretización de la imagen 2 en 20 intervalos iguales de amplitud 0.05 puede realizarse del modo siguiente:

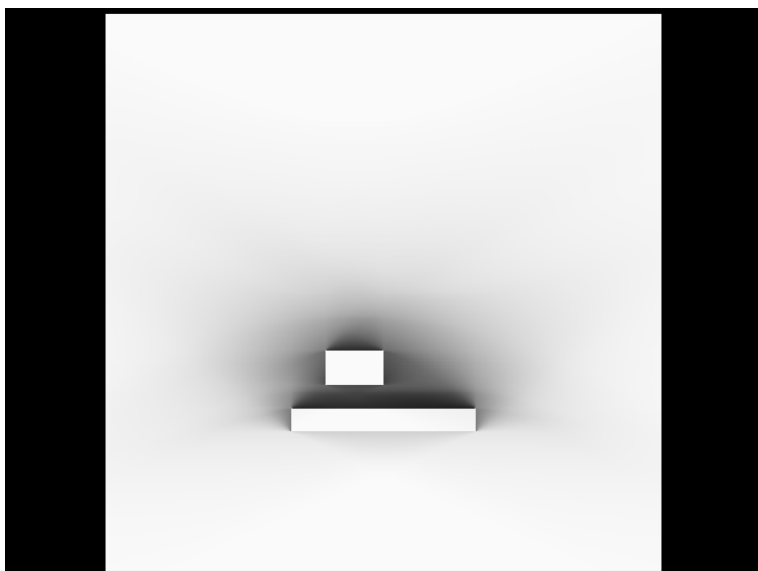


fig. 171: SALIDA NORMAL 256 NIVELES DE GRIS.

Elegida la imagen de salida normal, con 256 niveles de gris, se trata de definir mediante un programa de vectorización, la línea que separa aquellos pixeles cuyo nivel de gris es igual o menor que un nivel de gris definido. El programa de vectorización permite definir, dentro de un archivo de imagen, y tomando esta como base, líneas de tipo vectorial, susceptibles de ser interpretadas y modificadas por programas CAD.

Una vez abierto el programa de vectorización, la interfaz de usuario muestra en pantalla una ventana dividida en dos partes iguales. En la ventana de la izquierda se muestra la imagen abierta en su estado original, mientras que la segunda ventana permanece en blanco.

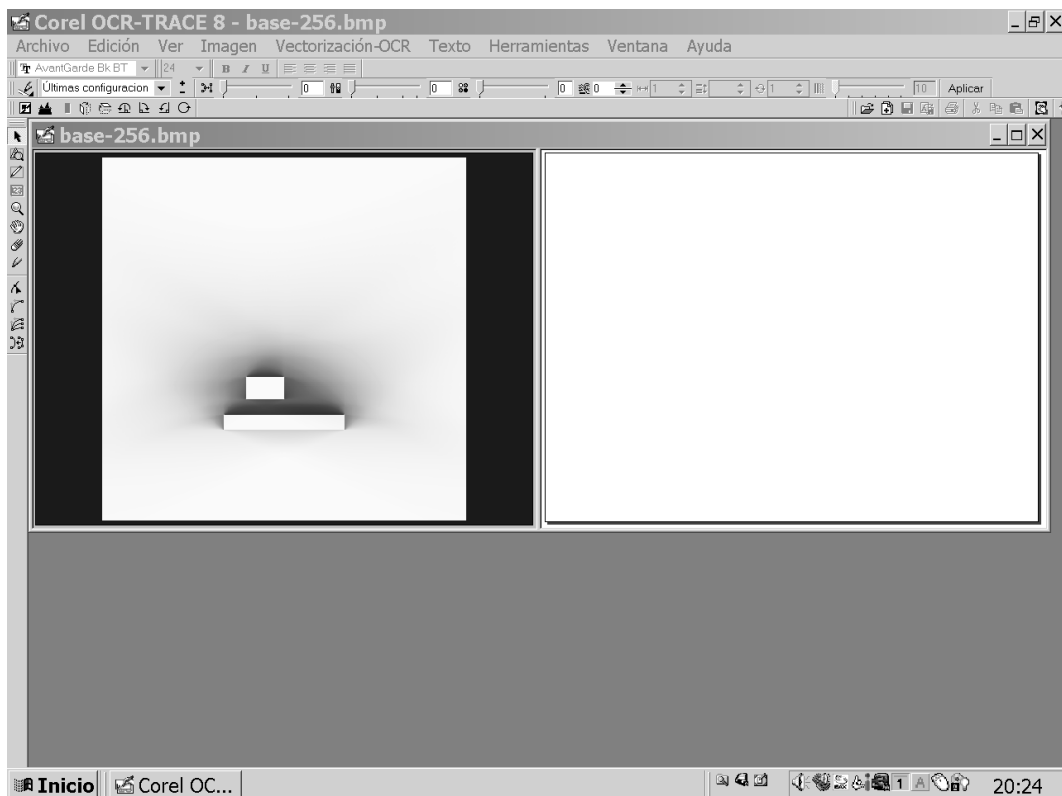


fig. 176: VECTORIZACIÓN DE IMÁGENES (1).

La imagen abierta, con 256 niveles de grises, debe ser convertida a blanco y negro, definiendo para ello el valor numérico del gris que separa los dos tonos.

Elegido el valor numérico de un valor de gris, a todos los pixeles de igual tono, o más oscuros que el elegido le es asignado el color negro.

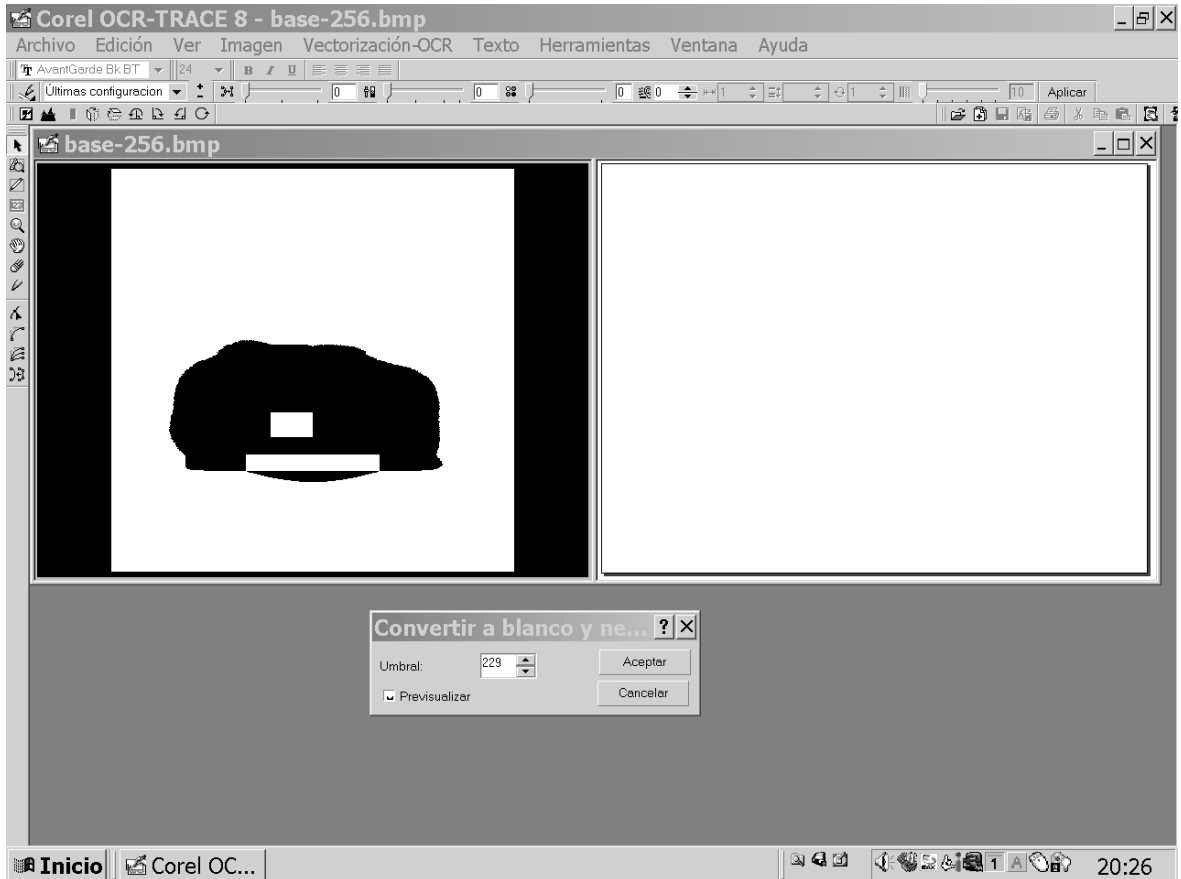


fig. 177: VECTORIZACIÓN DE IMÁGENES. CONVERSIÓN A B/N.

De este modo la imagen original se transforma en una imagen con dos áreas claramente delimitadas, en las que el valor numérico del gris que contenía cada pixel, que es respectivamente mayor o menor que el gris elegido es sustituido por el valor numérico 255 (FF) ó 00, según le corresponda el color blanco o negro.

Para que las áreas así representadas se correspondan con los 20 intervalos establecidos en el procedimiento analógico es necesario adoptar la misma paleta de grises que se ha utilizado para realizar la imagen 1, eligiendo para ello los valores numéricos de los grises que dividen el rango completo comprendido entre el blanco y el negro en 20 intervalos de igual amplitud.

255	243	230	218	205	192	179	166	154	141	128	115	102	90	77	64	51	38	26	13	
0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100

fig. 178: PALETA DE 20 NIVELES DE GRISES.

Una vez convertida la imagen a blanco y negro se procede a su vectorización. Dicho proceso dibuja una polilínea entre las áreas de distinto color. Dicha polilínea cerrada es generada por el programa de vectorización como perímetro del área de color negro.

En el caso de la imagen que nos ocupa, y dado que los planos que limitan los prismas en su parte superior quedan en blanco al convertir la imagen a blanco y negro, estas áreas blancas quedarán a su vez encerradas dentro de polilíneas, contenidas dentro de la polilínea mayor, y no conectadas con ella.

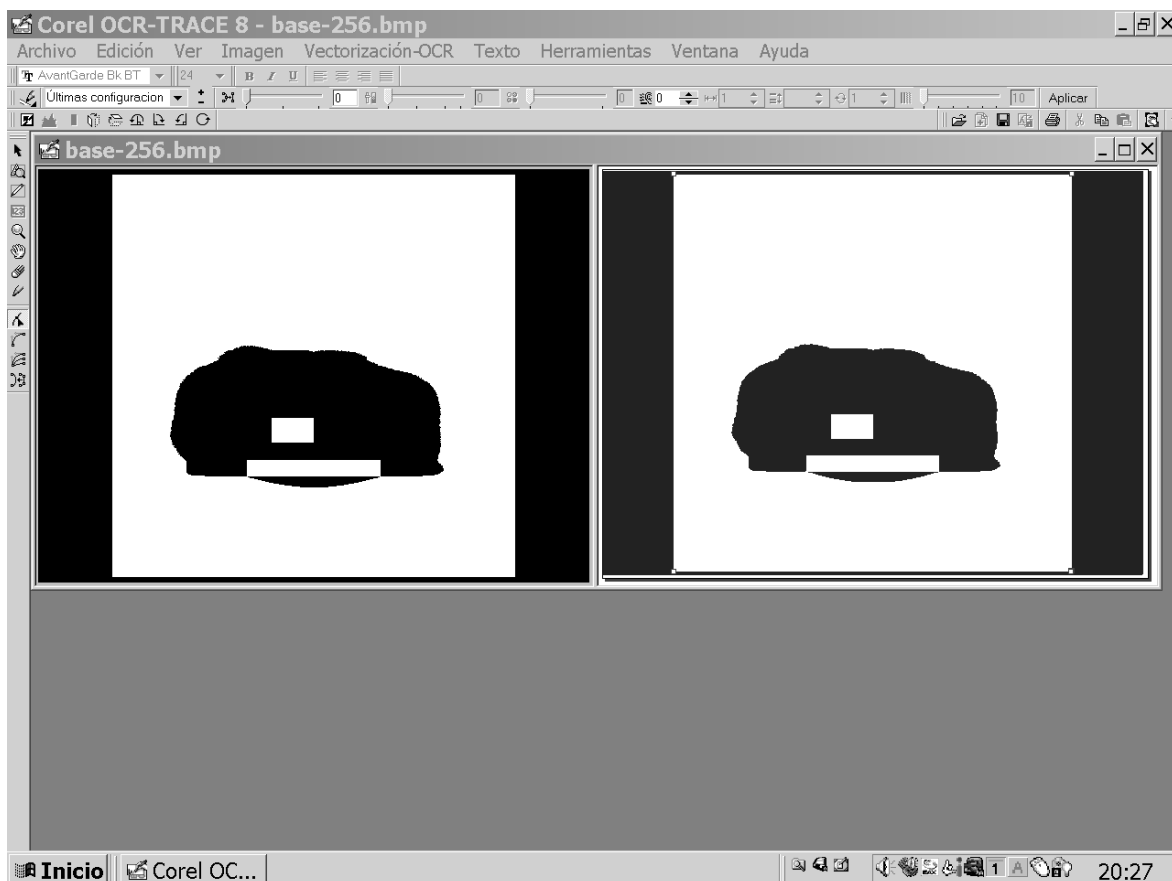


fig. 179: VECTORIZACIÓN DE IMÁGENES (2).

Dichas polilíneas puede ser exportadas a un programa CAD, donde el archivo que las contiene puede ser abierto y procesado.

En este caso, y una vez establecidos los niveles de gris entre los que se quiere definir una línea de separación, se trata de repetir la operación tantas veces como líneas quieran definirse, modificando en cada caso el valor numérico del gris que sirve como separación.

Todas las líneas obtenidas son exportadas a un mismo archivo de dibujo tipo CAD, donde puede ser modificado su grosor con el fin de hacerlas identificables, y que permite con posterioridad superponerlas a las imágenes obtenidas previamente. Dentro del archivo CAD, cada una de las polilíneas es reconocida por el programa como una única entidad, lo que permite identificarla por edición en cualquier parte de la imagen.



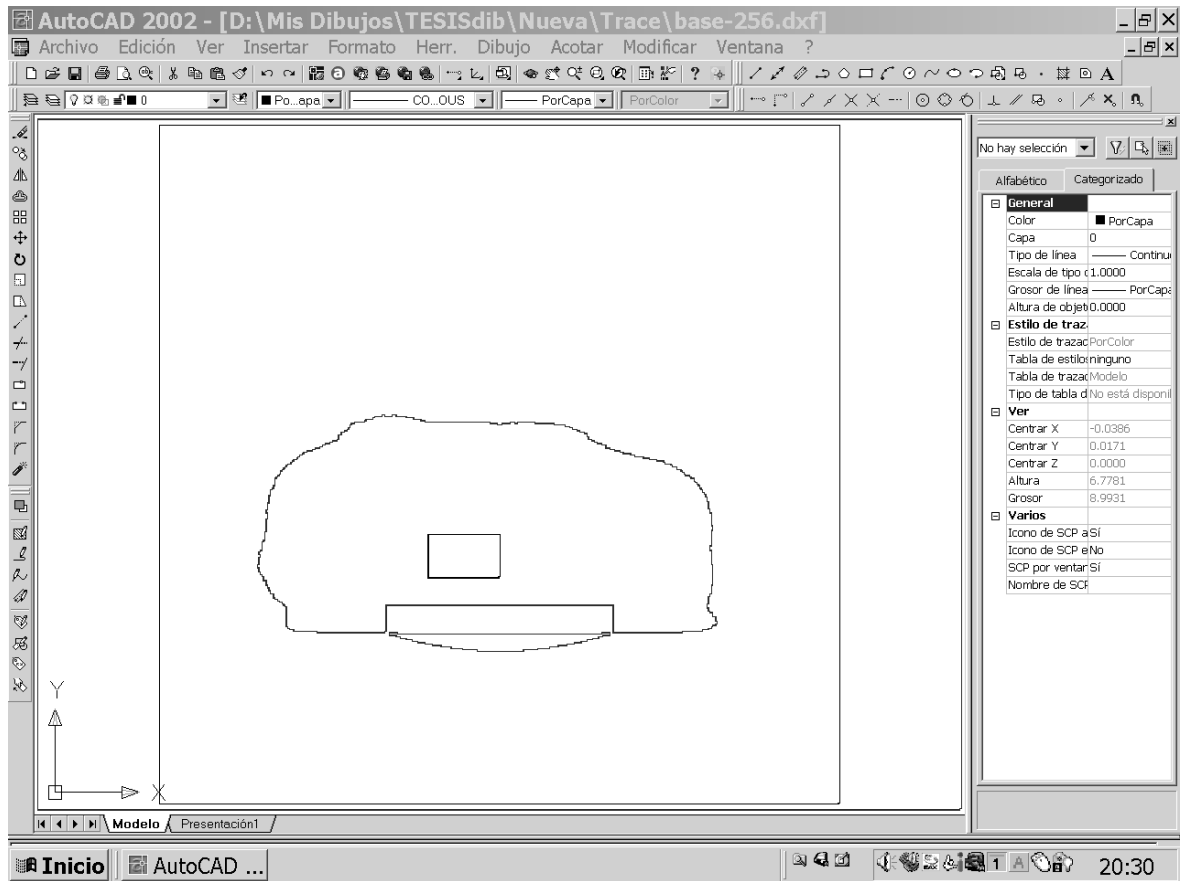


fig. 180: VECTORIZACIÓN DE IMÁGENES. OBTENCIÓN DE POLILINEAS.

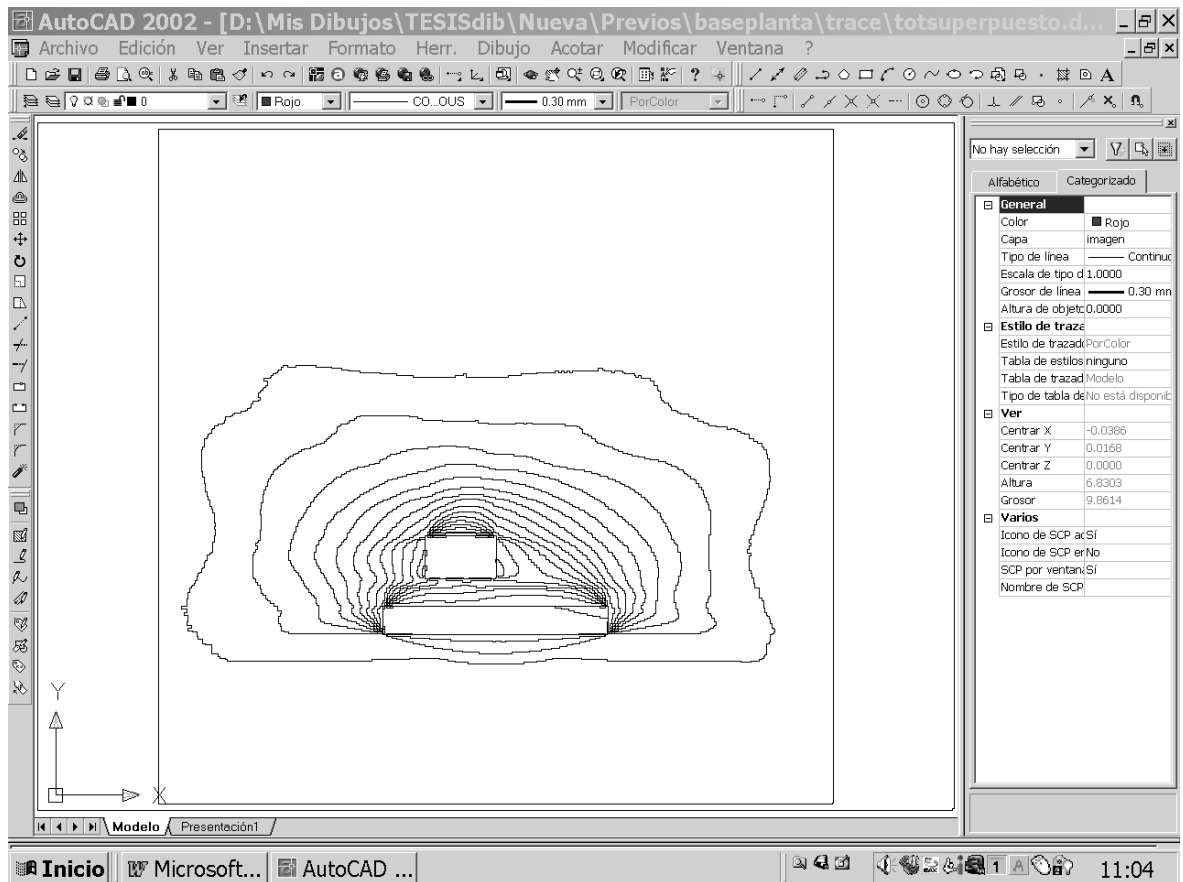


fig. 181: VECTORIZACIÓN DE IMÁGENES. SUPERPOSICIÓN DE POLILINEAS.

Una vez procesadas todas las polilíneas, y almacenadas en un único archivo de dibujo, pueden ser superpuestas sobre la imagen 1, con el fin de establecer comparaciones entre las imágenes obtenidas por ambos procedimientos de un modo independiente:

Con el fin de diferenciar las líneas procedentes de cada una de las imágenes, se ha adoptado en este caso el mismo código para proceder a su identificación. La imagen 1, resultado del cálculo del factor de obstrucción mediante un procedimiento analógico se ha mantenido en su estado original, mientras que las polilíneas procedentes de la aplicación del procedimiento informático han sido regresadas.

El ajuste por superposición de ambas imágenes se resuelve gracias al cuadrado que sirve como base de apoyo a los prismas en la imagen 2. Dicho cuadrado debe coincidir sobre la imagen 1 con los límites de la matriz de puntos de control, tanto en posición como en tamaño, de modo que los resultados obtenidos mediante ambos procedimientos resulten comparables.

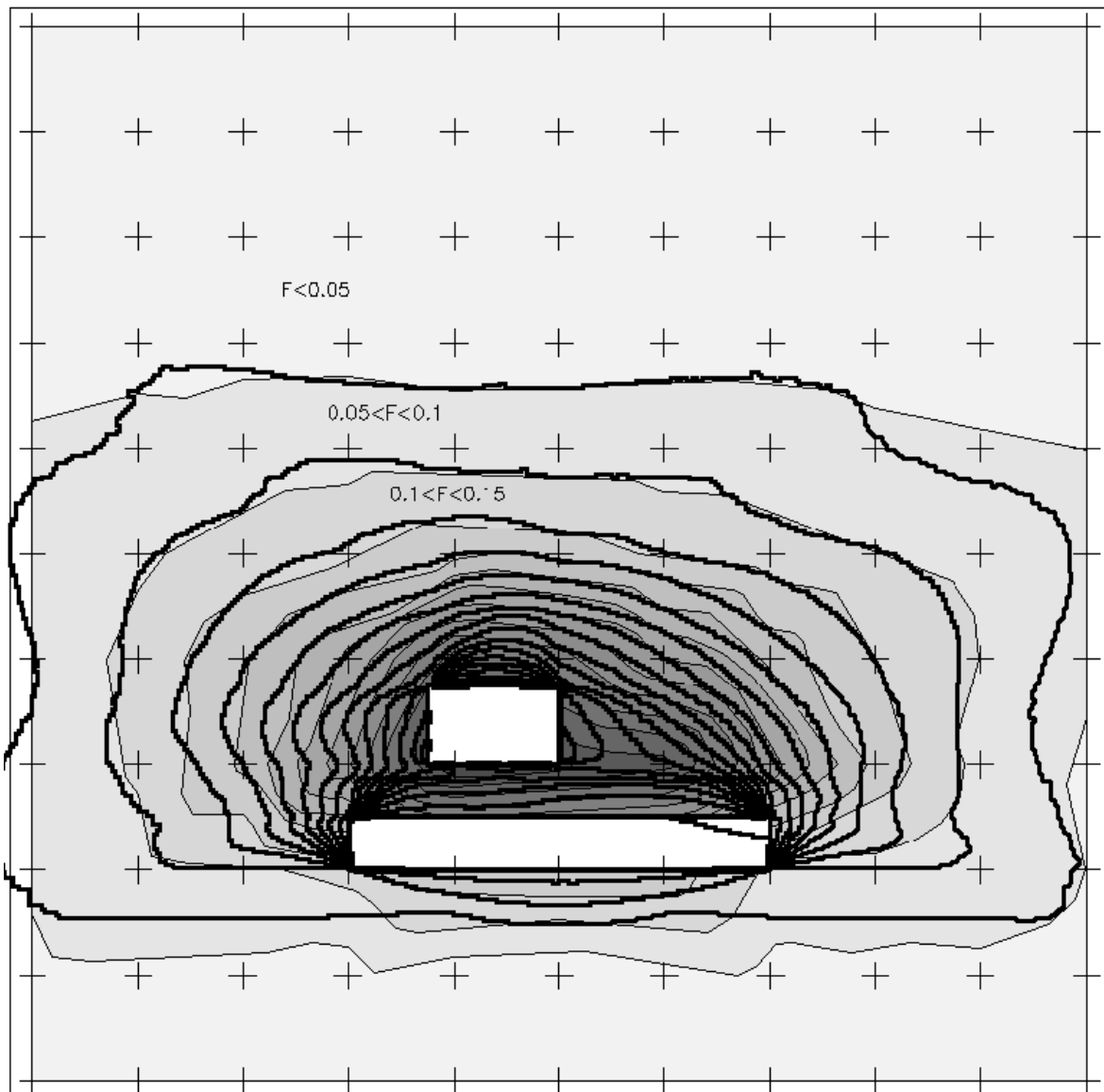


fig. 182: IMAGEN (1) CON SUPERPOSICIÓN DE POLILÍNEAS CUYOS FACTORES DE OBSTRUCCIÓN DIFIEREN 0.05.

A la vista de la imagen obtenida por superposición, pueden establecerse entre las curvas que delimitan las áreas cuyo intervalo de variación del factor de obstrucción es de 0.05 las siguientes comparaciones:

- curvas comprendidas entre  $0.05 < F < 0.4$ : La coincidencia en el trazado de las curvas obtenidas por los dos procedimientos es muy alta, distinguiéndose en su trazado dos áreas con distinto grado de aproximación:
  - trazado entre las filas 4 y 7: La aproximación entre curvas es total, obteniéndose el mismo trazado por cualquiera de los dos procedimientos empleados;
  - trazado entre las filas 9 y 11: Se produce una disminución en el grado de aproximación de las curvas, aun manteniendo un cierto grado de coincidencia;
- curvas donde  $F > 0.4$ : Se producen discrepancias en el trazado de las curvas. El trazado de las mismas está comprendido en las filas 8 y 9, y se sitúan sobre el plano horizontal en el espacio comprendido entre los dos prismas que configuran el entorno a analizar.

La falta de coincidencia entre las curvas obtenidas por los dos procedimientos, allí donde se produce, puede atribuirse a las causas siguientes:

- en el caso de la imagen 1, el trazado de las curvas en las proximidades del borde de la matriz de control quedan influidas por la falta de datos fuera de la misma, que asigna un valor  $F=0$  a todos los puntos exteriores a la matriz. Este fenómeno produce las discrepancias en las curvas de valor  $0.05 < F < 0.4$  entre las filas 9 y 11;
- en el caso de la imagen 1, el trazado de las curvas de valor  $F > 0.4$ , la baja densidad de puntos de control en las filas 9 y 11 es insuficiente para representar el fuerte gradiente que produce una variación considerable del valor de  $F$  en un recorrido relativamente corto.

Dicha falta de coincidencia entre curvas puede ser soslayada incrementando el número de puntos de control, tanto en el exterior de la matriz, como en aquellas zonas donde es previsible que se produzca un fuerte gradiente en la variación del factor de obstrucción. Aunque como ya se dijo con anterioridad, la laboriosidad y reiteración del procedimiento lo hacen inabordable.

Por el contrario, en aquellas áreas interiores a la matriz, donde la densidad de puntos de control es adecuada para representar con suficiente aproximación el gradiente de  $F$ , la coincidencia entre las curvas obtenidas por los dos procedimientos es total, lo que permite afirmar que si las condiciones en que se define la matriz de control son las adecuadas, ambos procedimientos resultan convergentes a efectos del cálculo del factor de obstrucción sobre los puntos de la superficie del entorno a estudiar.

La convergencia de los dos procedimientos queda probada por comparación entre las imágenes obtenidas, dado que utilizando distintos procedimientos se obtienen resultados coincidentes.

Mientras que el primer procedimiento empleado está basado en la utilización clásica de la Carta solar Estereográfica para el cálculo de obstrucciones, y la integración de los datos obtenidos para una serie finita de puntos sobre la superficie a estudiar, el segundo procedimiento está basado en el proceso de una secuencia de imágenes en las que cada pixel de la imagen representa un elemento diferencial de la superficie susceptible de ser estudiado independientemente, que al ser integrado en una imagen completa suministra una información comparable a la obtenida por el primer procedimiento, pero mucho más precisa.

Siendo el segundo procedimiento empleado, basado en el proceso informático de una secuencia de imágenes, más ágil y apropiado, y habiendo sido validado por comparación con otro procedimiento distinto; será este segundo procedimiento el que se utilice en las fases posteriores de desarrollo del presente estudio.

Los datos y recursos necesarios para la aplicación del procedimiento adoptado para el cálculo del valor del factor de obstrucción sobre los puntos de la superficie de un entorno definido son:

- un archivo informático de tipo CAD donde quede definido el modelo informático tridimensional de la superficie envolvente de los objetos que configuran el entorno dentro del que se pretende calcular el valor numérico del factor de obstrucción;
- la dirección de la orientación norte definida en el modelo informático tridimensional;
- las coordenadas geográficas  $(\varphi, \lambda)$  de la ubicación del entorno definidas con la mayor aproximación posible;
- un archivo informático de tipo 3Dstudio con capacidad de representar el movimiento solar para la latitud correspondiente a la ubicación geográfica del modelo objeto de estudio;
- una secuencia de imágenes suficientemente representativa de las sombras propias y arrojadas por el modelo a lo largo del periodo objeto de estudio;
- un programa capaz de integrar la secuencia obtenida en una única imagen.

Las condiciones anteriores presuponen necesariamente que en los estudios de soleamiento que puedan realizarse con el fin de calcular de un modo extensivo el valor del factor de obstrucción para un entorno concreto, se harán por aplicación de

procedimientos informáticos, y mediante la definición de la geometría del entorno a estudiar en un programa de diseño asistido (CAD).

Cumplidos los requerimientos anteriores se pueden establecer predicciones sobre el valor numérico del factor de obstrucción que le corresponde a cada punto de la superficie del entorno estudiado, y de él, deducir las horas sol/año que recibe cada punto, en caso de que el periodo evaluado sea anual.



## Parte III: Aplicaciones

### 5. Aplicaciones del cálculo del factor de obstrucción solar

Definido en la segunda parte del presente estudio un procedimiento capaz del cálculo de la duración de los intervalos de obstrucción solar dentro de un periodo de soleamiento, extensible a todos los puntos de un entorno analizado; en la tercera parte se propone el análisis de diferentes modelos tridimensionales, de interés arquitectónico o urbanísticos donde la aplicación del procedimiento permita conocer las condiciones de soleamiento sobre sus superficies.

En el primer apartado del presente epígrafe se analiza la capacidad de los distintos tipos de proyecciones para obtener mapas de sombras significativos, ya sean éstas cilíndricas o cónicas; comprobando también su idoneidad para las representaciones en plantas, secciones, alzados y axonometrías.

La elección de los modelos tridimensionales objeto de análisis se ha realizado atendiendo a sus necesidades particulares de soleamiento, tratando en lo posible recoger la casuística de los modelos analizados habitualmente en los estudios de soleamiento en la arquitectura. En la presente exposición los modelos se han ordenado en función de su escala.

La pequeña escala está representada por el estudio del detalle arquitectónico; para revelar su capacidad para favorecer o impedir la entrada de la radiación solar en el interior de las edificaciones. A continuación se aborda el estudio del mobiliario urbano y su funcionamiento en espacios exteriores como protección solar. Después se propone el estudio de la configuración de diferentes modelos de tramas urbanas como principal condicionante del soleamiento de viviendas y espacios abiertos. En este punto se hace especial hincapié en el estudio del impacto de nuevas edificaciones en el soleamiento de entornos preexistentes. Por último se propone el estudio de la escala territorial, analizando el efecto de las sombras arrojadas por la topografía sobre el propio territorio.

La organización de la información gráfica responde al mismo esquema en todas las propuestas. Tras la descripción geométrica de cada modelo mediante plantas, alzados y axonometrías; se muestran los mapas de sombras correspondientes a distintas vistas, lo que permite una interpretación visual e intuitiva de la distribución de los valores del factor de obstrucción sobre las superficies del modelo, en función los valores de grises apreciados en la figura, según su proximidad al blanco o al negro, dependiendo de que el valor obtenido para el factor de obstrucción sea próximo a cero o a uno.

Las imágenes correspondientes a los mapas de sombras incluyen dos tipos de informaciones complementarias. El fondo de la imagen muestra una distribución continua de 256 grises, cuyo valor numérico para cada pixel puede ser interpretado en términos de

factor de obstrucción. Sobre esta imagen y con el fin de facilitar su interpretación se han superpuesto las líneas que encierran pixeles cuyo valor del factor de obstrucción se encuentra comprendido en un intervalo concreto.

La amplitud de los intervalos en que se ha dividido el rango del factor de obstrucción es de 0.05 en la mayoría de los mapas de sombras; a excepción de los dedicados al estudio del soleamiento de una habitación, donde la amplitud de los intervalos se ha reducido a 0.025 y en el caso de los modelos topográficos, donde el intervalo se ha aumentado a 0.1.

Las figuras que ocupan una página completa están preparadas para ser vistas de modo apaisado, con el lomo del volumen a la parte superior de la figura. Salvo indicación contraria, la dirección norte en los mapas de sombras coincide con el lado menor de la figura, en dirección al lomo. En aquellos casos en que la dirección norte no coincide con la establecida, se indica cuál es mediante una flecha rematada con la letra N.

Con el fin de proporcionar una idea intuitiva de la relación entre el valor numérico del factor de obstrucción y la intensidad del gris que lo representa en los mapas de sombras, se ha colocado en el margen izquierdo de las figuras que lo necesitan una escala de grises y su valor numérico asociado expresado en tanto por cien.

En aquellos mapas de sombras, que por presentar valores del factor de obstrucción muy próximos a la unidad resultan muy oscuros, la imagen de fondo se muestra en negativo, con el fin de hacer la figura inteligible. En estos casos la escala de grises asociada a la imagen ha sido invertida.

En otros casos, cuando la figura representa la ganancia o pérdida en el valor del factor de obstrucción producida por la construcción o derribo de edificaciones, la escala de grises utilizada para comparar valores es la misma, pero sus valores numéricos asociados expresan el tanto por cien de ganancia o pérdida, variando en este caso entre +100% y -100%.

Por último, en el caso de los mapas de sombras de modelos topográficos, dados los bajos valores del factor de obstrucción que se alcanzan en los mismos, la escala de grises se ha limitado al intervalo comprendido entre el blanco y el gris medio, a los que corresponden valores del factor de obstrucción comprendidos entre 0 y 50, expresados en tanto por cien.



## 5.1. Comprobaciones sobre el modelo estudiado. Sólido de prueba

A lo largo del presente estudio se analiza en diversas ocasiones la incidencia de la radiación solar sobre un modelo geométrico sencillo, que se muestra en la figura 83.

Primeramente se utiliza el modelo para ilustrar el funcionamiento del cálculo de obstrucciones por aplicación de las cartas solares de proyección cónica. Posteriormente, en los puntos 4.1 y 4.2, se calcula la distribución del valor del factor de obstrucción sobre el plano horizontal del modelo, por dos procedimientos distintos. Los datos obtenidos por ambos procedimientos resultan convergentes, y validan de este modo el procedimiento informático para el cálculo del valor del factor de obstrucción que se aplica en el presente epígrafe.

La información obtenida del modelo se restringe exclusivamente al plano horizontal sobre el que apoyan los prismas, dado que las imágenes que han permitido el cálculo de la distribución del valor del factor de obstrucción son plantas, pero nada se sabe por el momento de la distribución del valor del factor de obstrucción sobre las superficies verticales de los prismas. El objeto del presente punto es validar la obtención de mapas de sombras obtenidos por distintos tipos de proyecciones y en direcciones distintas de las utilizadas hasta el momento.

El procedimiento empleado en el punto 4.2 utiliza la secuencia de imágenes correspondientes a las sombras arrojadas por los prismas sobre el plano horizontal, vistos en planta. Para obtener las imágenes de la secuencia se ha utilizado una proyección cilíndrica ortogonal en la dirección del eje Z, cuyo plano del cuadro queda representado por un vector normal al mismo de componentes  $C(0,0,Z)$ . Variando la dirección del vector normal al plano del cuadro pueden obtenerse imágenes significativas distintas a la planta.

En caso de que el vector que representa la normal al plano del cuadro tenga unas componentes  $C(1,1,1)$  puede obtenerse la proyección primaria correspondiente a una axonometría isométrica. La secuencia de imágenes obtenida en esta dirección, y su posterior integración en un mapa de sombras permiten observar en una misma imagen el plano horizontal sobre el que apoyan los prismas y algunos de los planos verticales que los delimitan, y conocer la distribución del Valor del factor de obstrucción sobre sus superficies.

La obtención de alzados en una dirección cualquiera puede llevarse a cabo utilizando un plano del cuadro cuyo vector normal tenga unas componentes  $C(X,Y,0)$  equivalentes a un vector paralelo al plano horizontal, a su vez normal al plano del cuadro en que quiera obtenerse el alzado.

El procedimiento de obtención de secciones verticales es, en esencia igual al de la obtención de alzados, pero tiene una problemática añadida. La obtención de secciones

tiene por finalidad mostrar determinadas partes del objeto estudiado que quedan ocultas al obtener un alzado. A los efectos de la obtención de la imagen correspondiente a la sección bastaría con eliminar la porción de sólido que oculta la imagen, pero esta eliminación tiene consecuencias en la obtención del mapa de sombras.

Si se elimina la porción de sólido que oculta la imagen que se pretende obtener, se elimina también a los efectos de recibir la radiación solar y de arrojar sombras, con lo que el mapa de sombras obtenido no tendría validez. El propio programa de obtención de imágenes tipo 3DStudio, permite el desplazamiento del plano del cuadro hasta la posición deseada manteniendo la integridad del sólido a analizar, con lo que las sombras obtenidas en la sección corresponden también a la porción de sólido que no se muestra en la sección.

Validado el procedimiento de utilización de proyecciones cilíndricas ortogonales para la obtención de mapas de sombras, con independencia de su dirección, se propone comprobar su utilidad sobre proyecciones cónicas.

La proyección cónica a emplear se determina del mismo modo que la proyección cilíndrica, mediante las coordenadas del vector normal al plano del cuadro, siendo necesario además definir la distancia principal, que separa el punto de vista y el plano del cuadro.

En las imágenes siguientes se muestra la aplicación del procedimiento de obtención de mapas de sombras sobre el sólido de prueba. En la figura 184 se muestra la distribución del valor del factor de obstrucción sobre el plano horizontal de apoyo. En la figura 185 se muestra un alzado de la cara sur del prisma de mayor altura. Dicha cara en un alzado convencional quedaría oculta en parte por el prisma de menor altura, por lo que la imagen se ha obtenido como sección. La figura 186 muestra una axonometría isométrica del sólido, y la figura 187 muestra una proyección cónica, obtenida en la misma dirección que la axonometría isométrica.

De la comparación de la posición de las líneas que encierran puntos cuyo valor del factor de obstrucción difiere menos de 0.05, en las distintas imágenes se deduce que la posición de las mismas queda definida por la geometría del modelo analizado y por las sombras que este arroja a lo largo del periodo estudiado, y que es independiente del tipo de proyección utilizado para obtener el mapa de sombras.

FIGURA 183: COMPROBACIONES SOBRE EL MODELO ESTUDIADO. SÓLIDO DE PRUEBA. PLANTA, ALZADO Y AXONOMETRÍA.

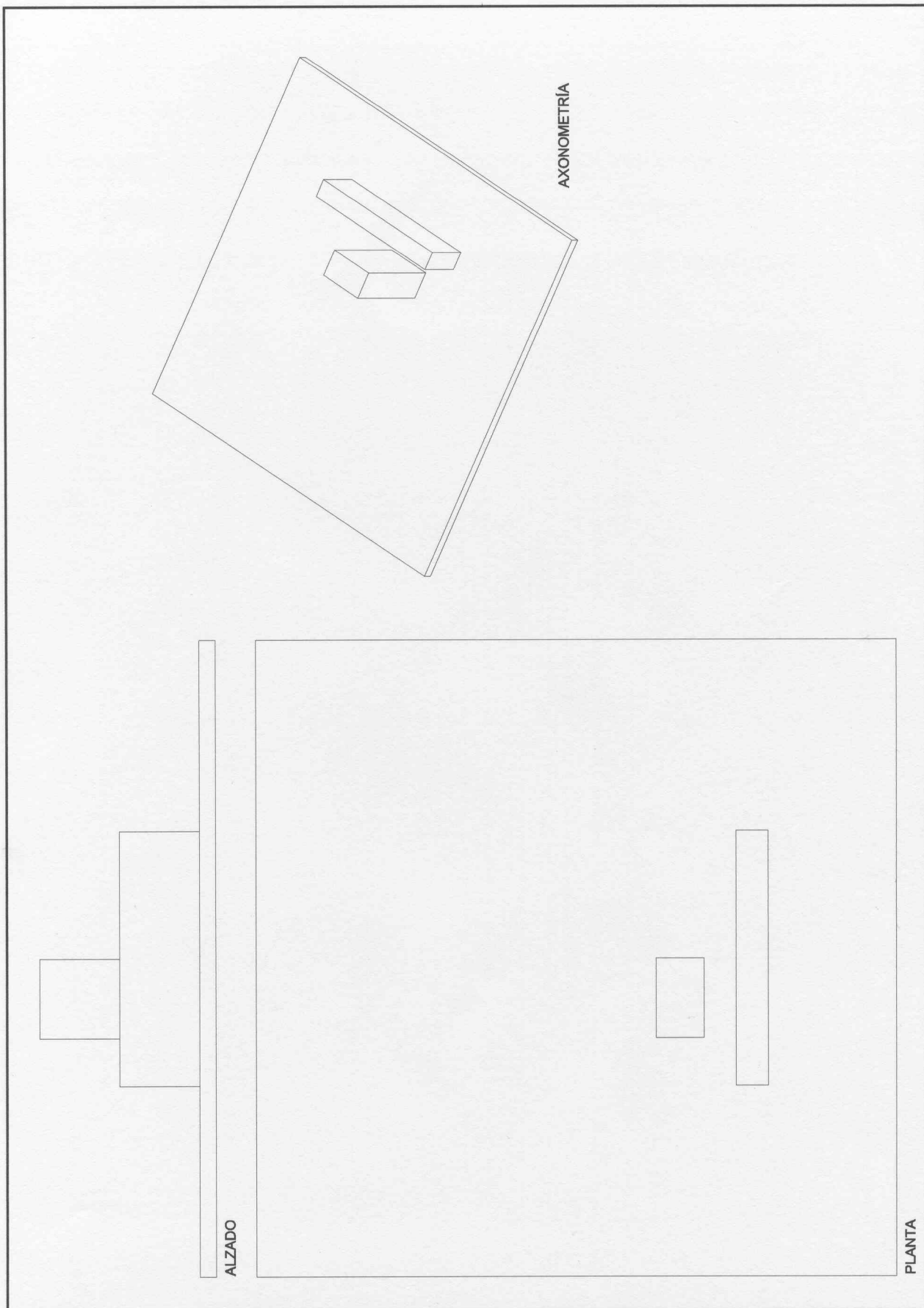




FIGURA 184: COMPROBACIONES SOBRE EL MODELO ESTUDIADO. SÓLIDO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.

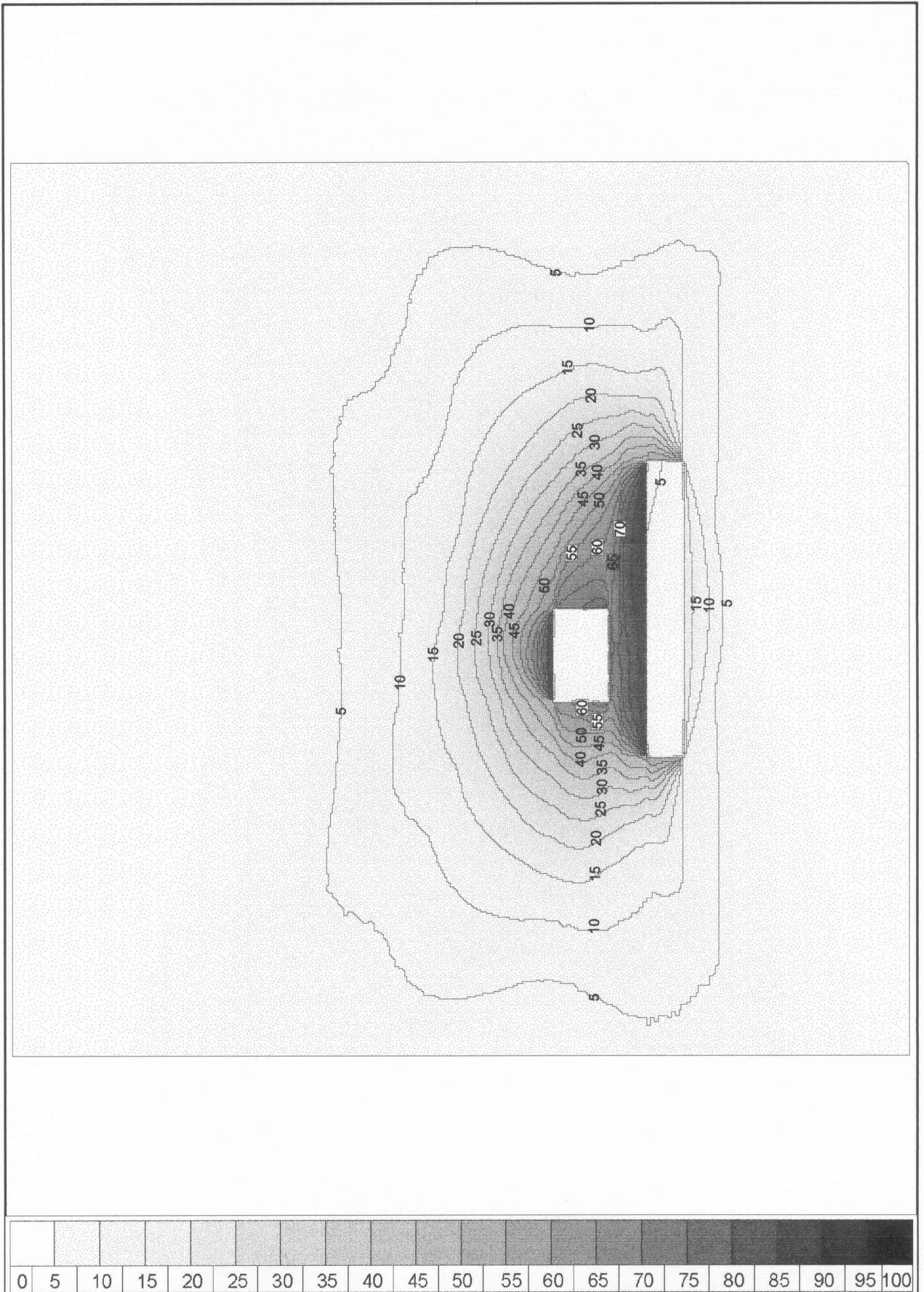




FIGURA 185: COMPROBACIONES SOBRE EL MODELO ESTUDIADO. SÓLIDO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO AA'.

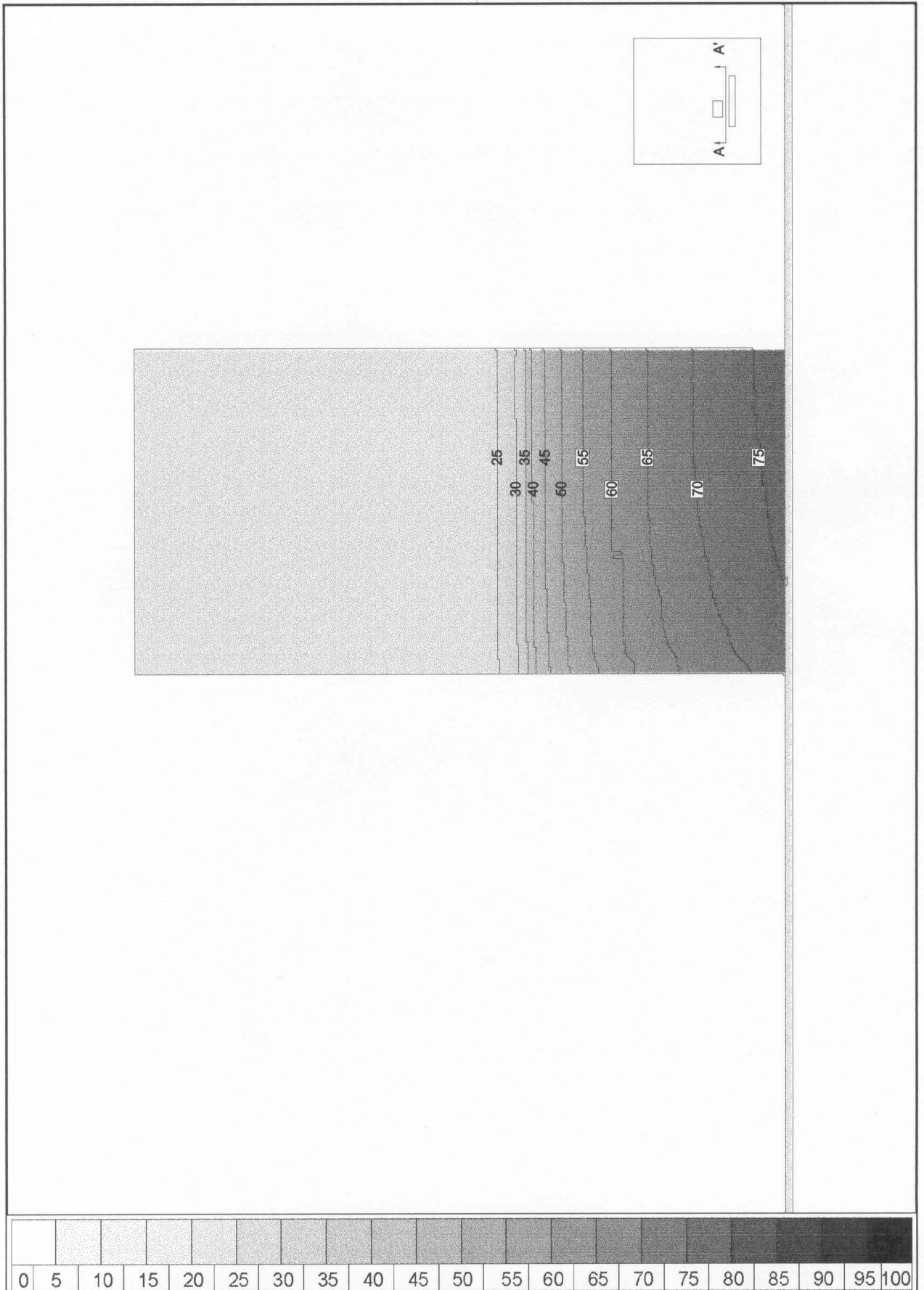






FIGURA 186: COMPROBACIONES SOBRE EL MODELO ESTUDIADO. SÓLIDO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA ISOMÉTRICA.

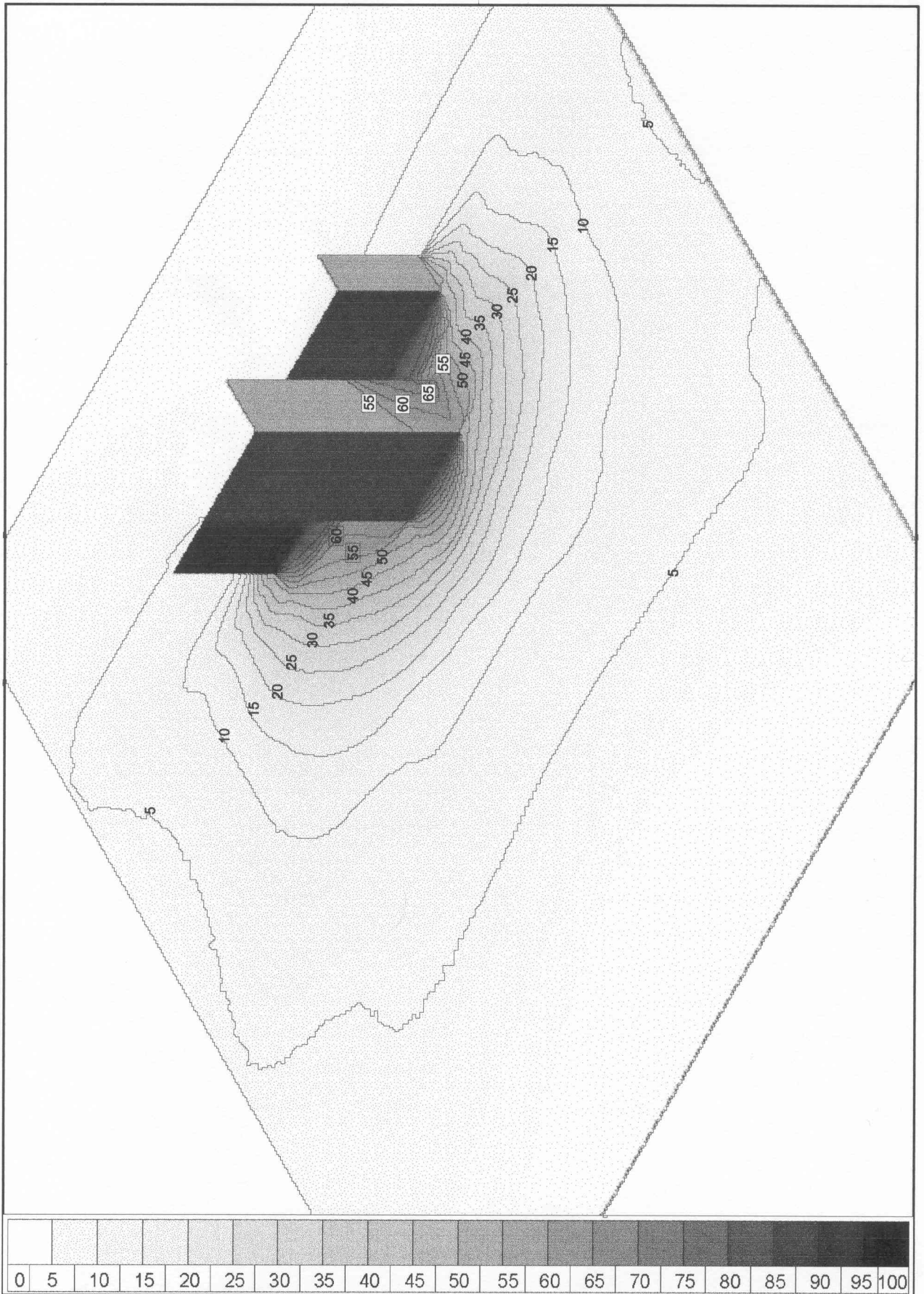
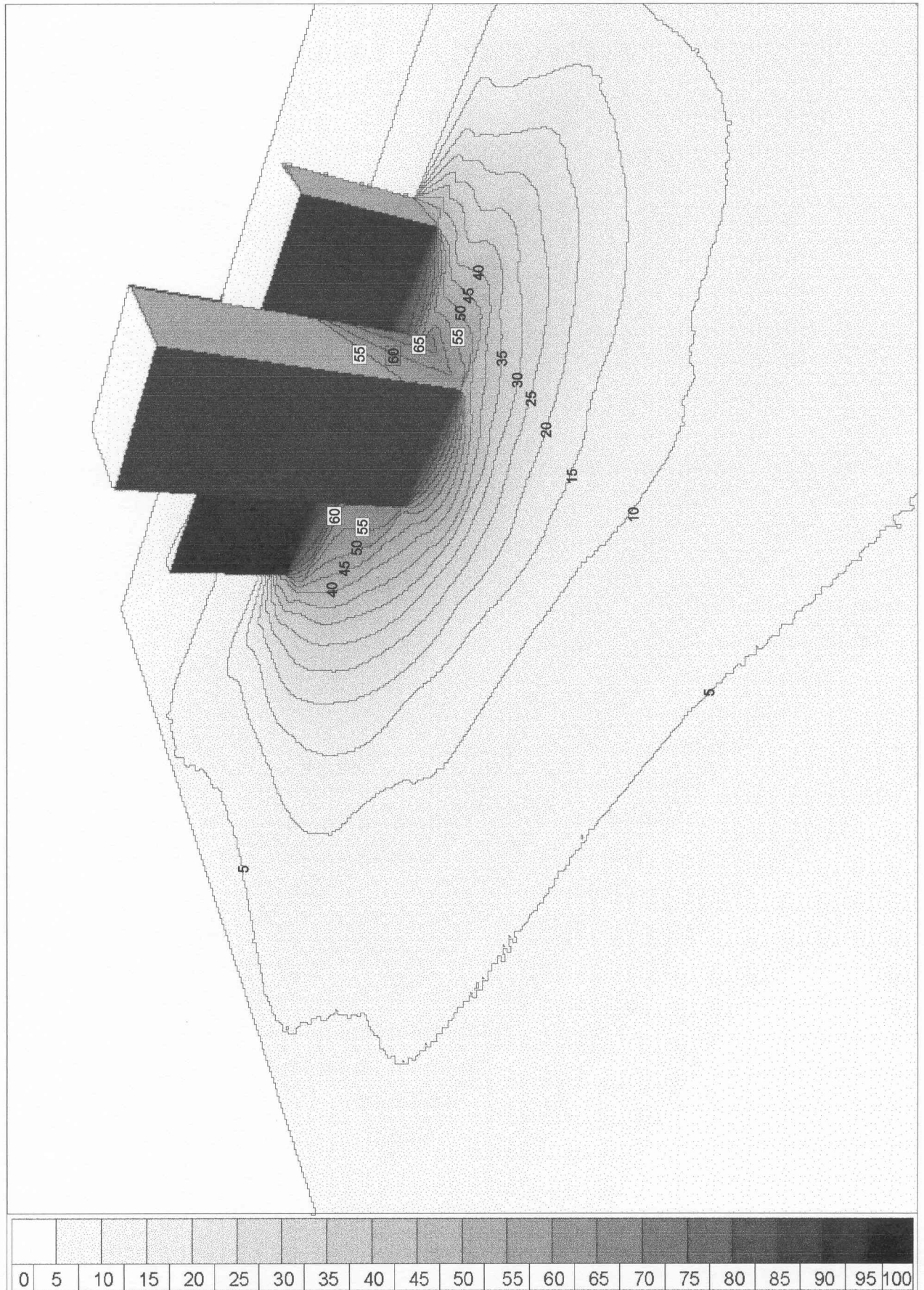




FIGURA 187: COMPROBACIONES SOBRE EL MODELO ESTUDIADO. SÓLIDO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. PROYECCIÓN CÓNICA.





## 5.2. Aplicaciones a elementos arquitectónicos

El estudio del soleamiento aplicado a la edificación, en función del tamaño del elemento estudiado, comienza por en el diseño del detalle arquitectónico. La forma de la fenestración, como sistema de huecos que comunica el interior con el exterior, condiciona la entrada de luz natural en la edificación.

Un adecuado diseño de los mecanismos de control del soleamiento en torno a los huecos, permite en mayor o menor medida facilitar o impedir la entrada de la radiación directa y de la luz natural difusa en función de las necesidades concretas del programa que se desarrolle en el interior del edificio.

El repertorio de sistemas de control del soleamiento es amplio, y comprende, desde el estudio de la ventana en función de su orientación, a la defensa de la misma mediante voladizos, y parasoles, al brisse soleil si se trata de defender una fachada completa por tratarse de un muro cortina.

Como primer modelo de estudio se propone el análisis del soleamiento en una habitación, en dos de cuyas paredes existen ventanas. El estudio permite cuantificar para cada punto del suelo y de las paredes que no cuentan con ventanas, los periodos en que reciben directamente la radiación solar.

A continuación se procede al estudio de las protecciones solares específicas para cada orientación; los llamados brisse soleil. Definido un espacio de iguales dimensiones que la habitación estudiada, y establecida una orientación, se disponen en cada una de sus fachadas las protecciones solares correspondientes.

Por último se ha elegido la claraboya como modelo de aplicación del soleamiento al estudio de los detalles arquitectónicos. La función de la claraboya es proporcionar niveles adecuados de iluminación natural en el interior de las edificaciones. Situadas en las cubiertas, no tienen la función de facilitar vistas, por lo que el material del que se fabrican no suele ser transparente, sino translúcido. De este modo, al recibir luz solar directa, el material translúcido la difunde hacia el interior del edificio. La capacidad de la claraboya para difundir luz natural al interior del edificio está condicionada por su forma. La máxima eficiencia se consigue con la mayor superficie de claraboya iluminada con radiación solar directa durante el mayor tiempo posible.

### 5.2.1. Soleamiento de una habitación

Se propone en este apartado el estudio del soleamiento recibido por las paredes y el suelo de una habitación en la que, como se ha dicho anteriormente existen ventanas en dos paredes contiguas; una de ellas al sur y la otra al oeste. El estudio de este apartado pretende la cuantificación de las horas de sol/año incidentes sobre el pavimento y sobre las paredes no perforadas de la misma, mediante la obtención de los correspondientes mapas de sombras.

Con el fin de estudiar la influencia de la orientación en la insolación recibida se propone el estudio del mismo modelo en tres posiciones distintas. La primera orientación presenta el lado largo de la estancia al sur; mientras que las otras dos orientaciones resultan de girar la habitación  $15^\circ$  al este y al oeste respectivamente.

En la figura 188 se define la geometría de la habitación; mediante una planta, dos alzados y una axonometría. En las figuras 189, 190 y 191 se muestran los mapas de sombras correspondientes a las tres orientaciones propuestas. En cada una de las figuras pueden apreciarse los mapas de sombras correspondientes al suelo, y a las paredes no perforadas de la habitación. En las figuras 194, 193 y 194 se muestran sendas axonometrías isométricas de los tres planos sobre los que se ha estudiado el soleamiento, correspondientes a las tres orientaciones.

Respecto del soleamiento recibido por el plano horizontal, la orientación más favorable es el norte estricto, con valores de  $F=0.75$ , disminuyendo el valor del factor de obstrucción a valores de  $F=0,775$  para la orientación  $15^\circ$  al este; y a valores de  $F=0,80$  para la orientación  $15^\circ$  oeste.

La sección 1; que muestra la pared en dirección este oeste registra unas condiciones de soleamiento más favorable para la orientación  $15^\circ$  al oeste, con un valor del factor de obstrucción  $F=0.875$  como dato más favorable. Para las otras orientaciones, el valor máximo del factor de obstrucción que se registra es de  $F=0,90$ .

La sección 2; que muestra la pared en dirección norte sur, registra prácticamente las mismas condiciones de soleamiento para las tres orientaciones.

Los mapas de sombras obtenidos en el presente apartado, dados los altos valores del factor de obstrucción que registran, resultan muy oscuros, con valores de gris muy próximos al color negro. Con el fin de hacer visible la distribución de grises, la imagen obtenida para cada mapa de sombras ha sido convertida en negativo. Las escalas gráficas de grises que se acompañan a cada figura, para establecer comparaciones entre grises han sido también invertidas, para adaptarlas a los mapas de sombras en negativo.

FIGURA 188: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS.  
SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. PLANTA, ALZADOS Y AXONOMETRÍA.

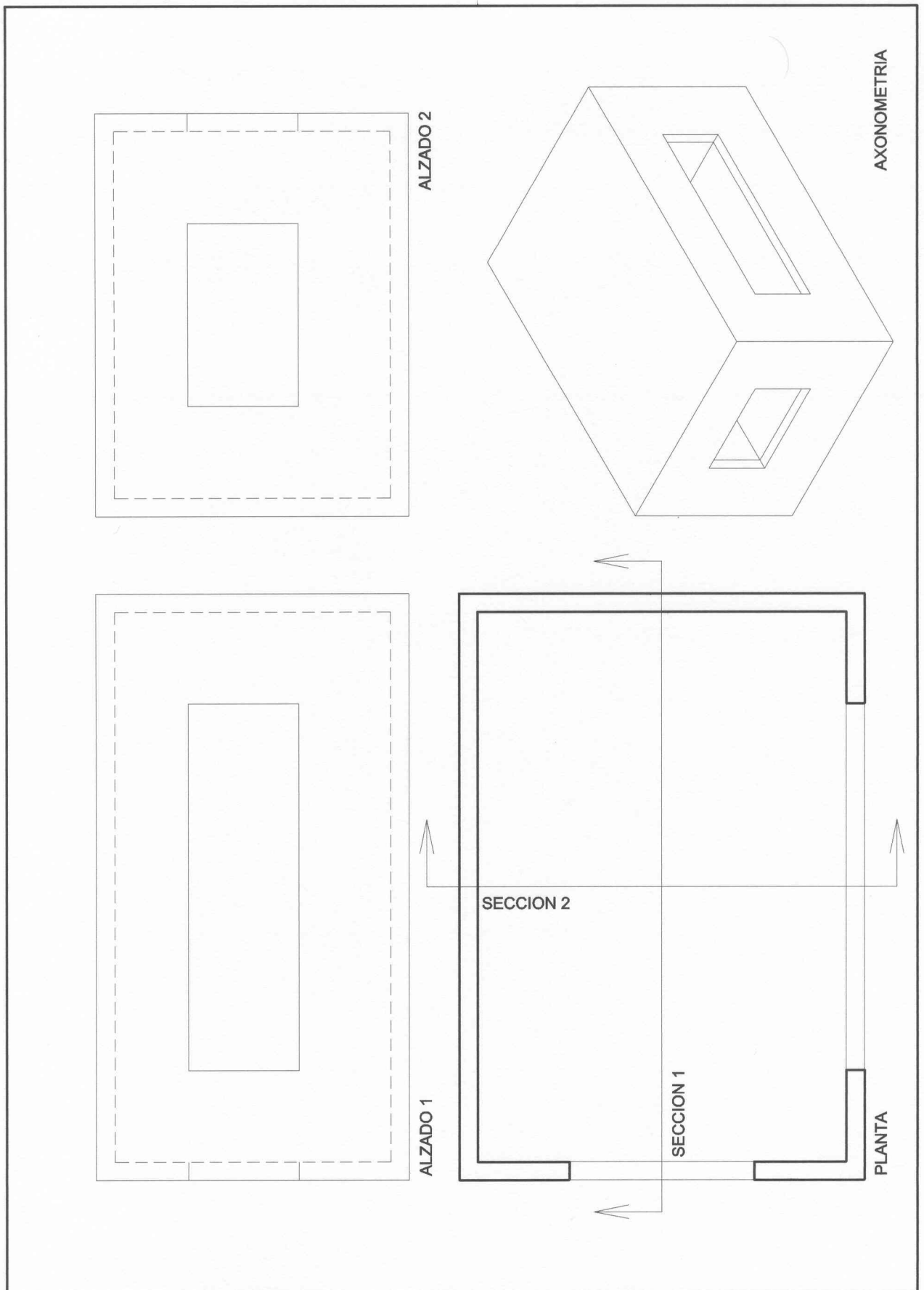






FIGURA 189: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS.  
SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. MAPAS DE SOMBRAS. ORIENTACIÓN 1.

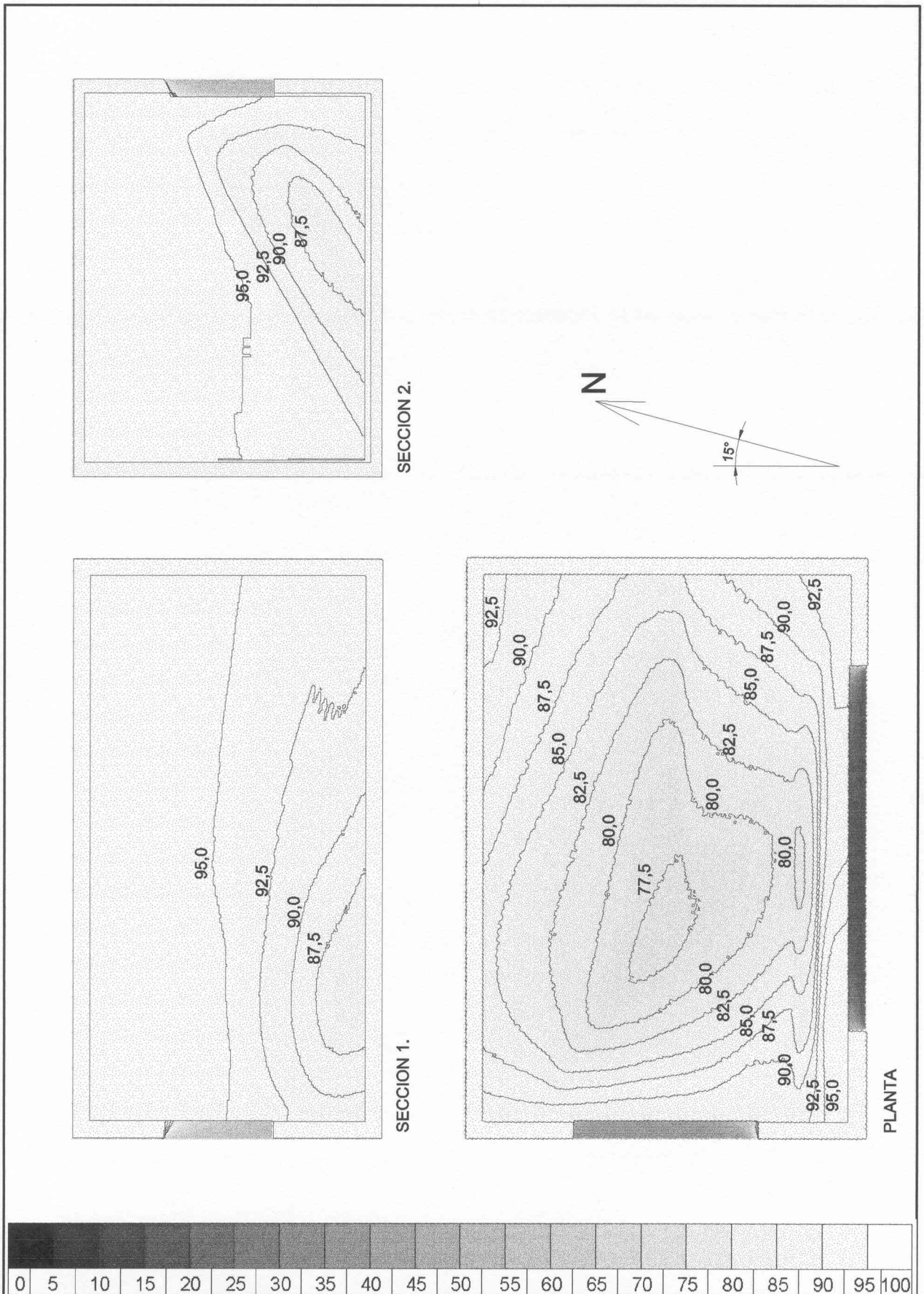




FIGURA 190: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS.  
SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. MAPAS DE SOMBRAS. ORIENTACIÓN 2.

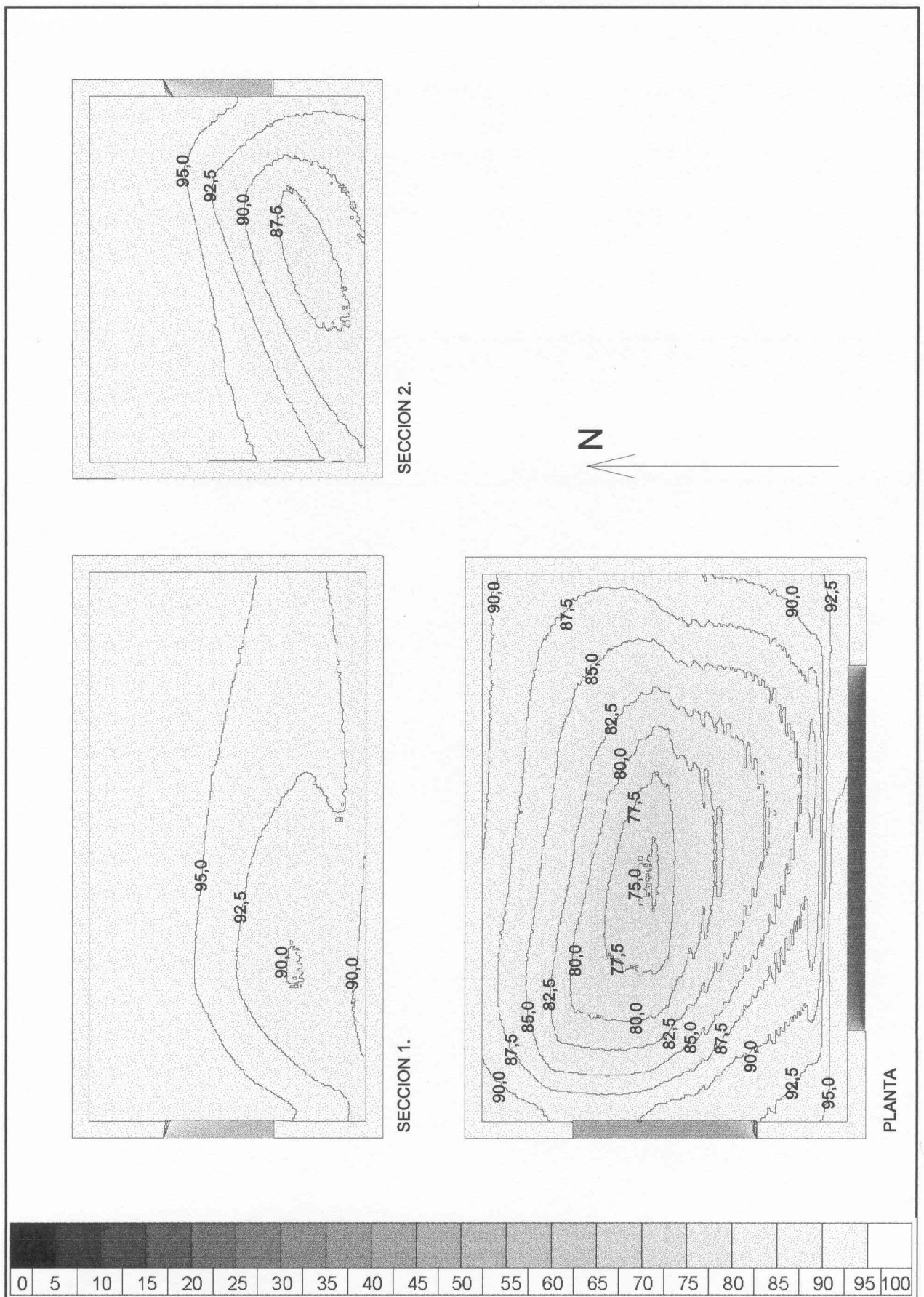




FIGURA 191: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS.  
SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. MAPAS DE SOMBRAS. ORIENTACIÓN 3.

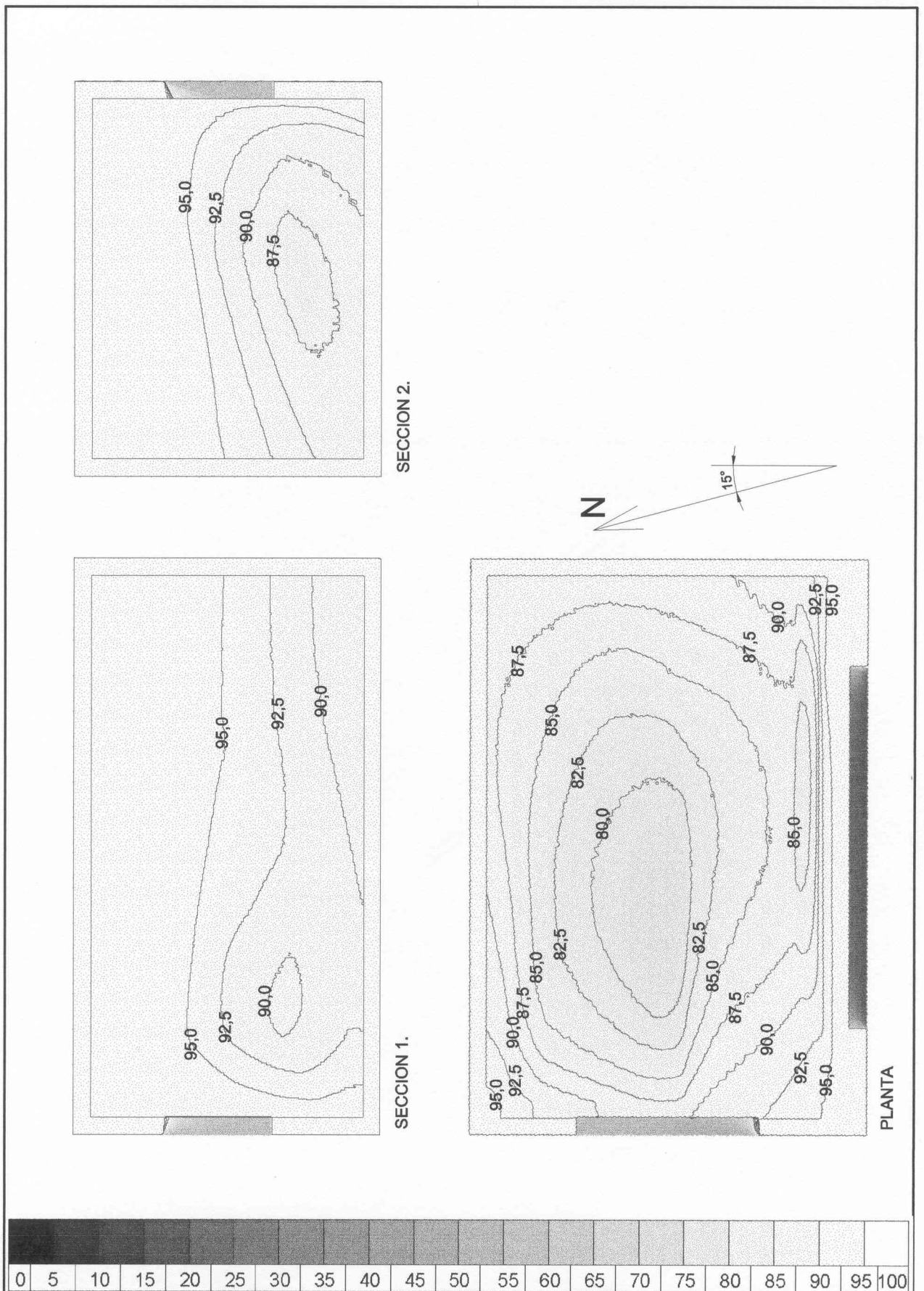






FIGURA 192: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS  
SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA. ORIENTACIÓN 1.

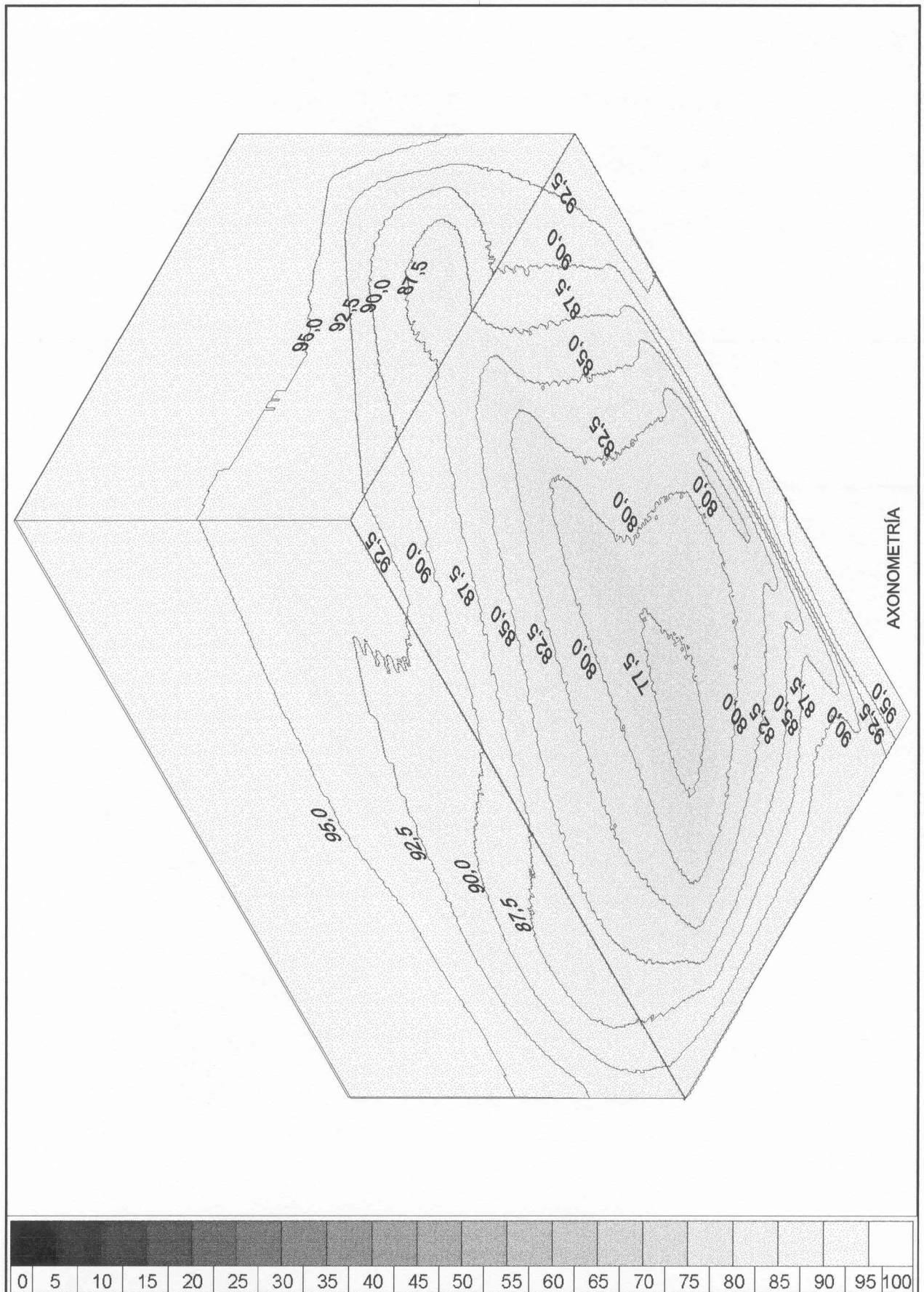
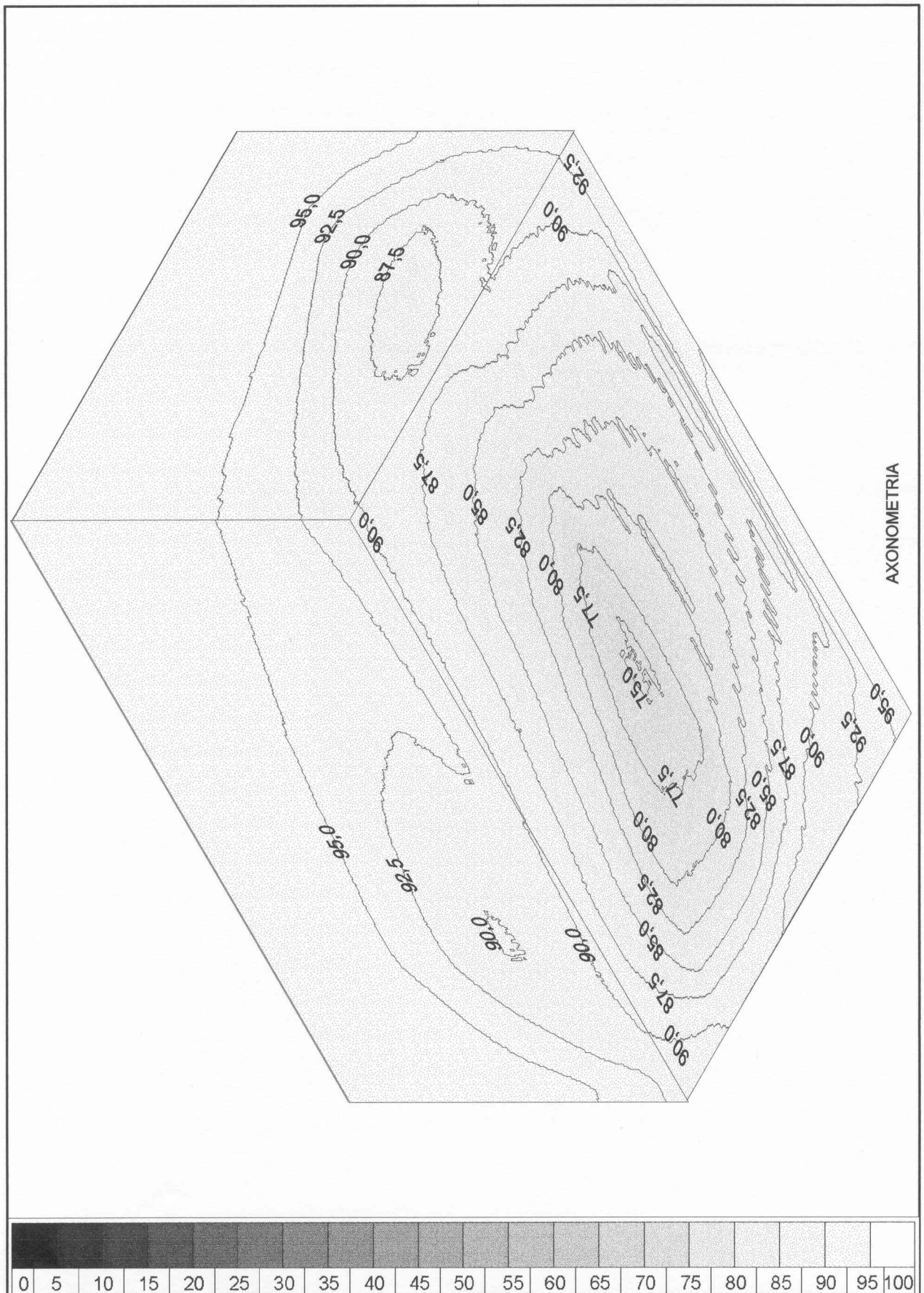






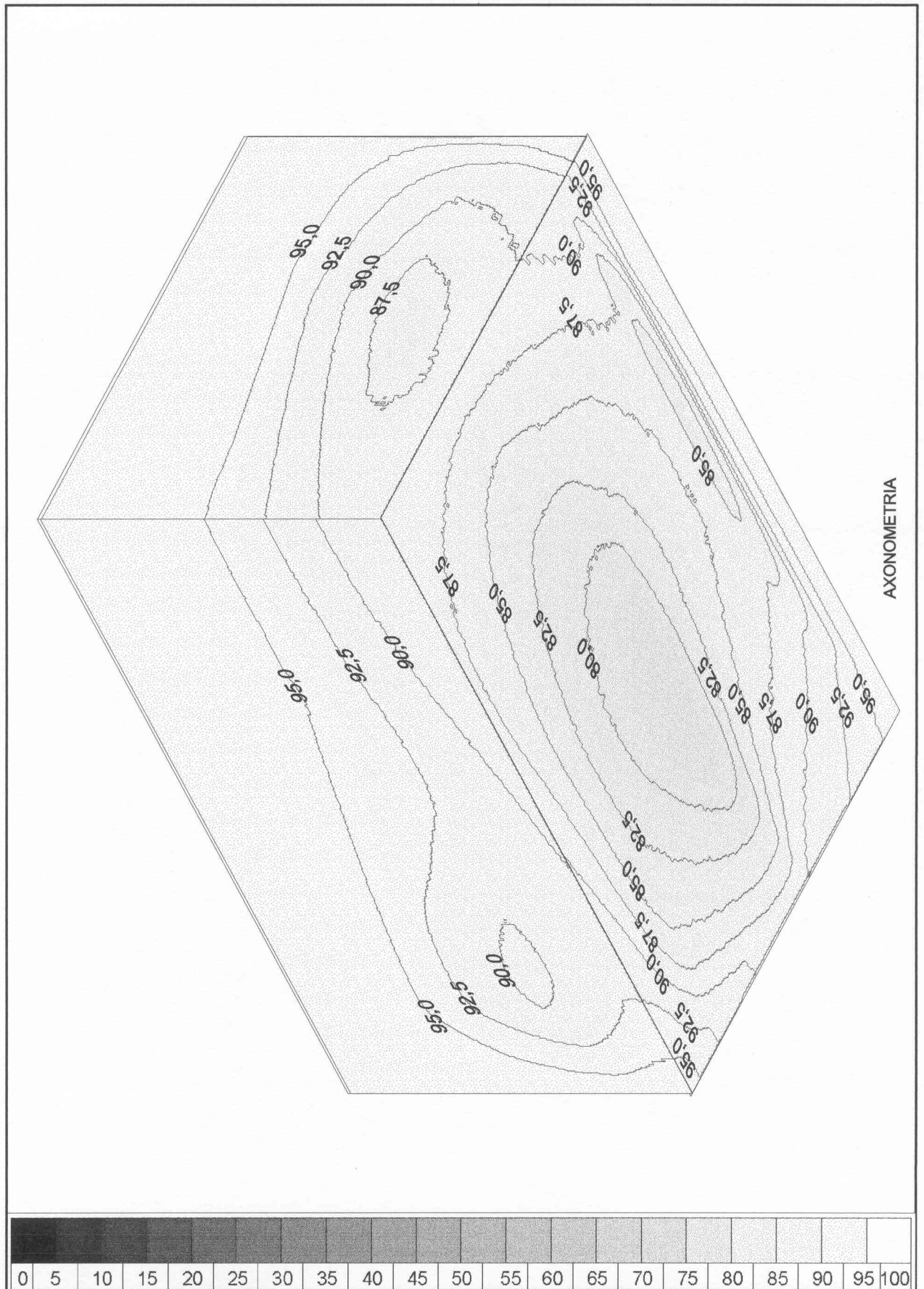
FIGURA 193: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS  
SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. MAPAS DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA ORIENTACION 2.



AXONOMETRIA



FIGURA 194: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS  
SOLEAMIENTO DE UNA HABITACIÓN. MAPAS DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA ORIENTACION 3.





## 5.2.2. Dimensionado de protecciones solares

En el presente apartado se propone el estudio del soleamiento en el interior de un espacio rectangular, orientado en dirección norte sur, en cuyas fachadas se han dispuesto protecciones solares. Con el diseño de las protecciones solares se pretende dotar al espacio interior de la máxima transparencia, pero controlando la entrada de la radiación solar en función de la estación del año y de la hora del día.

El diseño de las protecciones solares se ha particularizado, en función de las necesidades de cada fachada. En todas ellas se pretende facilitar en lo posible la entrada de la radiación solar en invierno, tratando de impedir su entrada durante el verano.

En el caso de la fachada sur; se ha optado por la disposición de lamas horizontales, con una separación vertical que facilita la entrada de la radiación solar durante el invierno, cuando el valor de su altura sobre el horizonte es bajo; y la dificulta a medida la altura aumenta, llegando a impedir la entrada del sol el mediodía del equinoccio de verano.

El tratamiento de las fachadas este y oeste se ha resuelto mediante la colocación de lamas verticales, colocadas en la dirección del orto para la fachada este, y del ocaso para la fachada oeste, correspondientes al solsticio de invierno. La separación entre lamas es tal que se impide la entrada de la radiación solar durante el orto y el ocaso del solsticio de verano. Esta disposición de lamas no tiene por objeto impedir la entrada de la radiación solar durante toda la jornada, sino dificultar su entrada durante las últimas horas del día en los meses de verano; con el fin de evitar deslumbramientos.

La protección de la fachada norte se ha resuelto mediante la colocación de lamas verticales orientadas en dirección norte sur. El diseño de las protecciones de la fachada norte debe impedir la entrada de la radiación solar a primeras y últimas horas del día durante los meses de verano, y su finalidad es la misma que en el caso de las fachadas este y oeste; evitar en lo posible el deslumbramiento debido a la baja altura del sol.

Con el fin de comprobar las distintas condiciones de soleamiento que producen las protecciones en el interior del espacio estudiado se propone, además de la elaboración del mapa de sombras correspondiente al periodo anual, dos mapas de sombras independientes, para los periodos de invierno y verano. El periodo de invierno, comienza en el equinoccio de otoño, y termina en el equinoccio de primavera; y el periodo de verano comienza el equinoccio de primavera y termina el equinoccio de otoño.

El valor del factor de obstrucción, que puede calcularse para cada pixel en función del valor de gris que contiene, a partir de los mapas de sombras correspondientes, no depende de la duración del periodo estudiado. En cambio; la modificación de la duración del periodo estudiado, hace necesario un reajuste en el número de horas/sol correspondiente a cada uno de los periodos. Las horas sol que corresponden a los periodos en que queda dividido el año es la siguiente:

Horas de sol del periodo de invierno (del 22 sep. al 21 de mar.)	1715,08 h.
Horas de sol del periodo de verano (del 22 mar. al 21 de sep.)	2360,75 h.
Horas de sol anuales	4075,83 h.

Conocido el factor de obstrucción para cada pixel de la imagen, a partir del valor numérico de su gris correspondiente, pueden conocerse las horas de sol que le corresponden por aplicación de las fórmulas siguientes:

$$\text{Horas de sol/invierno:} \quad H_{si} = 1715,08 \left( \frac{G}{256} \right)$$

$$\text{Horas de sol/verano:} \quad H_{sv} = 2360,75 \left( \frac{G}{256} \right)$$

Obtenidos los tres mapas de sombras; el correspondiente al periodo anual y los mapas de sombras particularizados para invierno y verano, se ha considerado oportuna su conversión en imagen negativo, del mismo modo que se hizo en el apartado anterior.

En la figura 195 se describe la geometría del espacio estudiado, mediante una planta, tres alzados y una sección. En la figura 196 se muestra un detalle de cada fachada, indicando las condiciones que ha impuesto el soleamiento en su diseño. Las figuras 197, 198 y 199 corresponden a los tres mapas de sombras.

En el mapa de sombras del periodo anual puede observarse que los valores correspondientes al factor de obstrucción en la cota cero del espacio estudiado registran un gradiente en dirección norte sur, con un mínimo de  $F=0,0$  en el borde sur, y un máximo de  $F=0,7$  en el borde norte, con un valor medio de  $F=0,55-0,60$ .

A partir de la comparación de los mapas de sombras correspondientes a invierno y verano pueden establecerse entre ellos las siguientes diferencias:

- El mapa de sombras correspondiente a invierno registra valores del factor de obstrucción relativamente bajos, con un mínimo relativo de  $F=0,30$  en el interior del espacio, equivalente a 1200,55 horas de sol durante el invierno; mientras que el mínimo relativo para un punto interior del mapa de sombras de verano corresponde a un valor de  $F=0,65$ ; equivalente a 826,26 horas de sol durante el verano.
- El mapa de sombras correspondiente al invierno registra mucho gradiente, con gran cantidad de curvas de igual valor del factor de obstrucción, muy próximas entre sí; mientras que el mapa de sombras correspondiente al verano es prácticamente plano, con un valor casi constante de  $F=0,65$ .

De las diferencias observadas entre los dos mapas de sombras, puede deducirse que las protecciones solares diseñadas para el espacio estudiado son eficientes, dado que priman la entrada de sol durante el invierno, y la dificultan en verano.

FIGURA 195: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS.  
DIMENSIONADO DE PROTECCIONES SOLARES. PLANTA, ALZADOS Y AXONOMETRÍAS.

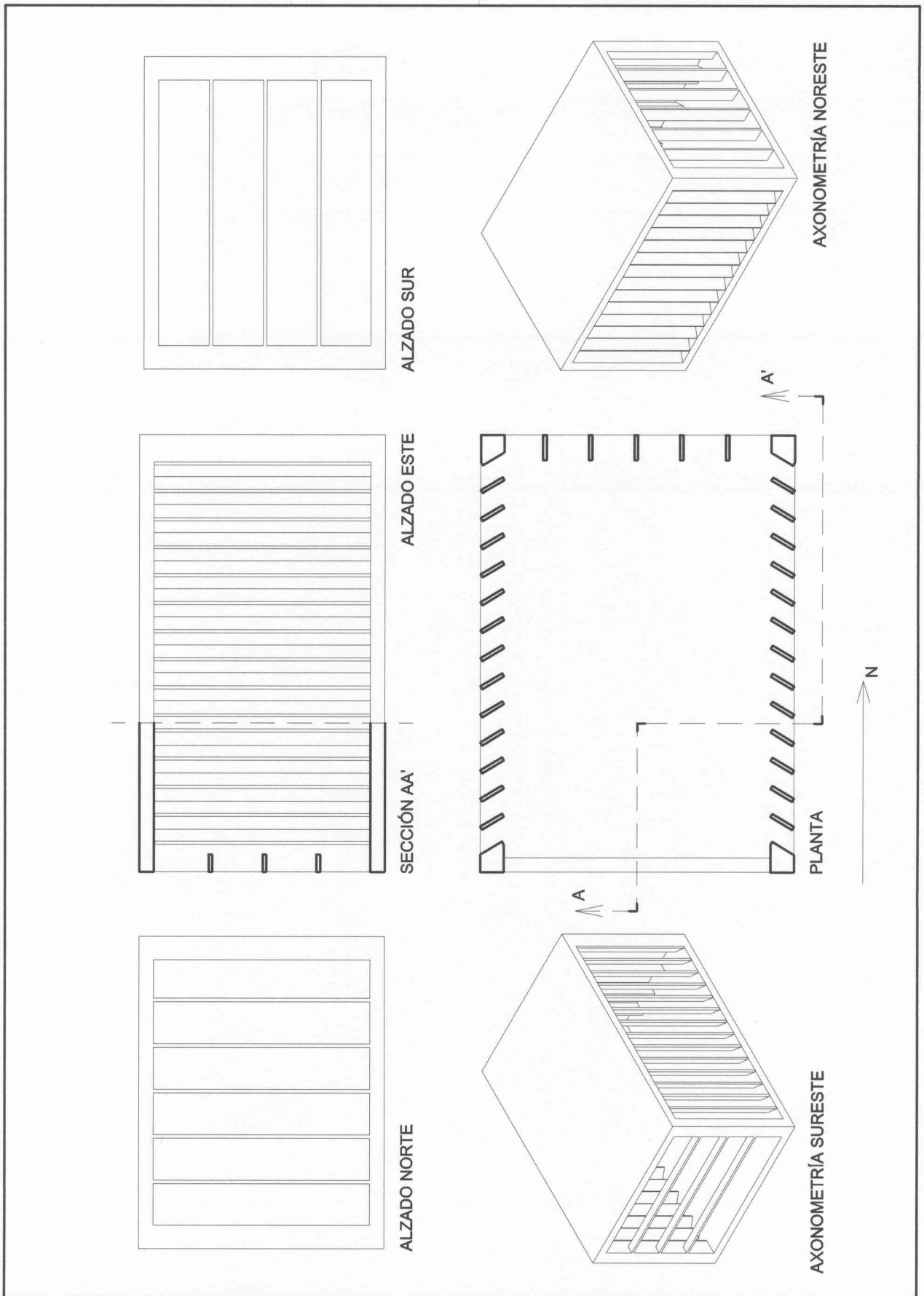






FIGURA 196: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS.  
DIMENSIONADO DE PROTECCIONES SOLARES. DETALLE DE FACHADAS.

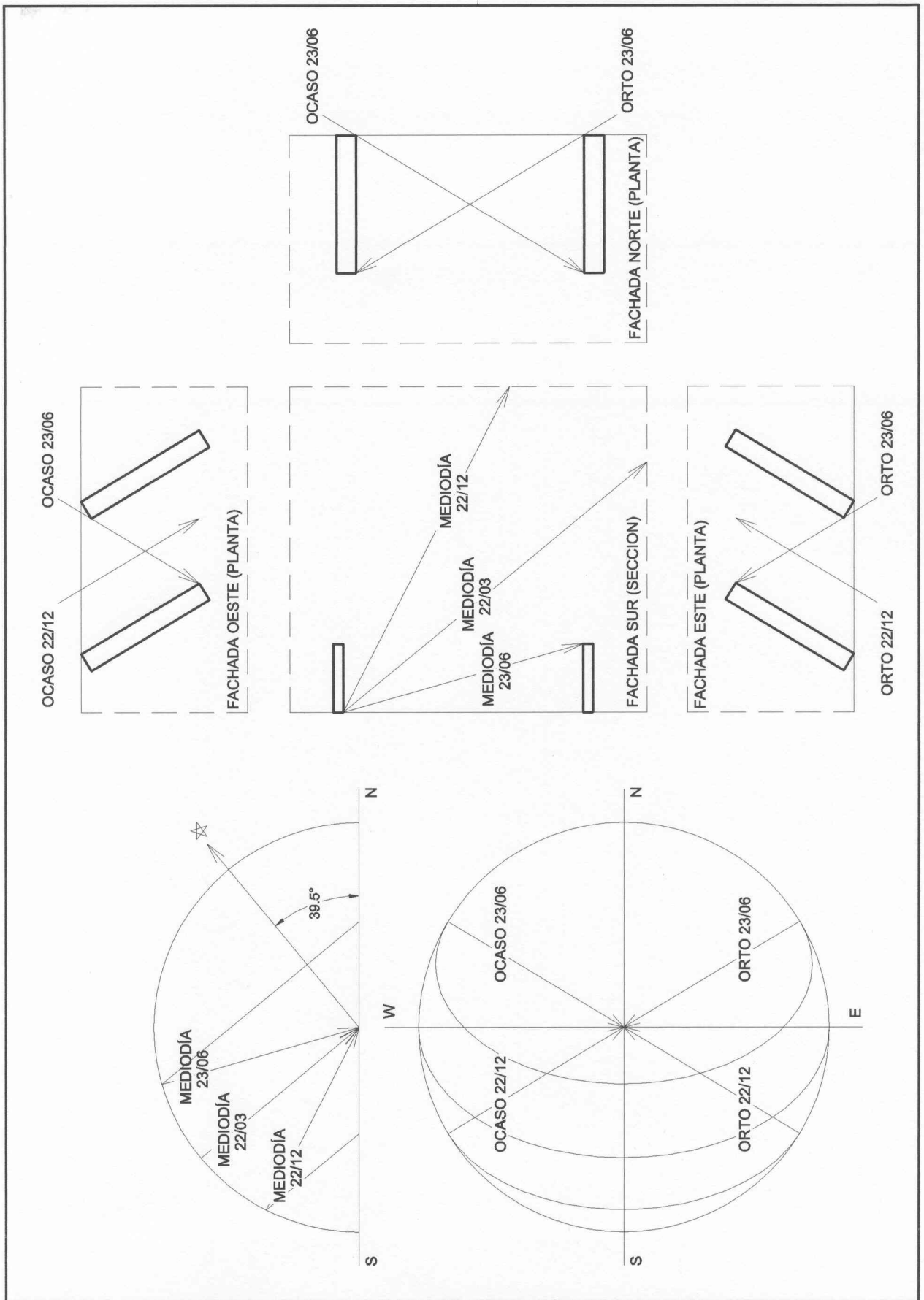




FIGURA 197: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS  
DIMENSIONADO DE PROTECCIONES SOLARES. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA. PERIODO ANUAL.

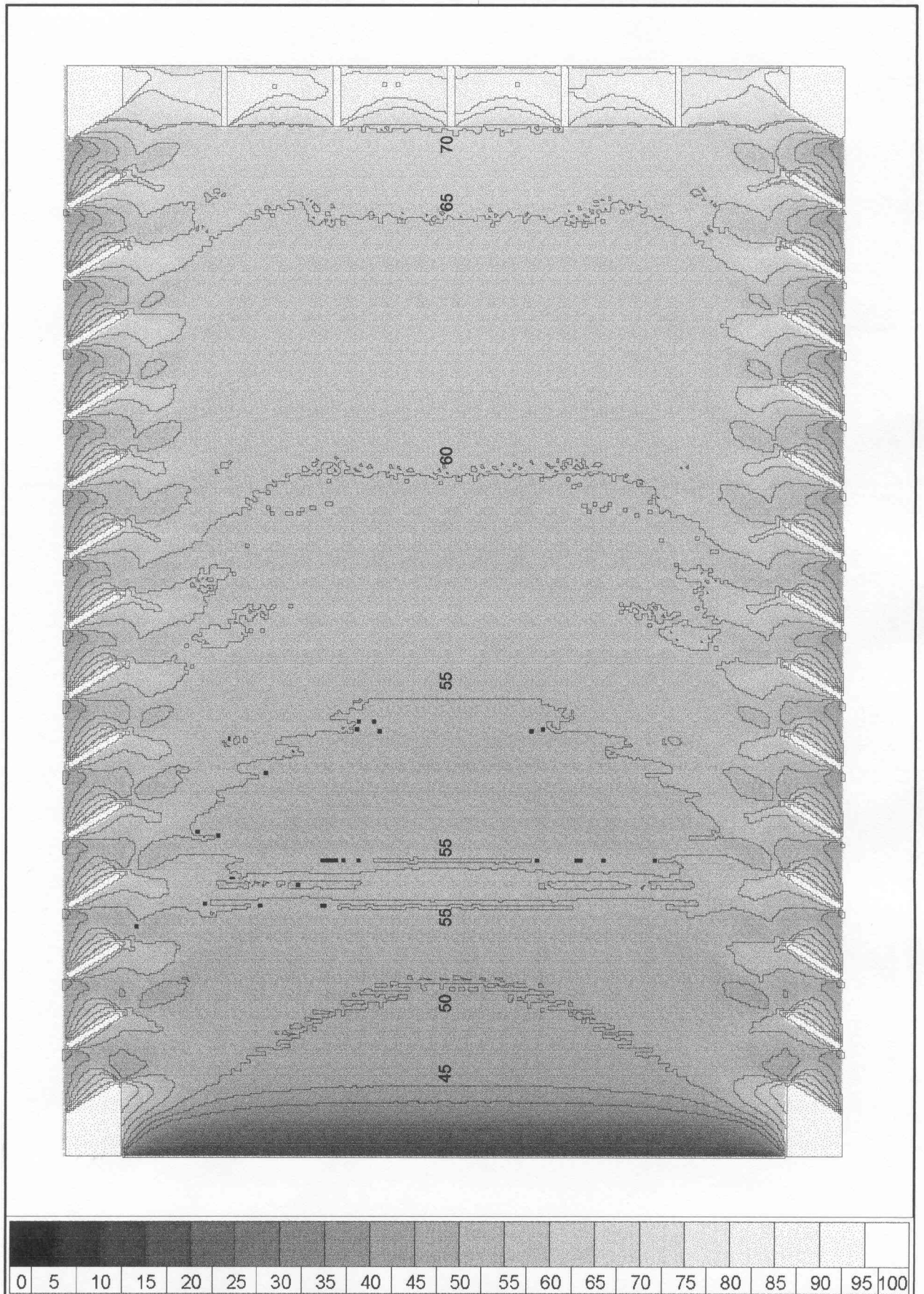




FIGURA 198: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS  
DIMENSIONADO DE PROTECCIONES SOLARES. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA. INVIERNO.

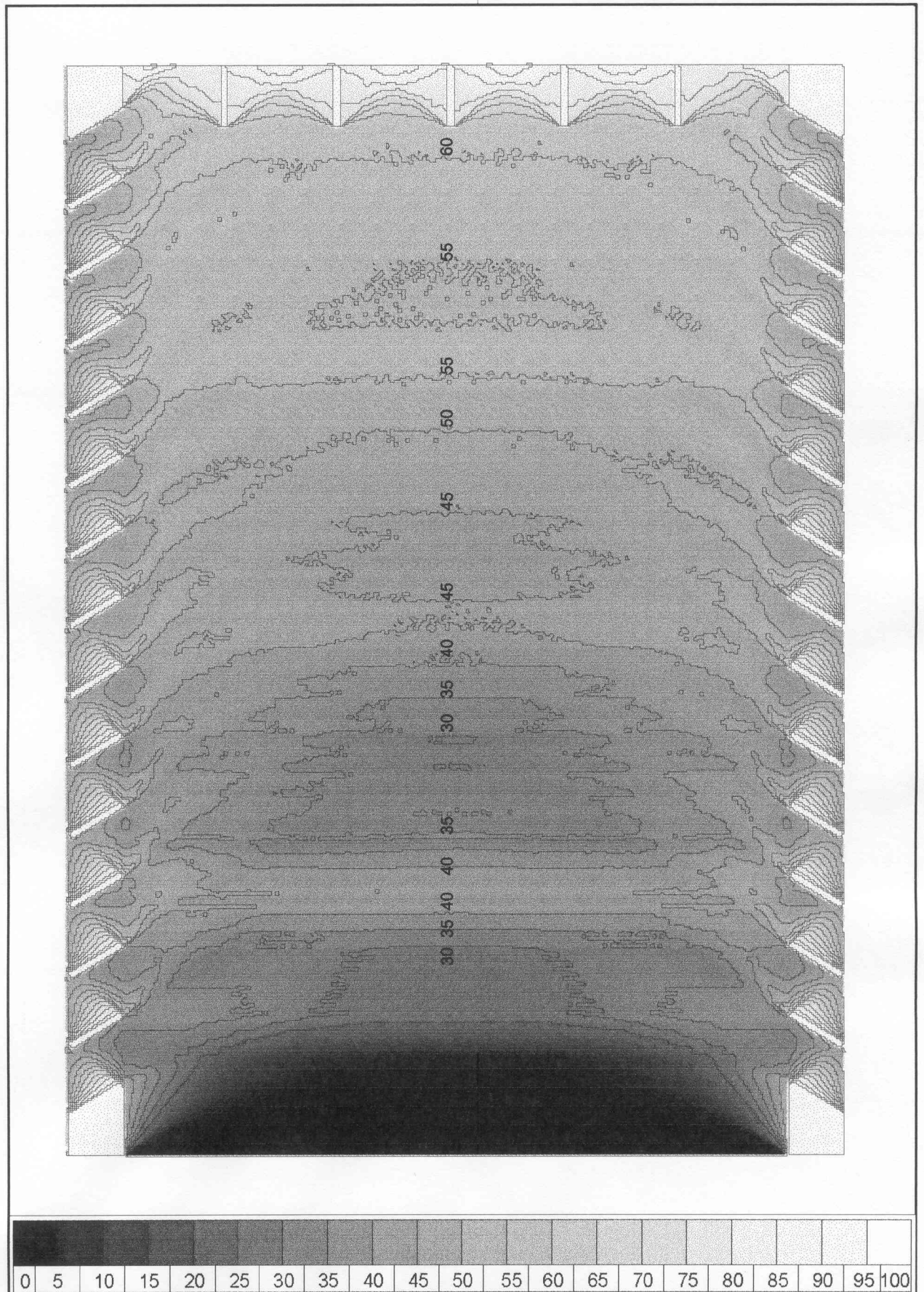






FIGURA 199: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS  
DIMENSIONADO DE PROTECCIONES SOLARES. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA. VERANO.







### 5.2.3. Claraboya en la Universidad Politécnica de Valencia

La claraboya dispuesta sobre las cubiertas planas de la Universidad Politécnica de Valencia está fabricada de metacrilato blanco translúcido. Tiene unas dimensiones en planta de 1,50x1,50 m, y de 0,6m. de altura sobre su plano de arranque. La claraboya se apoya en su perímetro sobre un murete de ladrillo, que permite mantener la estanqueidad de la cubierta, al tiempo que dota al plano de arranque de la misma de una cierta altura sobre el acabado de gravas de la cubierta.

La forma de la claraboya se adapta en planta a un cuadrado, mientras que las secciones verticales paralelas a los lados del cuadrado son nodos de curva senoidal de altura variable, con un máximo relativo en el centro de la claraboya. La ecuación de la superficie de la claraboya,  $z = F(x,y)$  es la siguiente:

$$z = 0.6 \left[ \operatorname{sen} \left( \frac{\pi x}{1.5} \right) \operatorname{sen} \left( \frac{\pi y}{1.5} \right) \right]; \text{ con } x[0,1.5] \text{ y } y[0,1.5]$$

Dicha superficie además del máximo relativo que registra en su centro, tiene también mínimos relativos en las esquinas del cuadrado, donde los planos tangentes a la superficie resultan horizontales.

Como se ha apuntado anteriormente, la capacidad de la claraboya para difundir luz natural al interior de las edificaciones depende de cuales sean las dimensiones del área directamente iluminada por la radiación solar, y de cuanto tiempo dicha superficie permanezca iluminada.

La obtención de mapas de sombras de la superficie de la claraboya permite conocer para cada punto de la misma el intervalo de tiempo en que recibe la radiación solar, permitiendo también conocer, por la disposición de líneas que encierran puntos de igual valor del factor de obstrucción, y qué distribución presentan las áreas iluminadas sobre la superficie de la misma.

Aunque la evaluación de la luz directa y difusa capaz de difundir una claraboya al interior de una edificación no es objeto del presente estudio, por tratarse de un material translúcido, la eficiencia de la misma esta directamente condicionada por las horas de sol que ésta recibe. El objeto del presente apartado es definir la duración de los intervalos de incidencia solar sobre la superficie de la claraboya, y en función de la misma, evaluar la eficiencia de ésta.

En la figura 200 se define la geometría de la superficie de la claraboya, mediante la disposición sobre la misma de un mallado triangular. La posición de los vértices de la malla triangular responde a la fórmula arriba indicada. En la figura 201 se muestra el mapa de sombras visto en planta, y en la figura 202 se muestra una axonometría del mapa de sombras de la claraboya.

### 5.2.4. Claraboya de superficie esférica

Con el fin de evaluar el funcionamiento de la claraboya analizada en el punto anterior se propone la comparación respecto de una claraboya de superficie esférica. Habitualmente las claraboyas de superficie esférica se disponen en cubiertas planas sobre huecos circulares, pero en este caso a efectos de comparación se adapta a una planta cuadrada de las mismas dimensiones que la claraboya de la UPV.

La claraboya objeto de análisis se supone de las mismas características que la anterior, es decir, dimensiones en planta de 1,50x1,50 m, y de 0,6m. de altura sobre el plano de arranque, pero la superficie que la limita exteriormente es una superficie esférica.

En la figura 203 se muestra la definición geométrica de la superficie de la claraboya, que en este caso se ha realizado mediante la disposición de meridianos y paralelos sobre la misma. En la figura 204 se muestra el mapa de sombras en planta, y en las figuras 205 y 206 se muestran dos axonométricas del mapa de sombras.

Del análisis comparativo de los mapas de sombras obtenidos para ambas claraboyas se deduce que la claraboya de superficie esférica es más eficaz, dado que el área encerrada por las curvas de valor del factor de obstrucción  $F=0.05$  y  $F= 0.10$ , equivalentes a una recepción de la radiación solar durante el 95% y el 90% del tiempo disponible es mayor que en el caso de la claraboya analizada en el punto anterior.

FIGURA 200: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS CLARABOYA EN LA UPV. PLANTA, ALZADO Y AXONOMETRÍA.

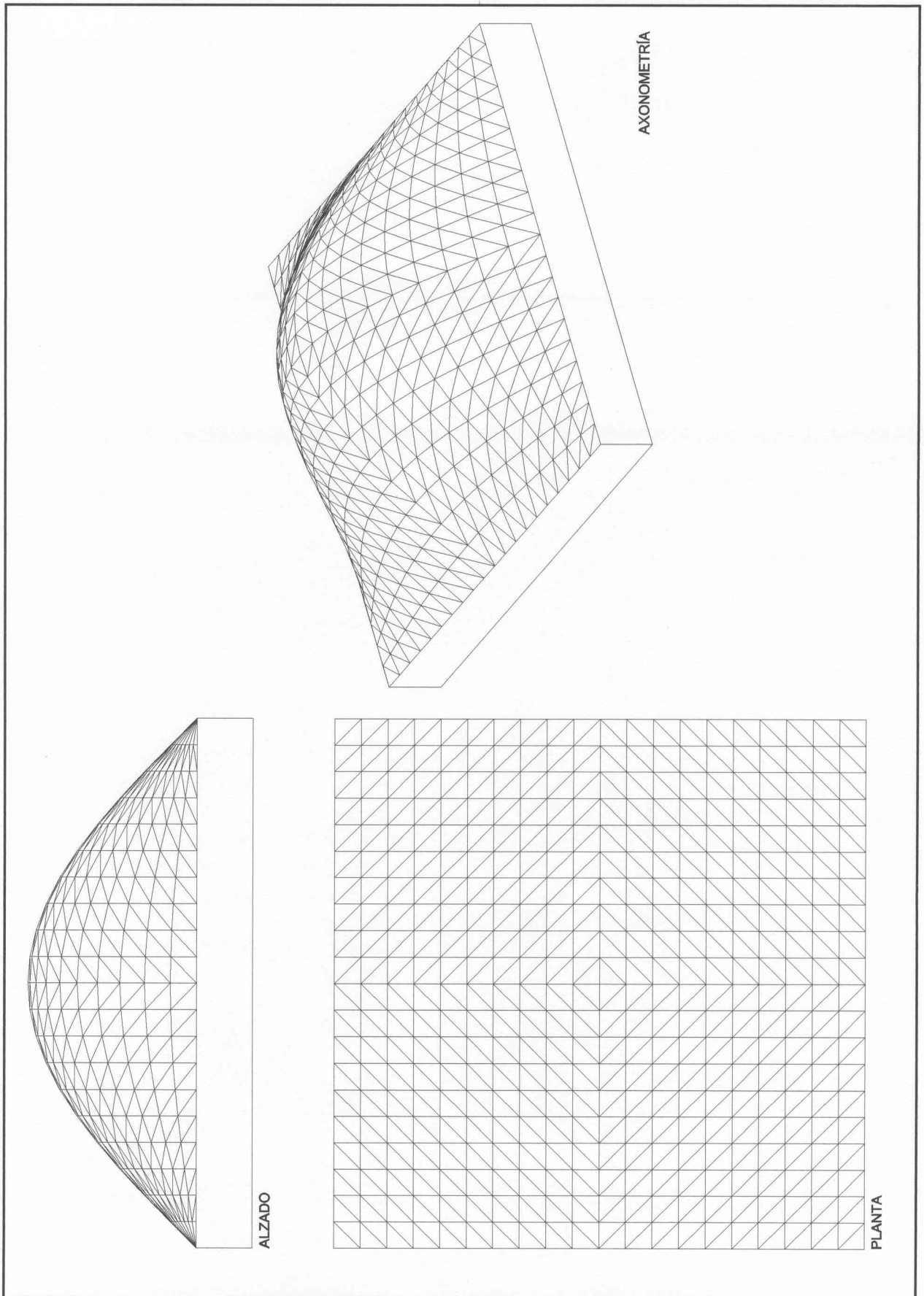




FIGURA 201: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS CLARABOYA EN LA UPV. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.

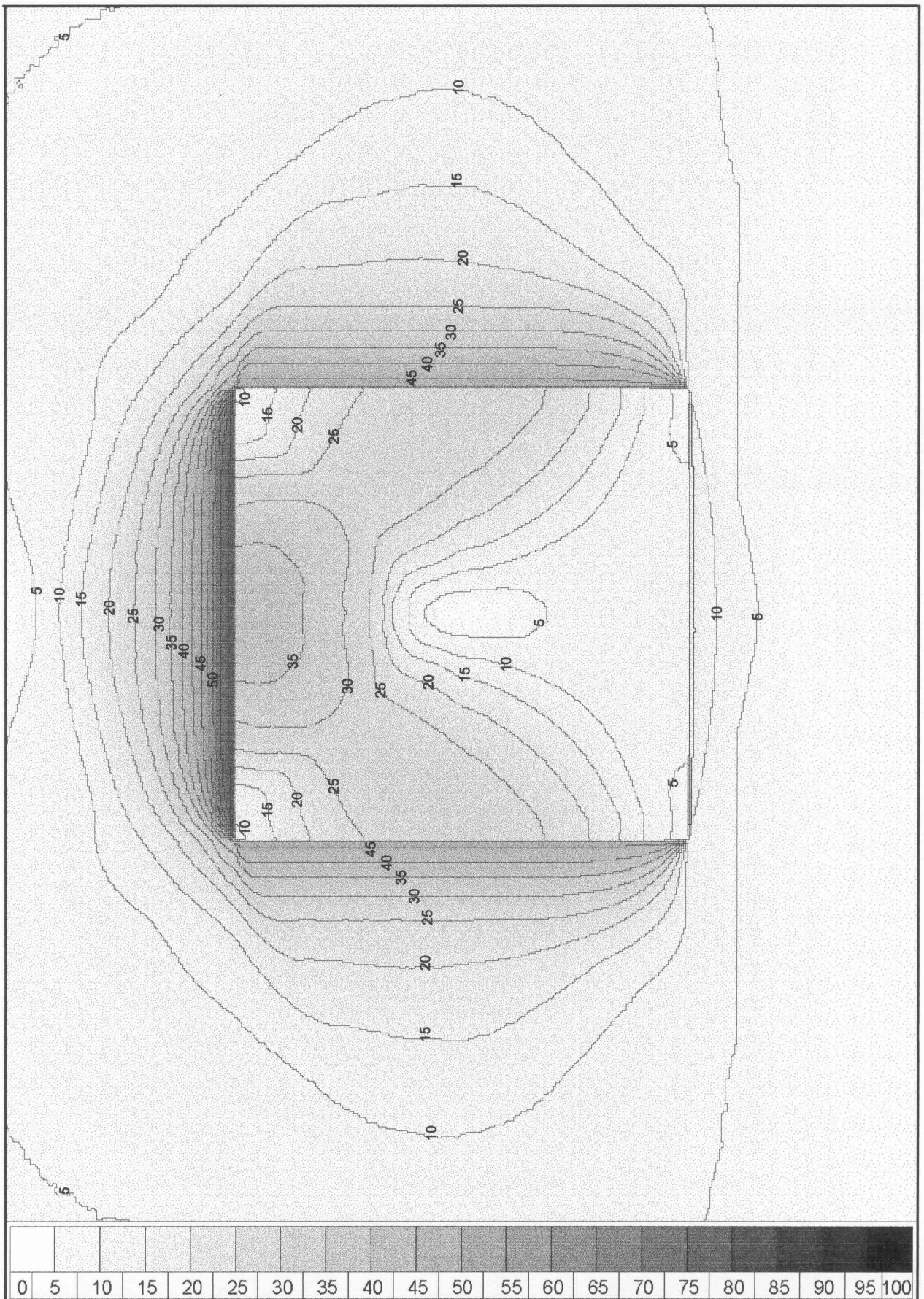




FIGURA 202: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS CLARABOYA EN LA UPV. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRIA,

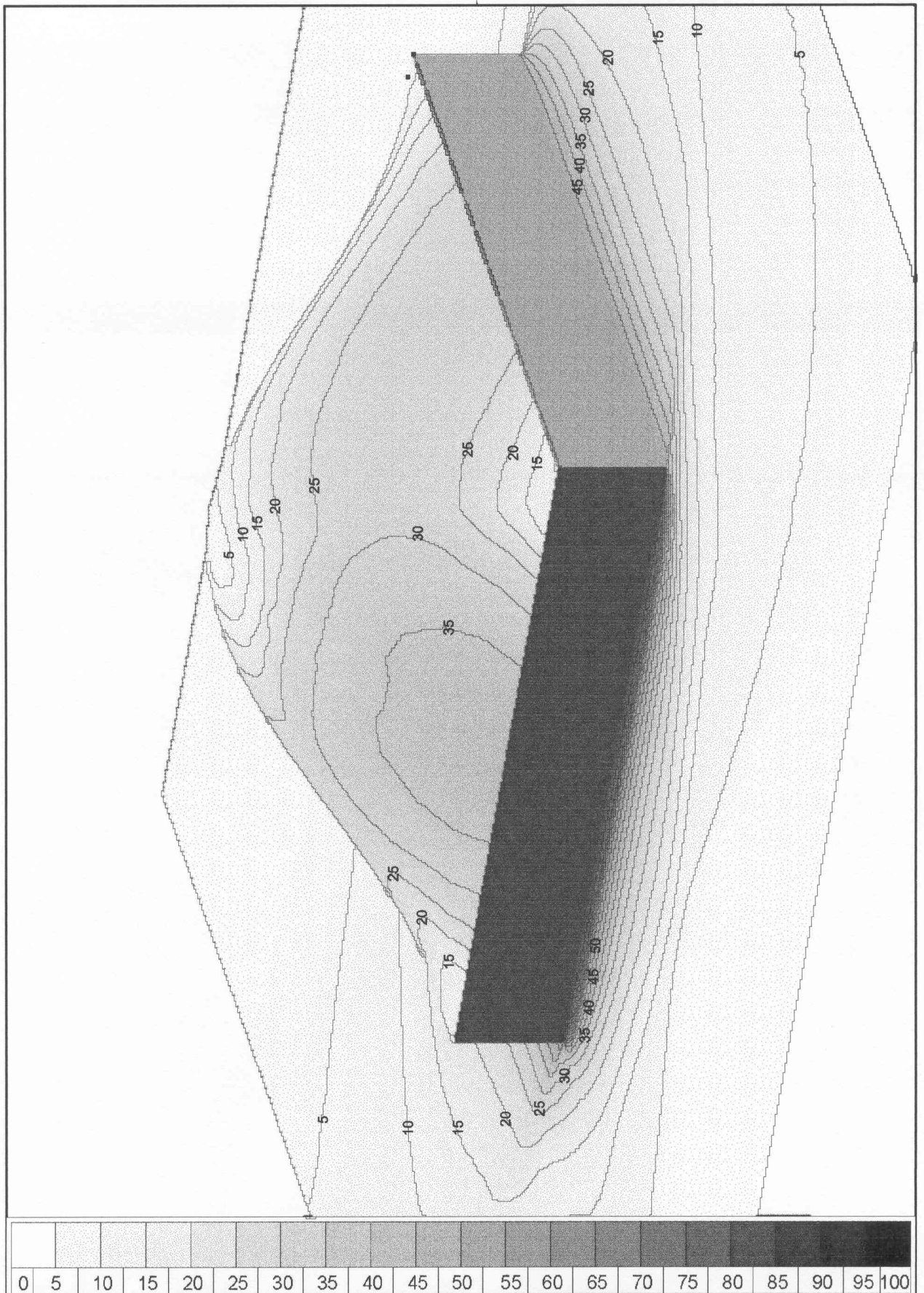






FIGURA 203: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTONICOS.  
CLARABOYA DE SUPERFICIE ESFERICA. ALZADO, PLANTA Y AXONOMETRÍA.

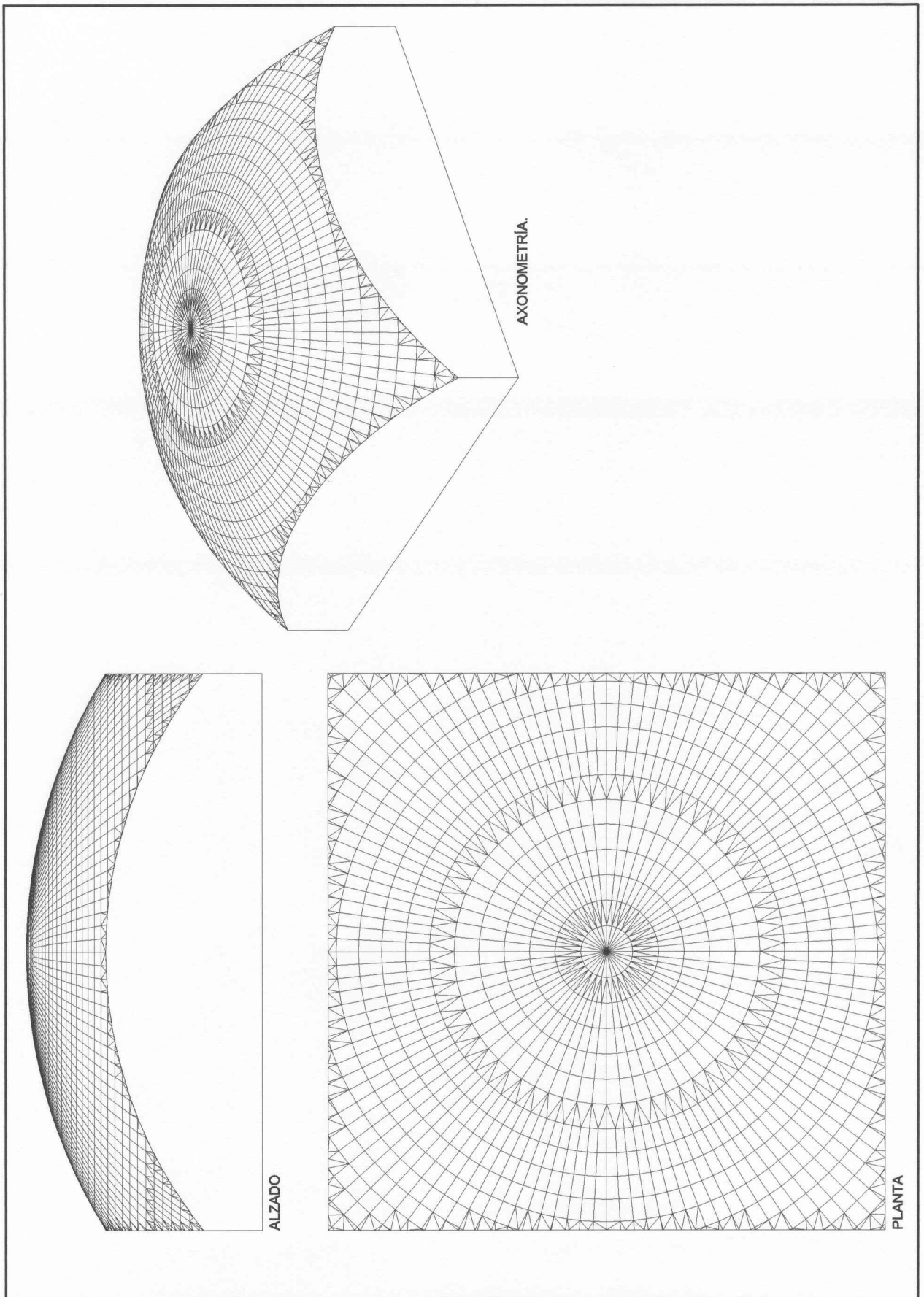




FIGURA 204: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTÓNICOS.  
CLARABOYA DE SUPERFICIE ESFERICA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.

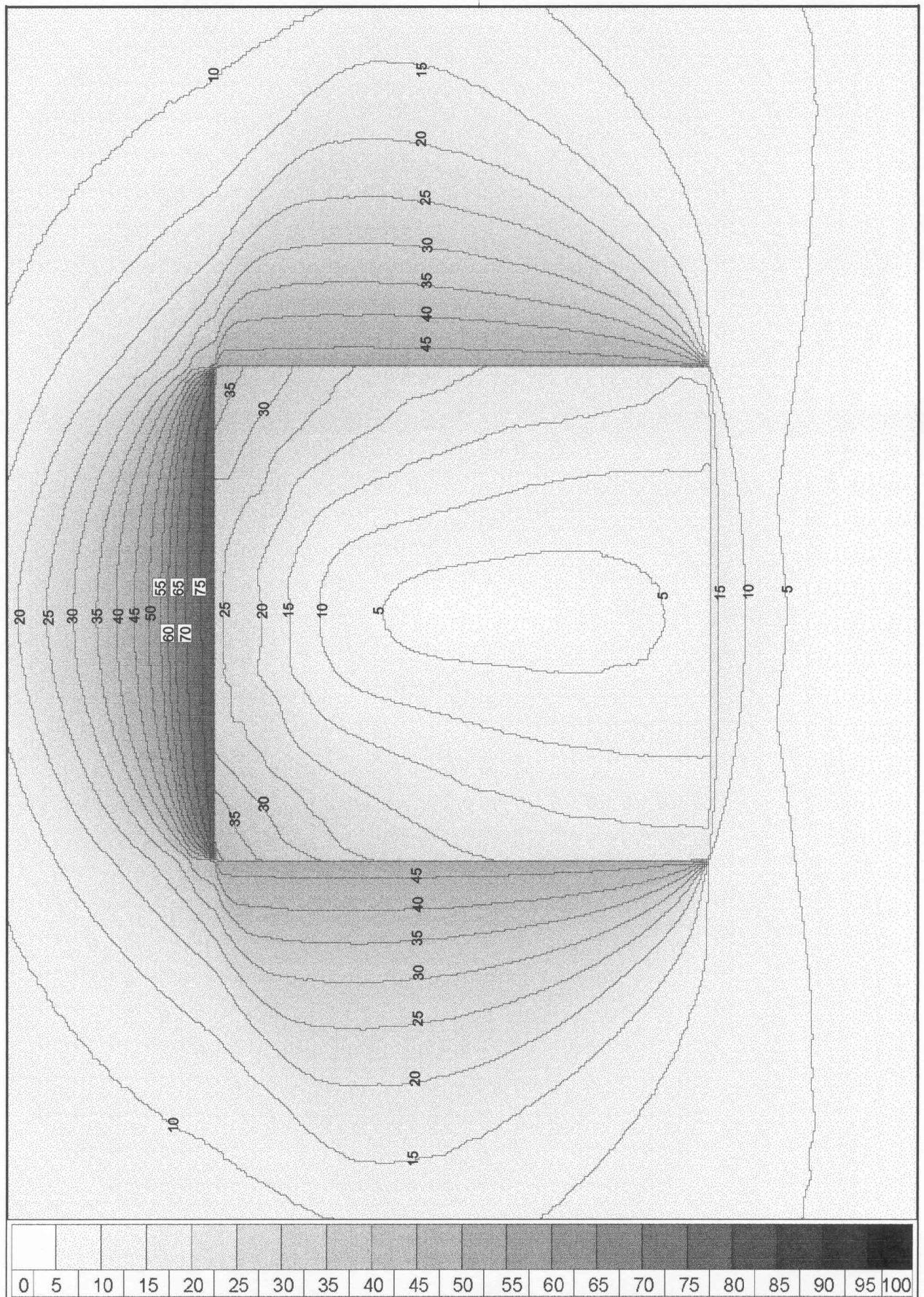




FIGURA 205: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTONICOS  
CLARABOYA DE SUPERFICIE ESFERICA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRIA 1.

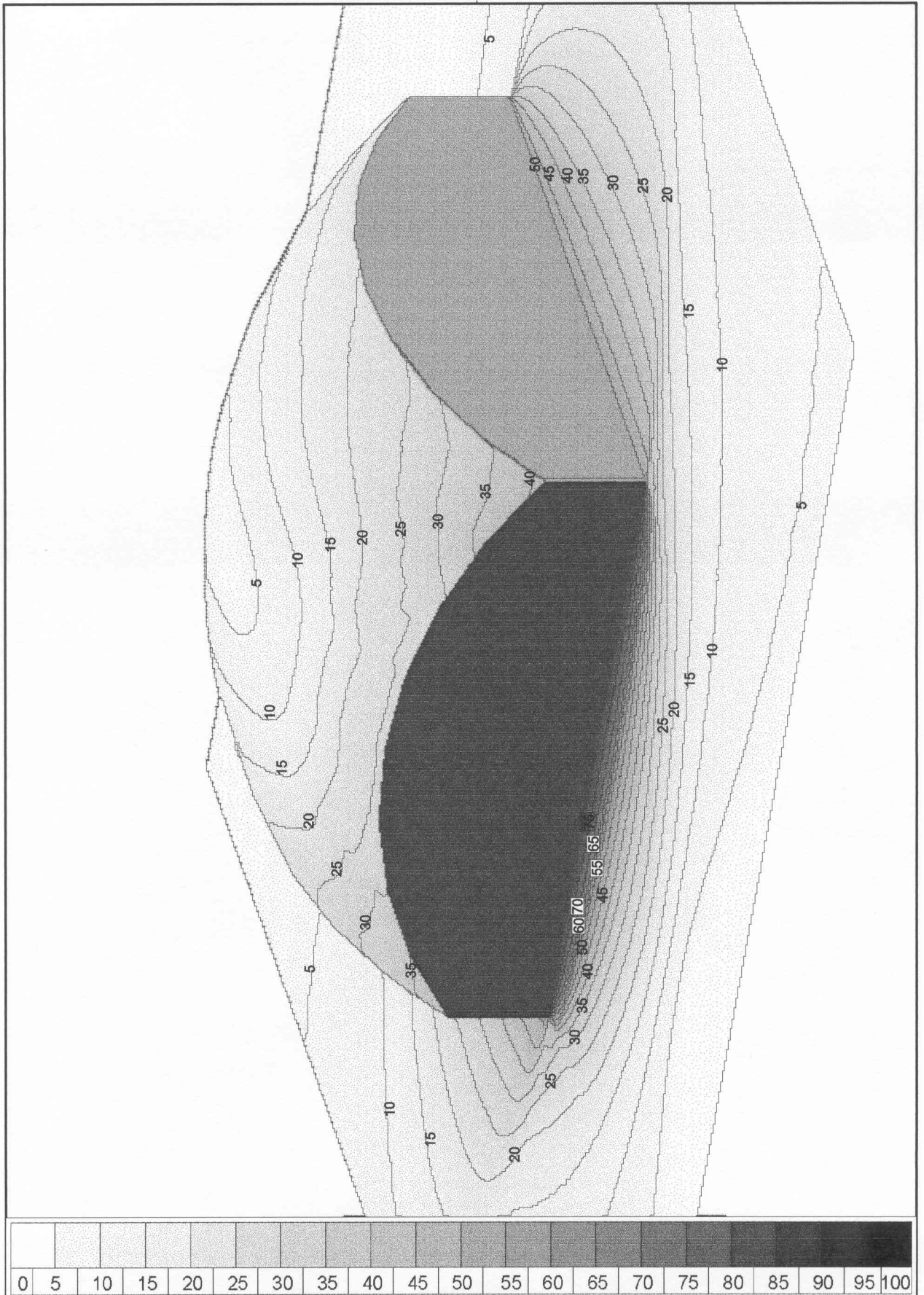
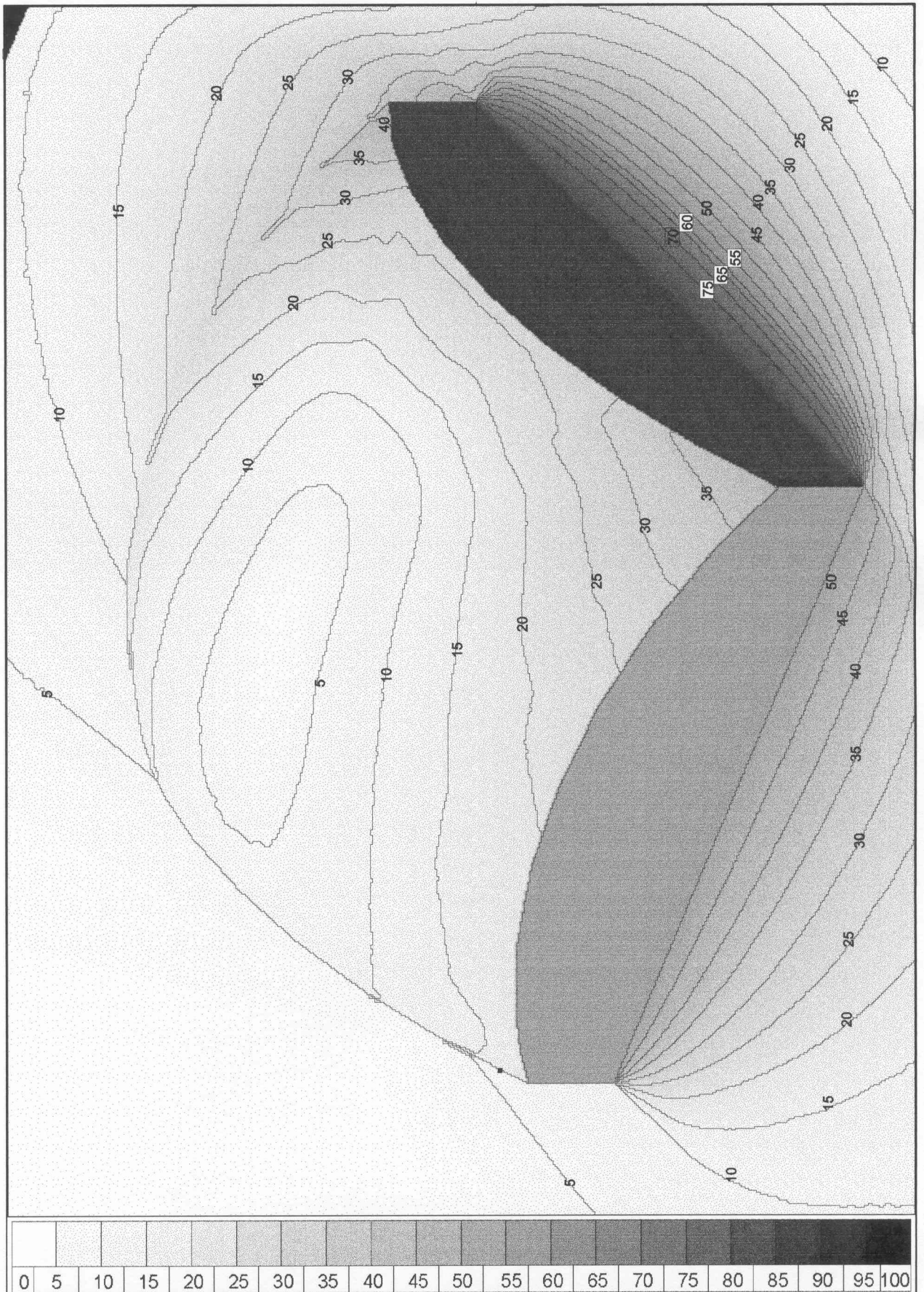






FIGURA 206: APLICACIONES A ELEMENTOS ARQUITECTONICOS  
CLARABOYA DE SUPERFICIE ESFERICA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRIA 2.







### 5.3. Aplicaciones al mobiliario urbano

Determinados elementos de mobiliario urbano tienen como finalidad la defensa de las inclemencias meteorológicas y de la radiación solar. De tamaño intermedio entre el detalle arquitectónico y el edificio, sin tener la entidad de éste, se trata en general de cubiertas, toldos y marquesinas, instaladas en espacios exteriores públicos o privados.

Su función, además del control de la escala en los espacios abiertos, es la creación de espacios cubiertos, protegidos de la radiación solar, que en los climas mediterráneos puede resultar excesiva durante el verano.

Dichos elementos de mobiliario urbano, en el caso de que se encuentren en jardines o zonas verdes, pueden tener como superficie de defensa al sol, las hojas de determinadas especies vegetales, como parras y enredaderas, o bien estar flanqueados con arbolado de hoja caduca, que permite la entrada del sol de invierno e impide la entrada del sol de verano.

Respecto de su comportamiento al sol, el caso del toldo o de la marquesina es el contrario de la claraboya, dado que es tanto más eficiente cuanto mayor sea el tiempo que los puntos que se encuentran bajo él se encuentran en sombra.

Su eficiencia a la hora de arrojar sombra está condicionada por su forma y dimensiones, y cuando son horizontales por su altura. Con el fin de corregir desviaciones en su funcionamiento y permitir la adaptación a las distintas posiciones que ocupa el sol a lo largo del día, es habitual que cuenten con mecanismos que permitan variar su forma.

#### 5.3.1. Cubierta textil en el Real Club Náutico de Valencia

En el presente punto se propone el estudio de la eficiencia de un sistema de cubiertas textiles instaladas en el Real Club Náutico de Valencia, cuya función es dar sombra a la terraza del bar.

La cubierta consta de seis paraboloides hiperbólicos de planta cuadrada de 6m. de lado, con una diferencia de cota de 1 m. entre vértices, dispuestos en dos filas y tres columnas, coincidiendo la dirección norte con la fila. La superficie total cubierta por los paraboloides es 216 m<sup>2</sup>.

La posibilidad de variar la cota de los vértices de los paraboloides permite modificar la geometría de la cubierta, alterando la permeabilidad de la misma a los vientos y a la incidencia solar. En este caso se ensayan dos alternativas de colocación. En la primera alternativa de colocación todos los paraboloides tienen la misma posición, quedando opuestos los vértices de misma cota sobre los soportes centrales. En la segunda alternativa la posición de los paraboloides es simétrica respecto de la línea central de soportes, siendo contiguos los vértices de igual cota.



fig. 207: CUBIERTAS TEXTILES EN EL REAL CLUB NAUTICO DE VALENCIA.

La obtención de un mapa de sombras de la cubierta en planta suministraría información sobre los periodos en que los puntos de la cubierta reciben radiación solar, pero esta información no es relevante, dado que el objeto del análisis de la cubierta es conocer los periodos en que los puntos del plano horizontal bajo la cubierta se encuentran en sombra. Para estudiar los periodos de incidencia solar sobre el plano horizontal se han obtenidos los mapas de sombras correspondientes a una sección a 10 cm. de altura sobre el plano horizontal.

En la figura 208 y 209 se define la geometría de la cubierta, en planta alzado y una axonometría general, incluyendo la edificación circundante. En la figura 210 y 211 se muestran dos axonometrías en las que se detallan las dos alternativas de colocación estudiadas y en las figuras 212 y 213 se muestran en planta los mapas de sombras correspondientes a las dos alternativas de colocación.

De la comparación de los mapas de sombras correspondientes a las dos posiciones se deduce que ambas dan un buen nivel de sombra, con el 80% de la superficie cubierta en sombra un intervalo superior al 50% del tiempo disponible de soleamiento en el periodo anual. La posición 1 es algo más favorable que la posición 2, dado que la línea que encierra puntos con un factor de obstrucción superior a  $F=0.75$  ocupa una superficie algo mayor en la posición 1. Dado que ambas posiciones son igualmente aptas para la defensa al Sol, las opciones de colocación pueden hacerse en función de otros parámetros ambientales como, por ejemplo, la dirección predominante de las brisas marinas.

FIGURA 208: APLICACIONES AL MOBILIARIO URBANO.  
CUBIERTAS TEXTILES EN EL REAL CLUB NAUTICO DE VALENCIA. PLANTA Y ALZADO.

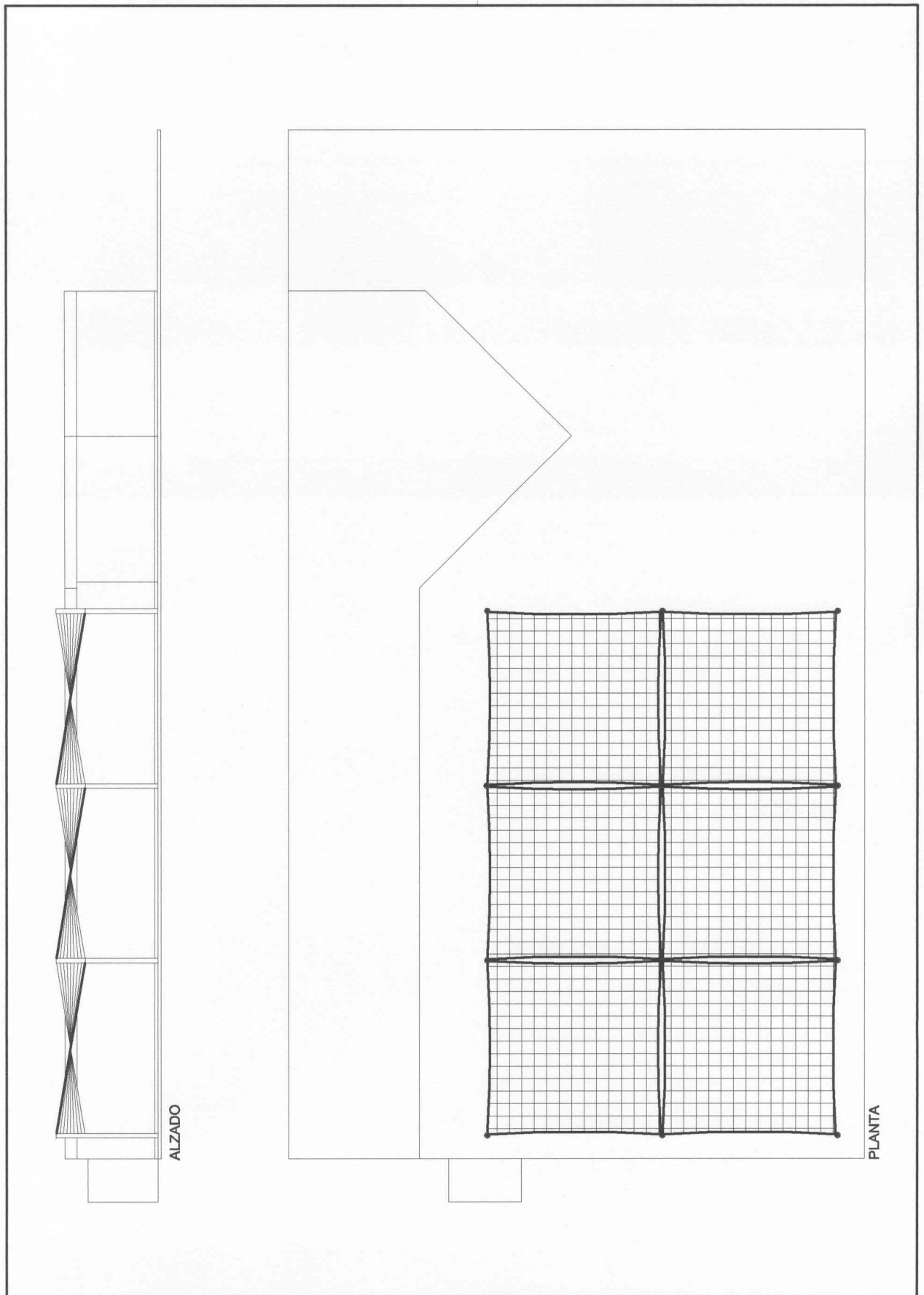




FIGURA 209: APLICACIONES AL MOBILIARIO URBANO.  
CUBIERTAS TEXTILES EN EL REAL CLUB NAUTICO DE VALENCIA. AXOMOMETRÍA.

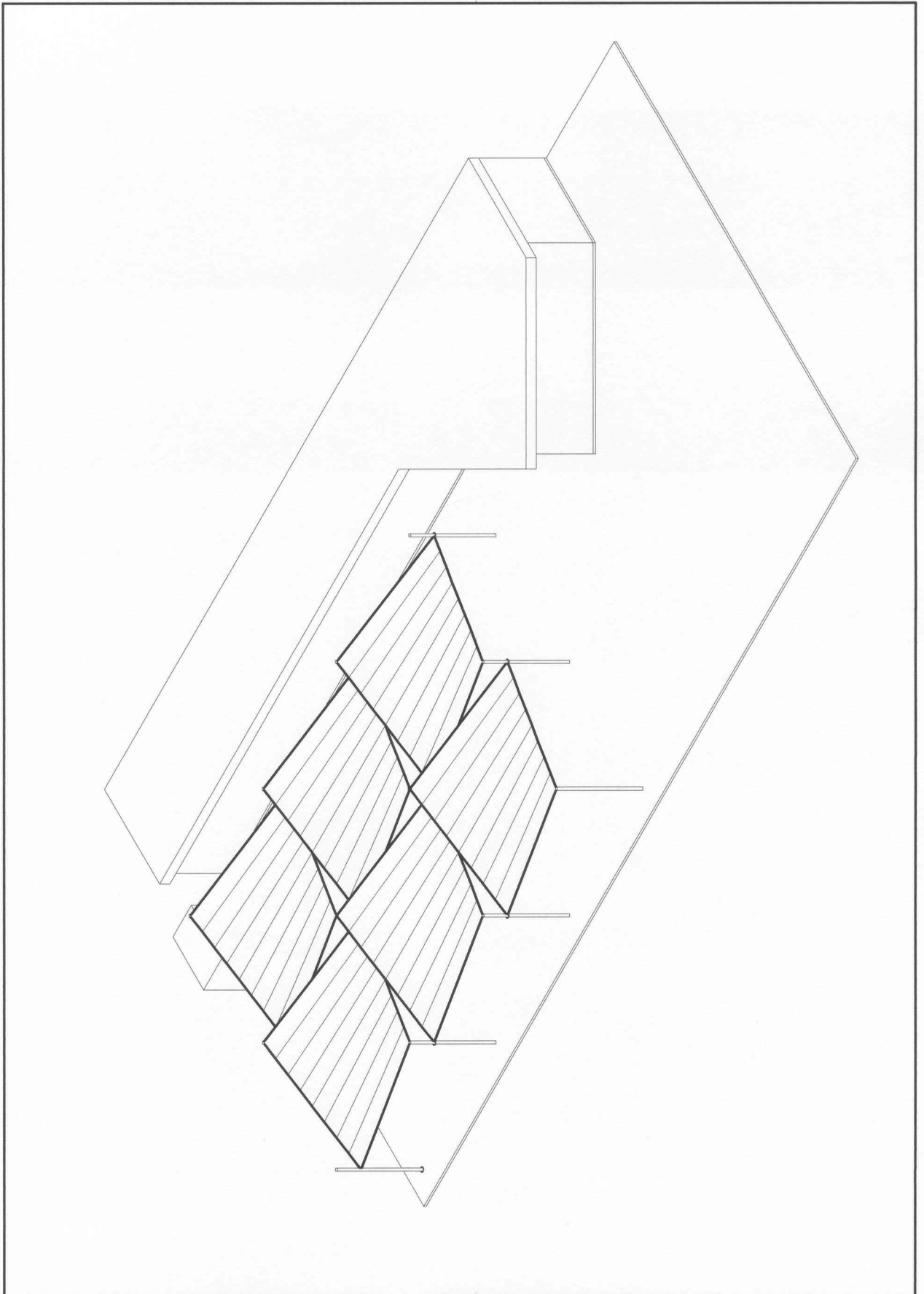




FIGURA 210: APLICACIONES AL MOBILIARIO URBANO.  
CUBIERTAS TEXTILES EN EL REAL CLUB NAUTICO DE VALENCIA. POSICION 1. AXOMOMETRÍA.

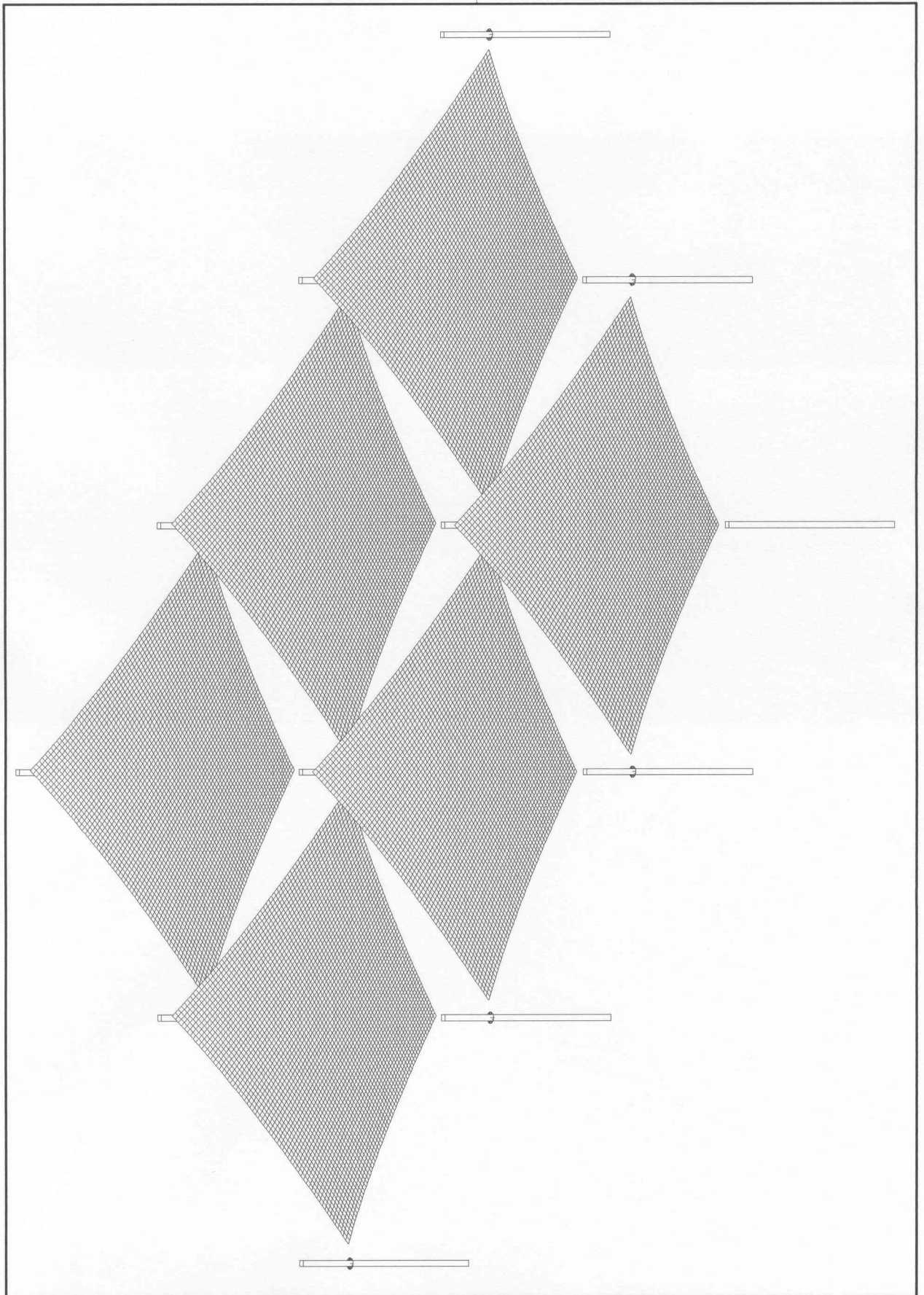






FIGURA 211: APLICACIONES AL MOBILIARIO URBANO.  
CUBIERTAS TEXTILES EN EL REAL CLUB NAUTICO DE VALENCIA. POSICION 2. AXOMOMETRÍA.

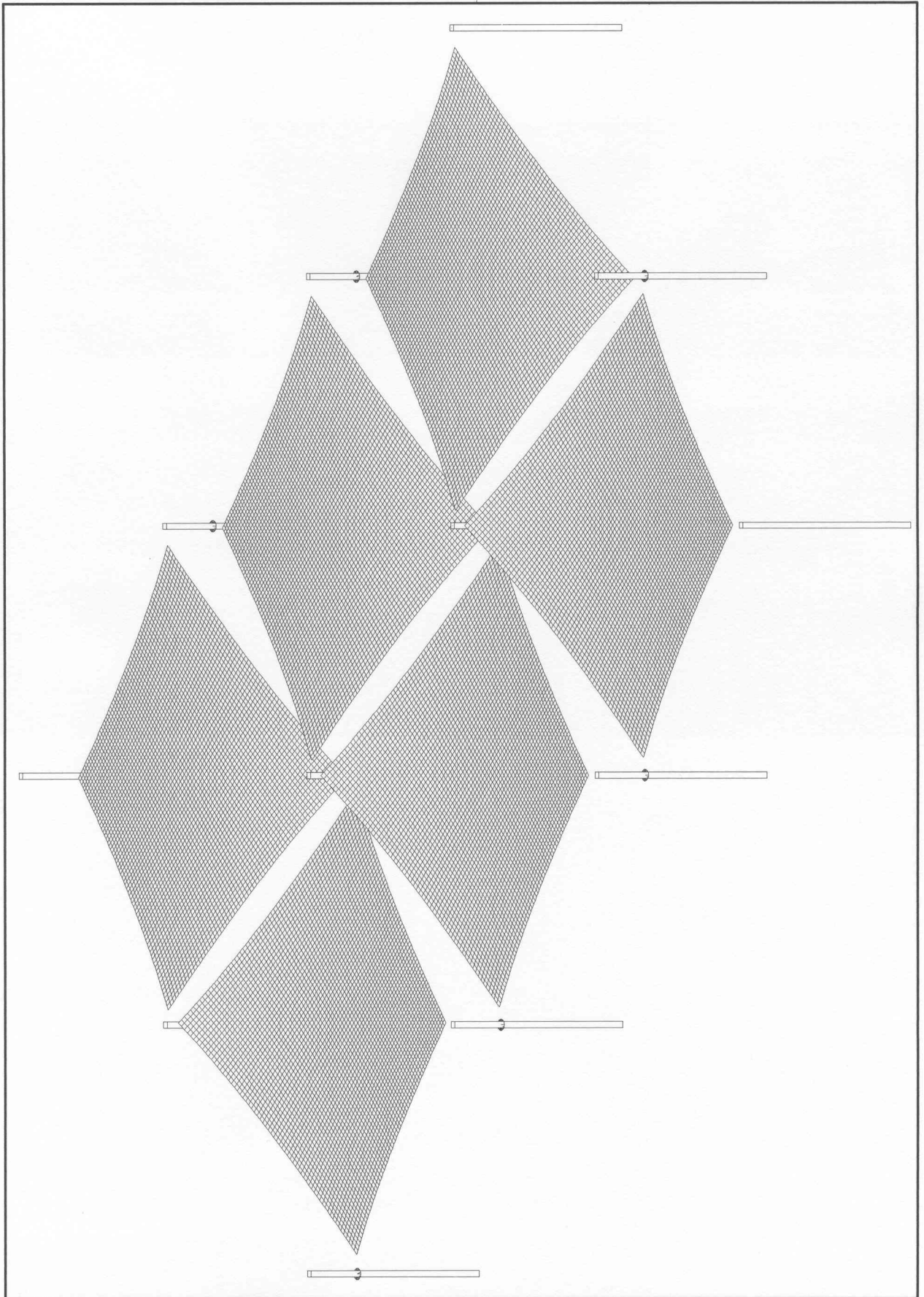




FIGURA 212: APLICACIONES AL MOBILIARIO URBANO.  
 CUBIERTAS TEXTILES EN EL REAL CLUB NAUTICO DE VALENCIA. POSICIÓN 1. MAPA DE SOMBRAS.

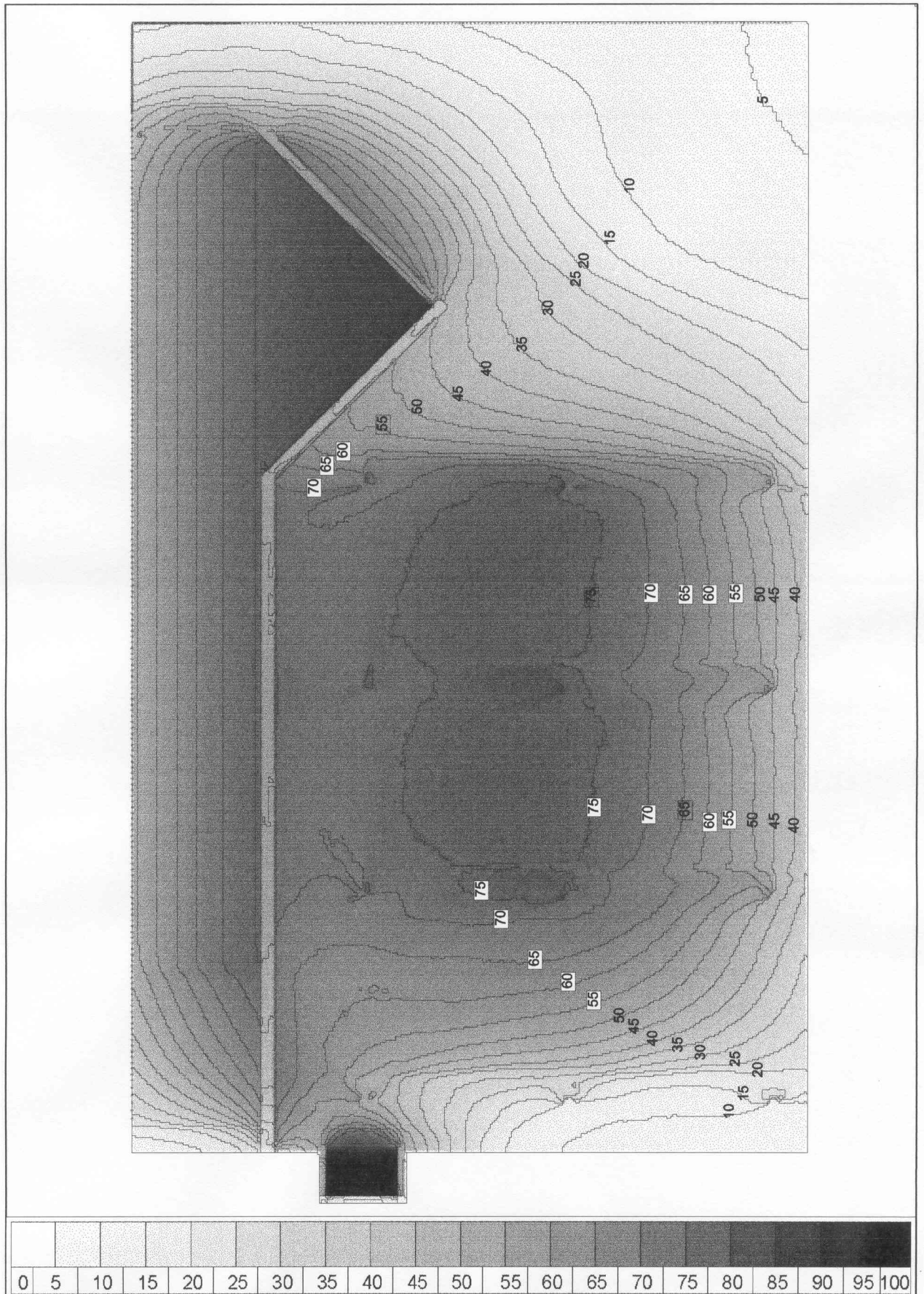
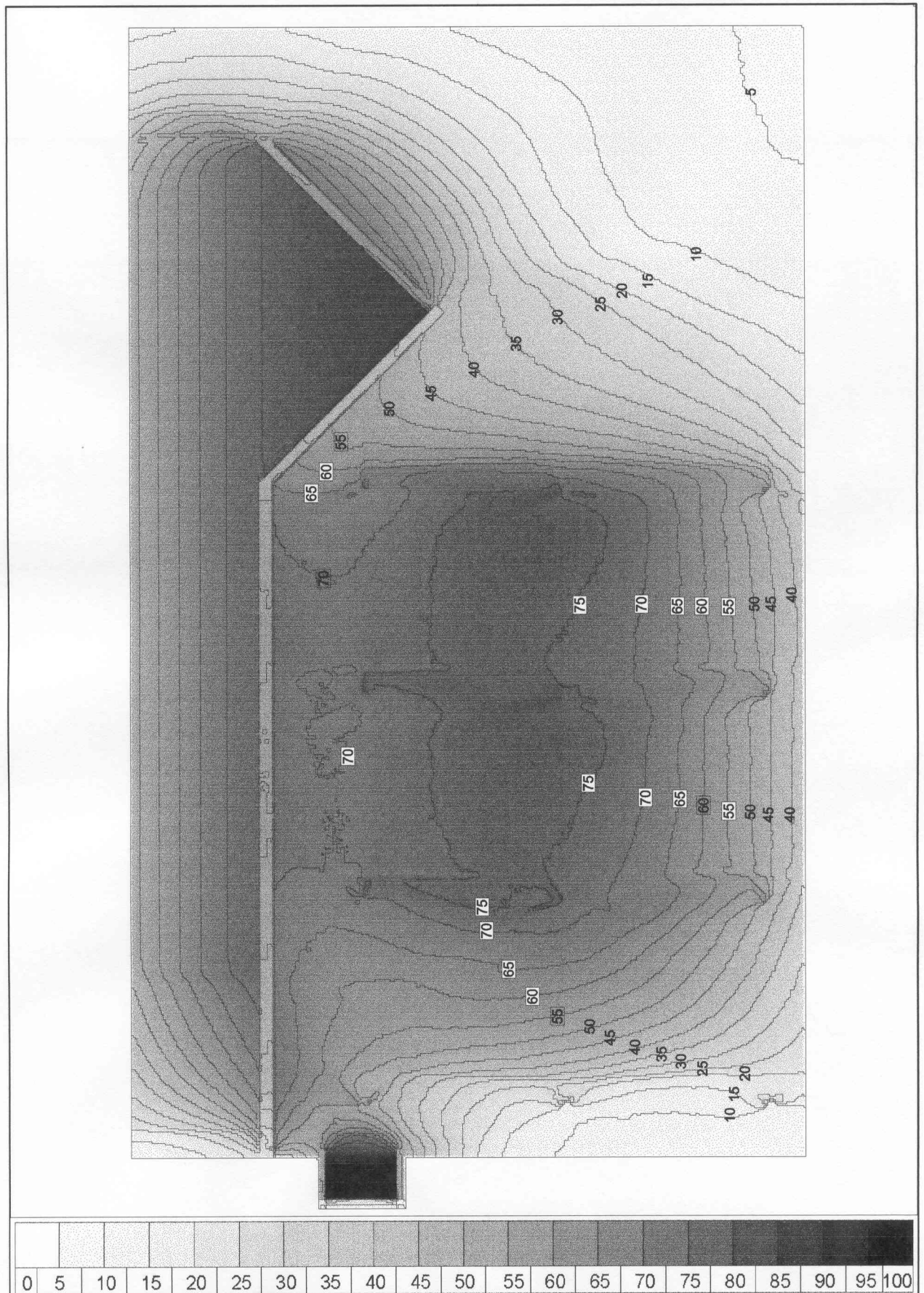




FIGURA 213: APLICACIONES AL MOBILIARIO URBANO. CUBIERTAS TEXTILES EN EL REAL CLUB NAUTICO DE VALENCIA. POSICIÓN 2. MAPA DE SOMBRAS.







## 5.4. Aplicaciones al planeamiento urbanístico

El estudio del soleamiento en entornos urbanos requiere de un análisis previo de los factores que lo condicionan. Las coordenadas geográficas del lugar y de ellas; la latitud, condiciona la posición de las trayectorias solares sobre la bóveda celeste del lugar, pero cabe entender que la situación geográfica de un núcleo urbano es un dato de partida, sobre el cual no se puede intervenir.

De entre los factores que sí son modificables por la actividad humana, el factor fundamental que condiciona la duración de los periodos de incidencia de la radiación solar sobre un punto concreto situado en un entorno urbano es la configuración y tipología de la trama urbana en la que se encuentra, dado que en este caso son las propias edificaciones las que producen las obstrucciones solares al arrojar sombras.

Atendiendo a las tipologías de trama urbana, la evolución cronológica de la forma de la ciudad ha conseguido una progresiva mejora en las condiciones de soleamiento. La forma de los centros urbanos de traza romana o medieval estaba definida por condiciones funcionales, como la defensa.

En el caso de las ciudades de origen árabe, su traza impide la excesiva incidencia de la radiación solar, utilizando para ello mecanismos como la proximidad, o la irregularidad en el trazado. Dichos modelos de forma urbana son en general poco eficientes a efectos de la adecuada recepción del soleamiento.

El siglo XIX, propone dos modelos de intervención en la trama urbana con unos criterios más próximos a las necesidades de soleamiento: la reforma interior y el ensanche. La reforma interior plantea la necesidad del derribo y posterior reconstrucción de determinadas partes de la trama urbana. Bajo este criterio, las secciones de viario resultan más amplias, mejorando la insolación sobre las fachadas.

El ensanche permite la creación de zonas urbanas de nueva planta, mediante la definición de una red viaria ortogonal y jerarquizada, y la construcción de manzanas con patios interiores. Los modelos de forma urbana del siglo XIX suponen una mejora en las condiciones de soleamiento, aunque no resuelven las cuestiones derivadas de la orientación. El modelo de manzana cerrada propone viviendas orientadas a sus cuatro lados, lo que implica necesariamente que unas viviendas gocen de mejor orientación que otras.

El siglo XX propone nuevos modos de crear ciudad, considerando la implantación, la orientación de las edificaciones, su separación y su altura como parámetros que condicionan la recepción adecuada de la radiación solar sobre las fachadas y los espacios abiertos a cota cero. El ideario del nuevo urbanismo, fue recogido en la Carta de Atenas, documento programático del Congreso Internacional de Arquitectura Moderna (CIAM) celebrado en Atenas en 1930.

El análisis del soleamiento en entornos urbanos está centrado en la evaluación de la insolación recibida en los espacios libres a cota cero, y sobre las superficies de las edificaciones; fachadas, patios interiores y cubiertas. En general las obstrucciones solares en los entornos urbanos están producidas por las propias edificaciones y en el caso concreto de determinadas ciudades; por la topografía.

Con el fin de evaluar las posibilidades de la obtención de mapas de sombras se propone el análisis de cuatro modelos distintos en función de su morfología. En todos ellos se propone la evaluación de la cantidad de horas sol/año recibidas sobre las superficies del modelo.

Del ensanche de Barcelona, que resultó modélico en su momento, se propone el estudio de tres propuestas diferentes, donde se pretende evaluar cómo el sucesivo incremento de la edificabilidad, resulta perjudicial para las condiciones de soleamiento.

El estudio de la Plaza de Toros de Valencia se aborda, no tanto por analizar la trama urbana en la que se inserta, sino por las condiciones de soleamiento que el entorno impone sobre el equipamiento urbano; con unas necesidades concretas de soleamiento vinculadas a su función. En este caso se procede al estudio de las condiciones anuales de soleamiento, particularizando también el estudio para fechas y horas concretas.

Como ejemplo de modelo de trama urbana de nueva creación se propone el estudio del Programa de Actuación Integrada de Ademuz, una zona de expansión urbana de nueva construcción con edificación abierta, en la que puede constatarse que condiciones de elevada densidad, con desarrollos en altura resultan en general perjudiciales para las condiciones de soleamiento.

Resulta de interés en el estudio del soleamiento en entornos urbanos el análisis de la variación de las condiciones de insolación cuando se construyen nuevas edificaciones, o cuando se derriban algunas de las existentes. El último punto del presente apartado se dedica al estudio de las posibilidades de los mapas de sombras para analizar el impacto de estas variaciones de la configuración urbana.

Respecto de la delimitación espacial de los modelos analizados, es necesario considerar que todos los edificios capaces de arrojar sombras sobre el área de estudio deben ser incluidos en el modelo geométrico que produce las sombras. Los límites del área de estudio pueden definirse a partir de un cono de pendiente  $5^\circ$  centrado en el elemento a estudiar; de tal modo que cuando la altura de las generatrices del cono dejan de interceptar a las edificaciones; éstas dejan de ser necesarias para el estudio de las sombras arrojadas.



### 5.4.1. Las propuestas de Ildefonso Cerdá para el ensanche de Barcelona

En la segunda mitad del siglo XIX, el crecimiento demográfico de los centros urbanos, y la creciente demanda de alojamiento que genera, plantea la necesidad de encontrar nuevos modelos de crecimiento urbano, que en continuidad con los centros históricos hagan la ciudad más extensa.

El modelo de crecimiento adoptado por excelencia en el sur de Europa fue el llamado Ensanche. Tras el derribo de las murallas que generalmente delimitaban el perímetro urbano, la ocupación del espacio circundante se produce mediante la implantación de una trama ortogonal, que sirve de eje a la red viaria. Las parcelas delimitadas por la red viaria son ocupadas por la edificación, que deja en su interior un espacio dedicado a patio de luces.

El modelo de Ensanche, además de permitir el crecimiento ordenado de la ciudad, mediante una relación adecuada entre la disposición de la edificación y la red viaria, introduce nuevos valores en el concepto de vivienda digna. Entre ellos, la necesidad de las ventilaciones cruzadas y la iluminación interior de las mismas mediante luz natural.

La propuesta de Ildefonso Cerdá para el Ensanche de Barcelona<sup>25</sup> data de 1859, y propone una trama ortogonal cuadrada de unos 130 m. de separación entre ejes de viario, cuyas direcciones permiten una cierta continuidad respecto del viario del centro histórico. También se plantea un sistema de jerarquía en la red viaria, con viarios de más anchura, no sujetos a las direcciones predominantes (como la Diagonal) y otros con orientaciones canónicas (como el Paralelo y la Meridiana.)

En su primera propuesta la edificación, en forma de bloques lineales, ocupa dos lados opuestos de la manzana, dejando los otros dos laterales como acceso a una zona verde interior. La edificación, con una altura de cinco plantas, se dispone en las manzanas contiguas alternando su dirección para cerrar espacios, o bien se dispone en línea para generar corredores verdes.

Esta primera propuesta, tal vez un tanto utópica dada su baja edificabilidad, no se llevó a cabo debido a la presión del precio del suelo. Una segunda propuesta eleva la edificabilidad a más del doble y propone la construcción en los cuatro lados de la manzana, que queda cerrada con chaflanes en las esquinas, e incrementa la altura de la edificación al menos en una planta más.

Cuando se inició el desarrollo de la propuesta de Ensanche la altura de la edificación se aumentó, se añadieron áticos retranqueados respecto de la fachada en las plantas superiores, variando también la profundidad edificada.

---

<sup>25</sup> MICHONNEAU, STÉPHANE. (2001). Barcelona: memòria i identitat. Ed. Eumo, Barcelona.

En el presente apartado se propone el estudio comparativo de las tres soluciones sucesivas propuestas para el ensanche de Barcelona, analizando la pérdida de calidad que implica el aumento de la edificabilidad en las condiciones de soleamiento.

Dado que el estudio de soleamiento a realizar sobre las distintas propuestas para el Ensanche, se encuentran en Barcelona, será necesario modificar el archivo informático que reproduce el movimiento solar para el periodo anual, adaptándolo a las coordenadas geográficas del lugar. Éstas son:

B: (41°24' N, 2°09' E)

En la figura 214 se muestran las plantas y los alzados de las tres propuestas, junto con una axonometría de las mismas. En las figuras 215, 216 y 217 se muestran los mapas de sombras correspondientes a las plantas de las tres propuestas, y en las figuras 218, 219 y 220 se muestran los mapas de sombras en proyección axonométrica correspondiente a las tres propuestas.

En las figuras 221 y 222 se muestran los mapas de sombras correspondientes al alzado y la sección sureste de las tres propuestas y en las figuras 223 y 224 se muestran los mapas de sombras correspondientes al alzado y la sección suroeste de las tres propuestas.

Del estudio comparativo de las tres propuestas cabe destacar que la primera tiene unas buenas condiciones de soleamiento, tanto en el espacio a cota cero entre la edificación, como sobre las fachadas de la misma.

En las propuestas segunda y tercera puede comprobarse que el incremento de la edificabilidad redonda negativamente en la pérdida de horas sol/año sobre las fachadas que recaen a viario, pero fundamentalmente las pérdidas de soleamiento se producen en el patio interior. Las diferencias entre la segunda y la tercera propuesta se deben a la existencia de áticos, que reducen más todavía las horas de sol/año recibidas en el patio interior, aunque la pérdida importante en la calidad de soleamiento se debe a la manzana cerrada, que propone viviendas a todas las orientaciones.

También cabe destacar la pérdida de horas sol/año en las fachadas de la planta baja en las propuestas segunda y tercera, llegando en la orientación suroeste a Valores del factor de obstrucción  $F = 0.7$ .

FIGURA 214: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO. EL PLAN CERDÁ. DEFINICIÓN DE LAS PROPUESTAS.

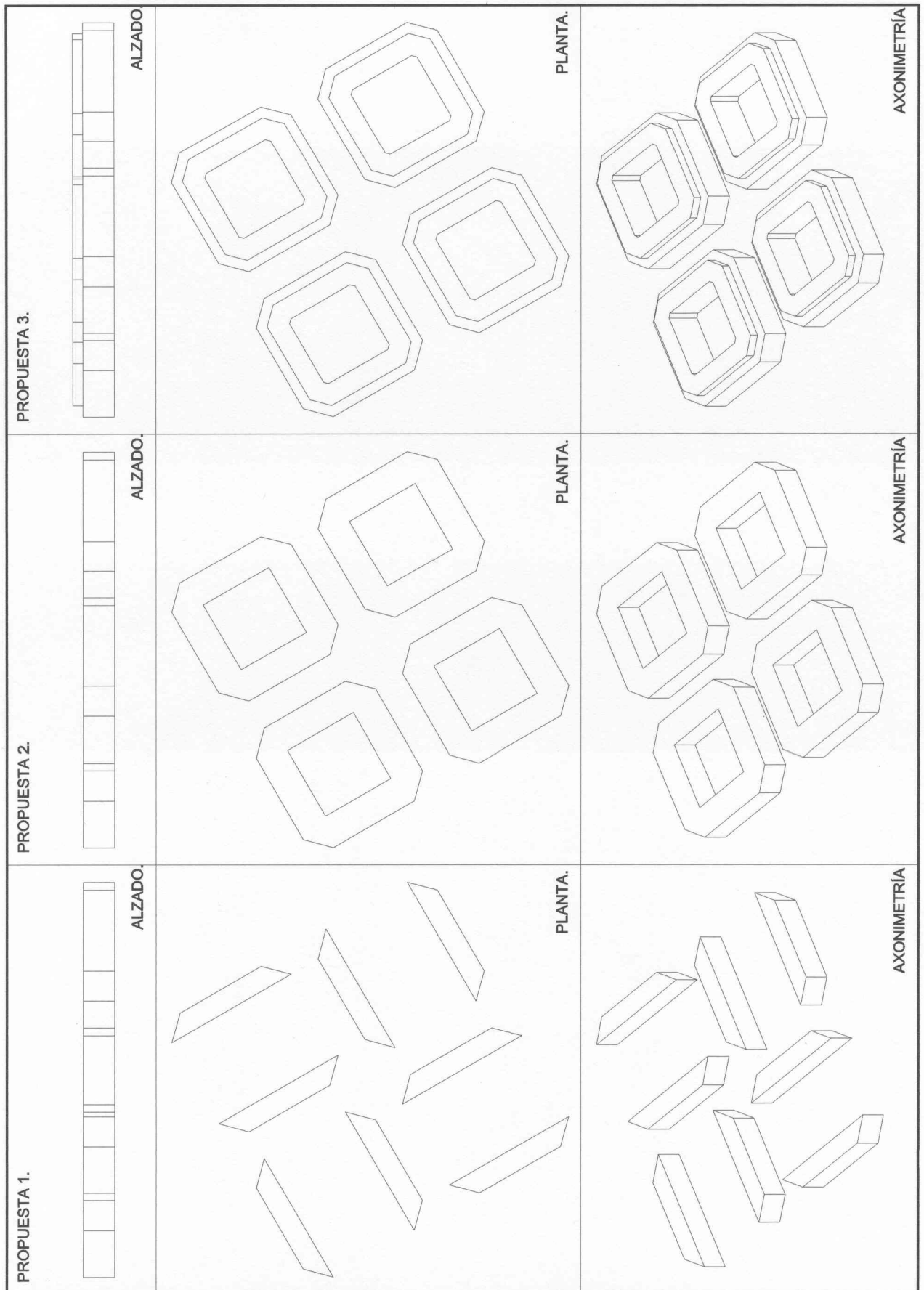




FIGURA 215: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO. EL PLAN CERDÁ. PROPUESTA 1. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.

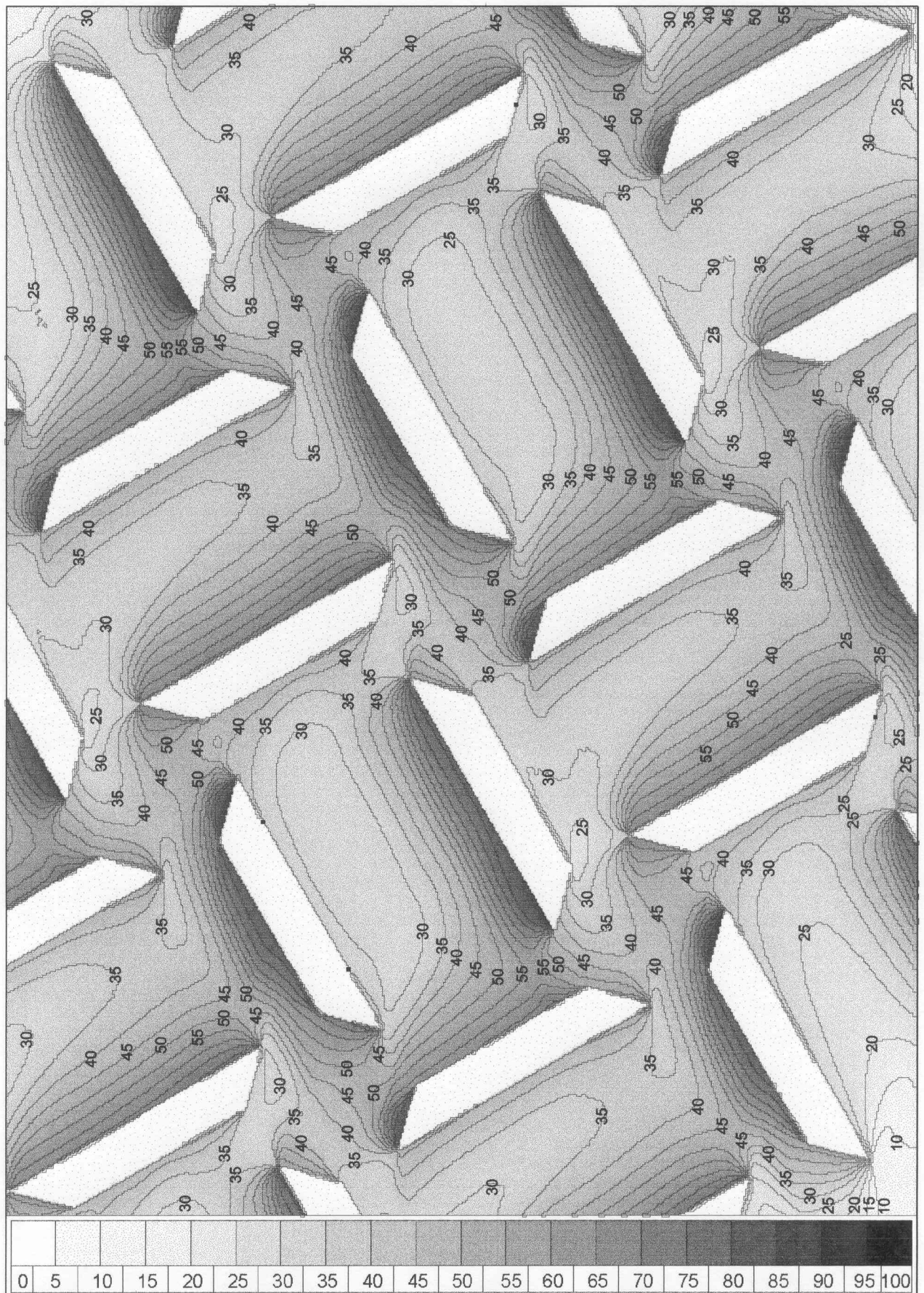






FIGURA 216: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO. EL PLAN CERDÁ. PROPUESTA 2. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.

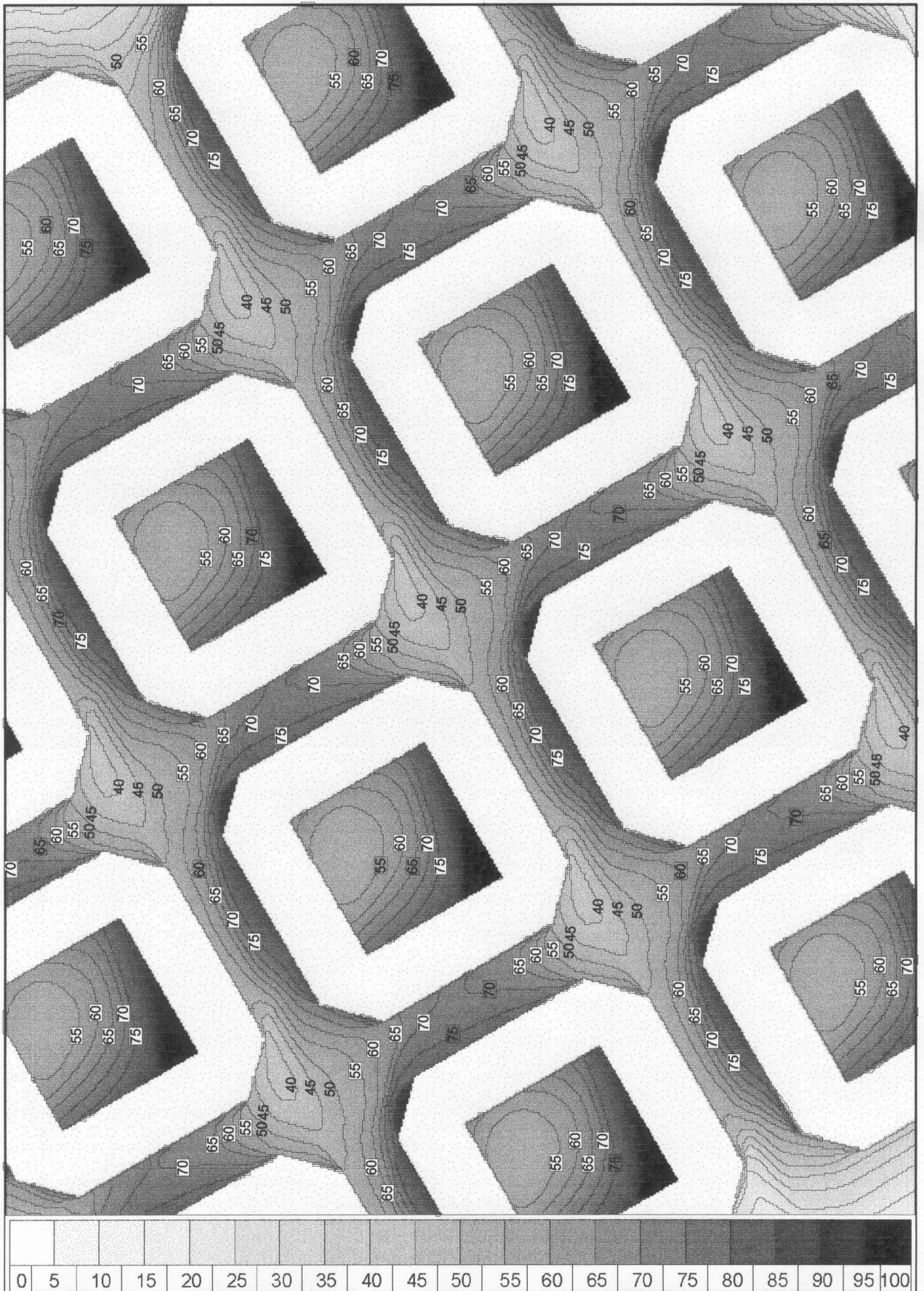






FIGURA 217: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO. EL PLAN Cerdá. PROPUESTA 3. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.

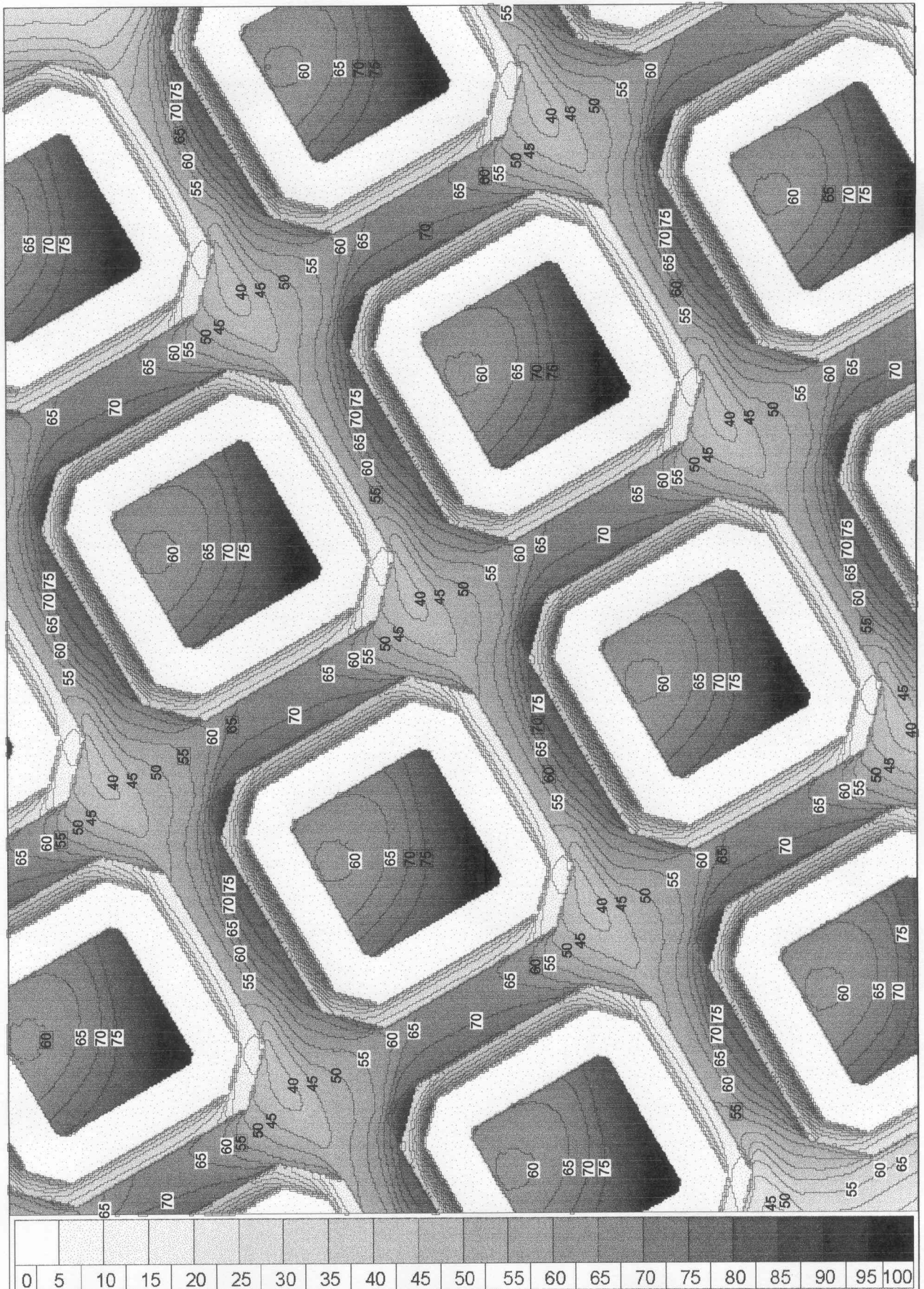




FIGURA 218: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PLAN CERDÁ. PROPUESTA 1. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.

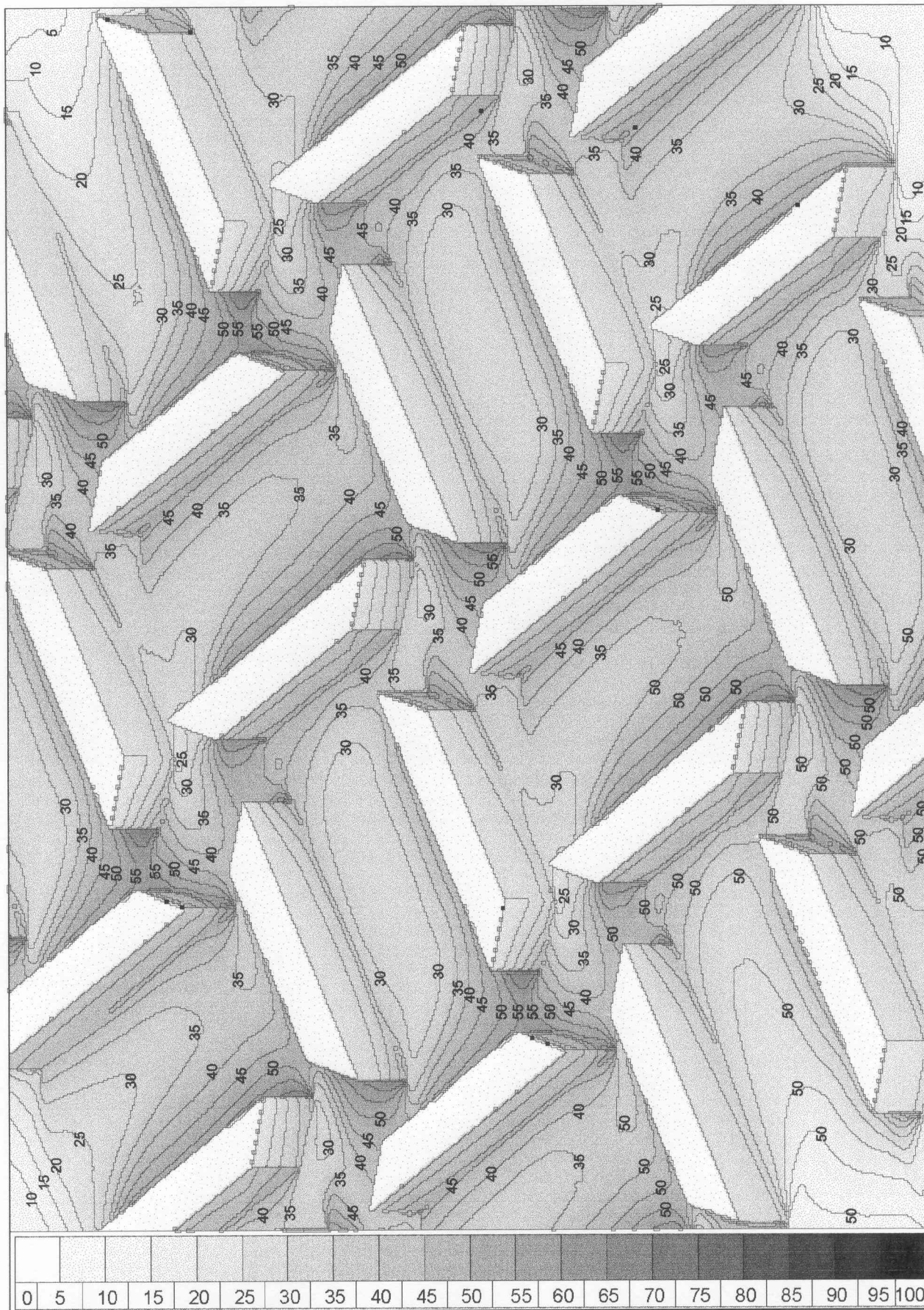






FIGURA 219: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PLAN CERDÁ. PROPUESTA 2. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.

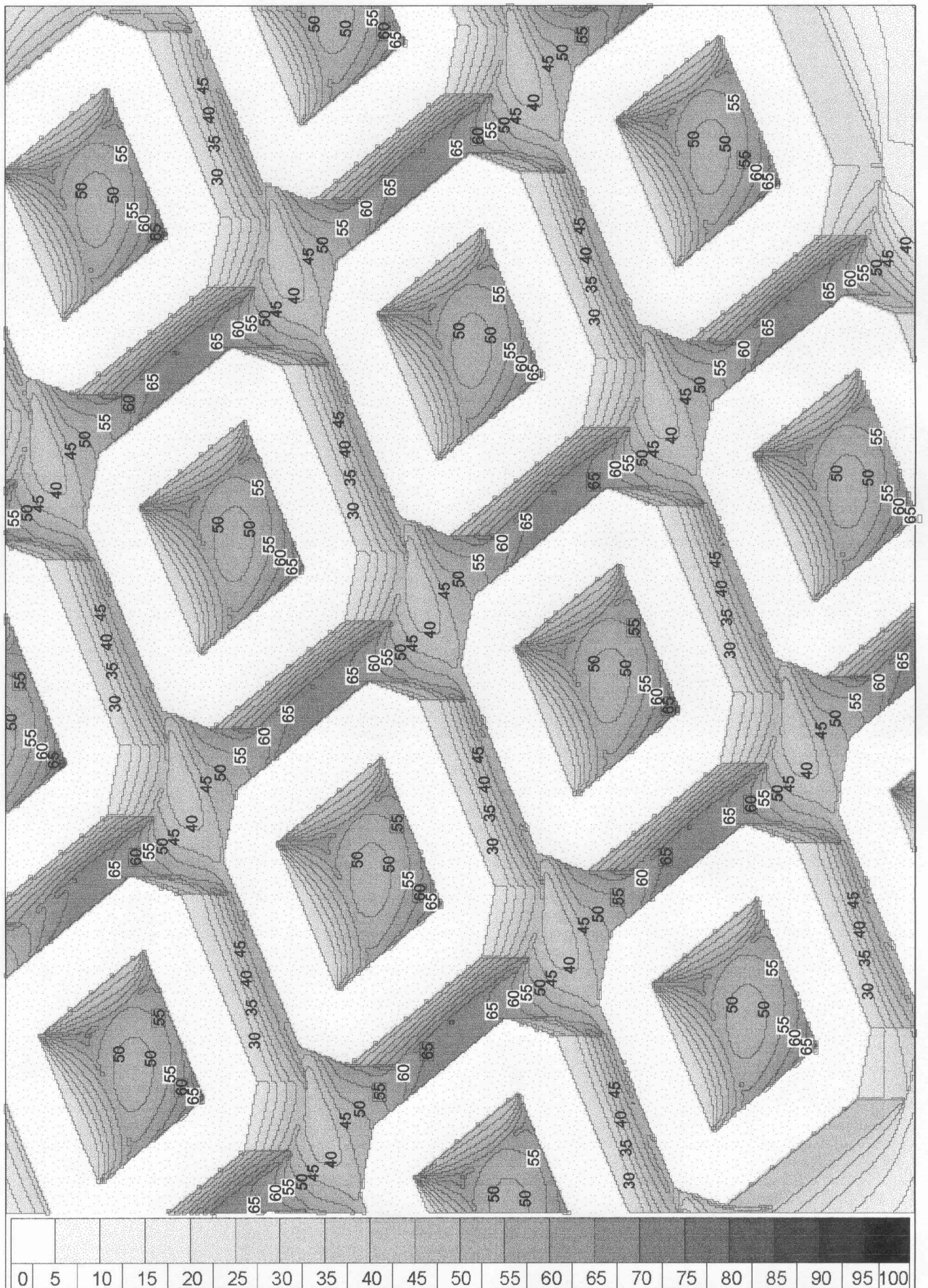




FIGURA 220: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PLAN Cerdá. PROPUESTA 3. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRIA.

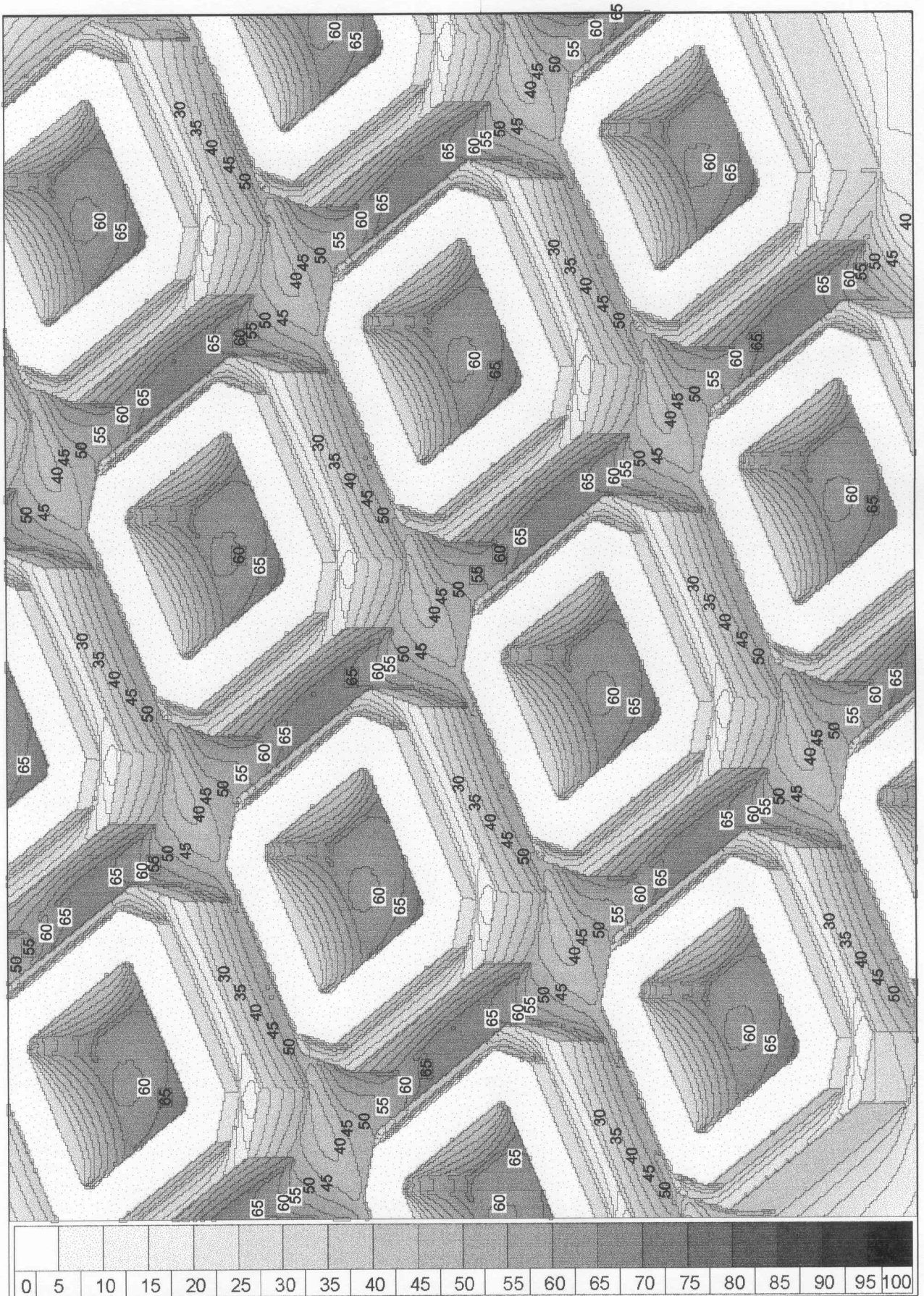






FIGURA 221: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PLAN CERDÁ. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO SURESTE. COMPARACIÓN.

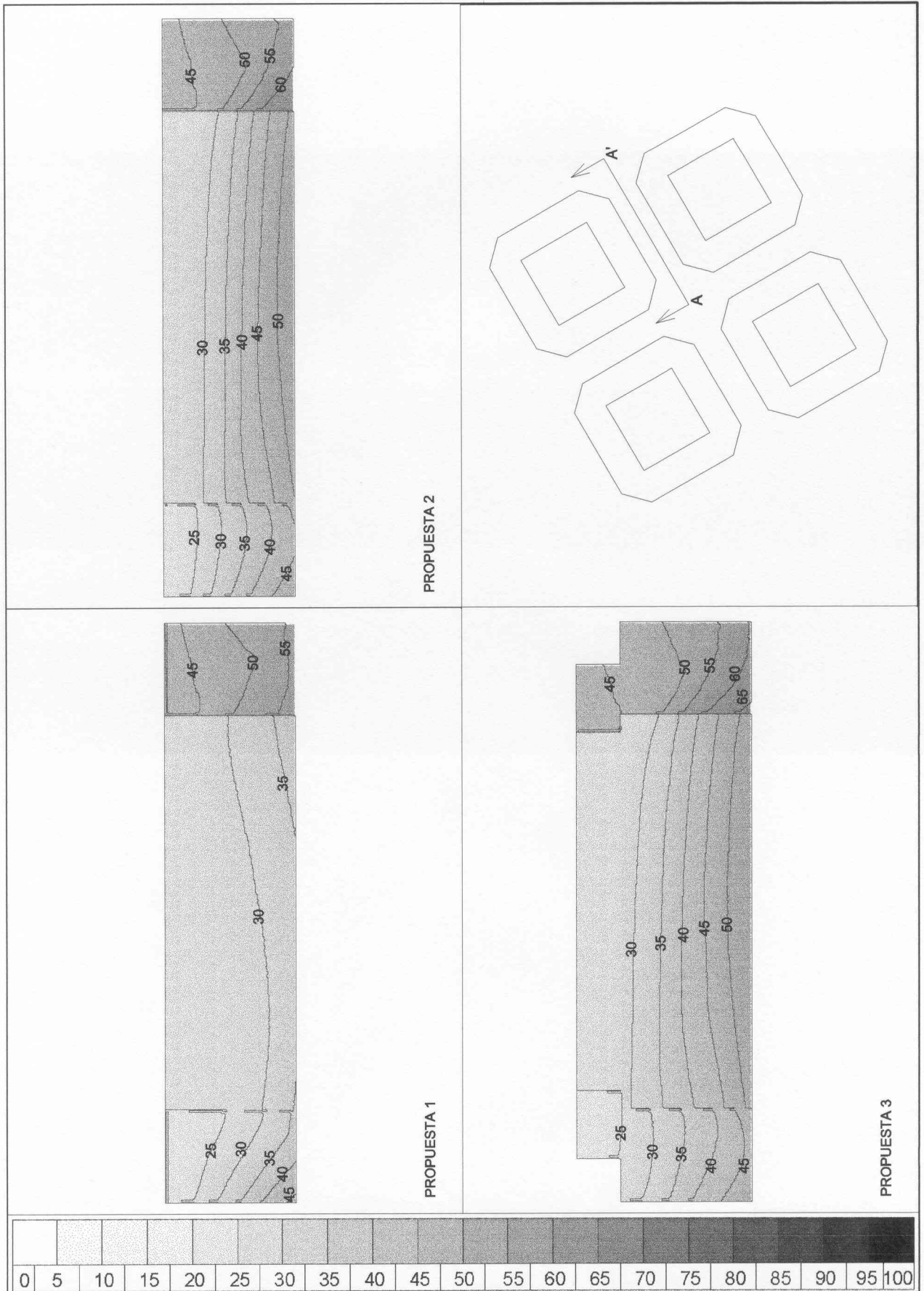




FIGURA 222: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO. EL PLAN Cerdá. MAPA DE SOMBRAS. SECCION SURESTE. COMPARACIÓN.

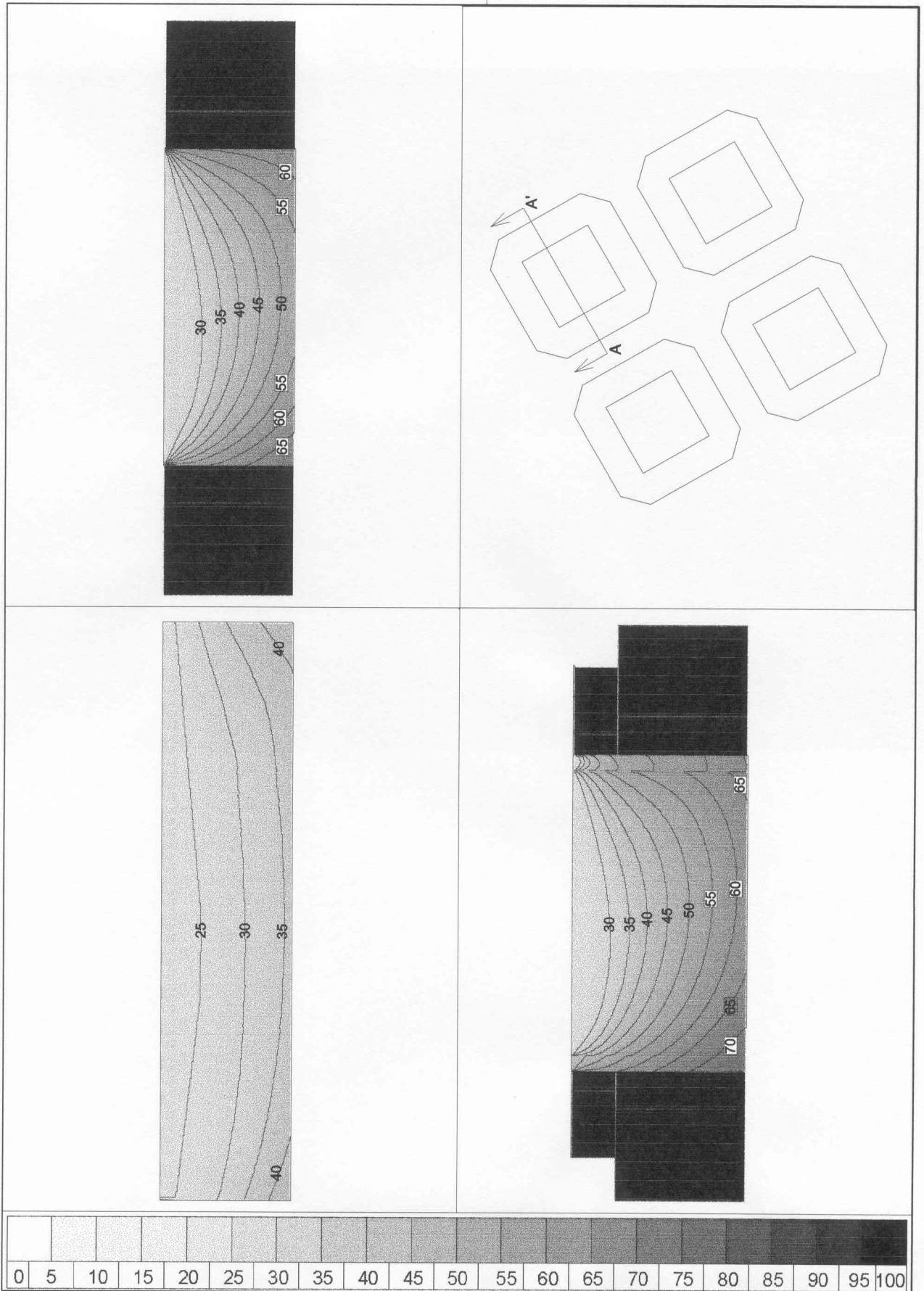




FIGURA 223: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PLAN CERDÁ. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO SUROESTE. COMPARACIÓN.

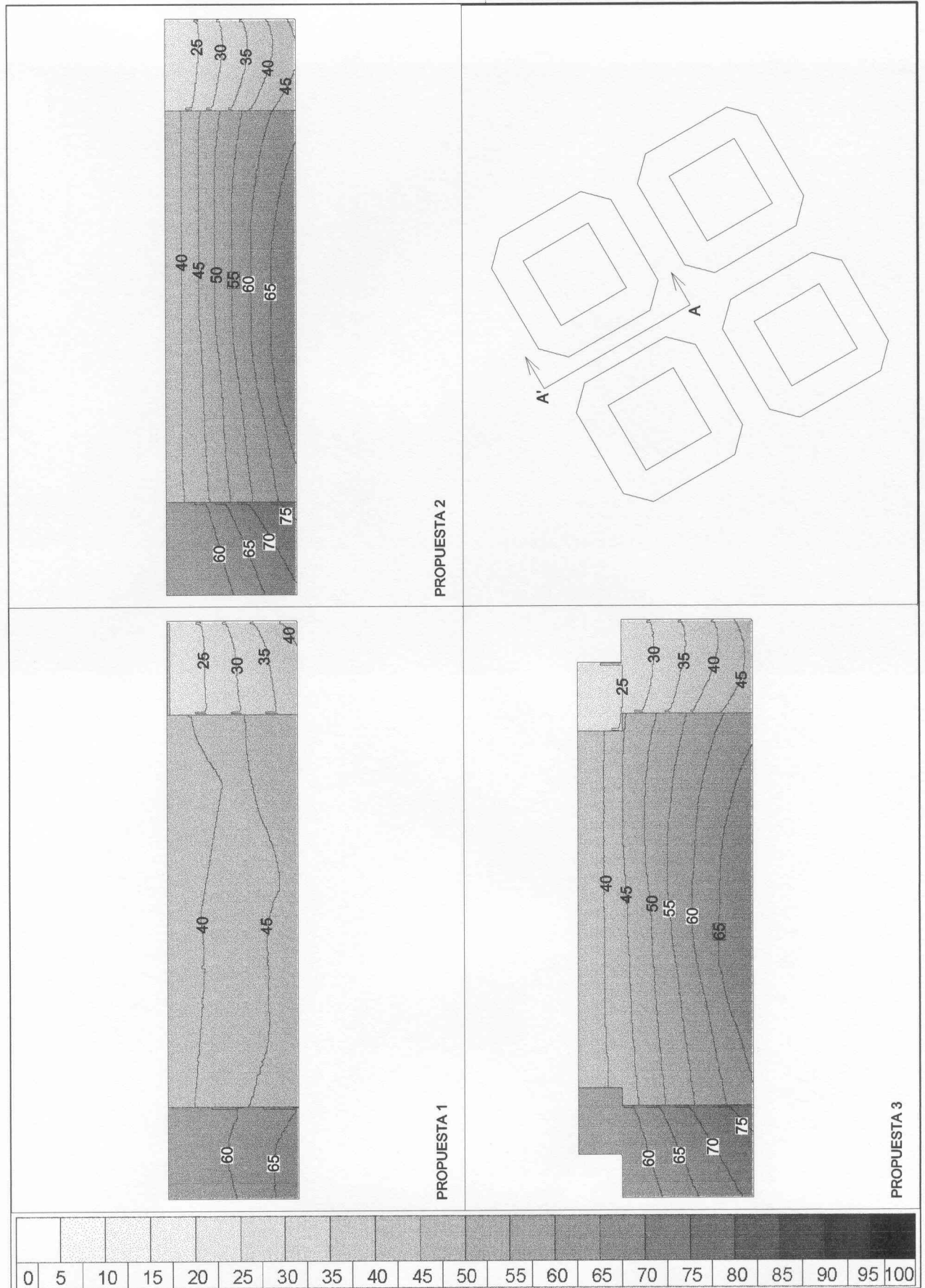
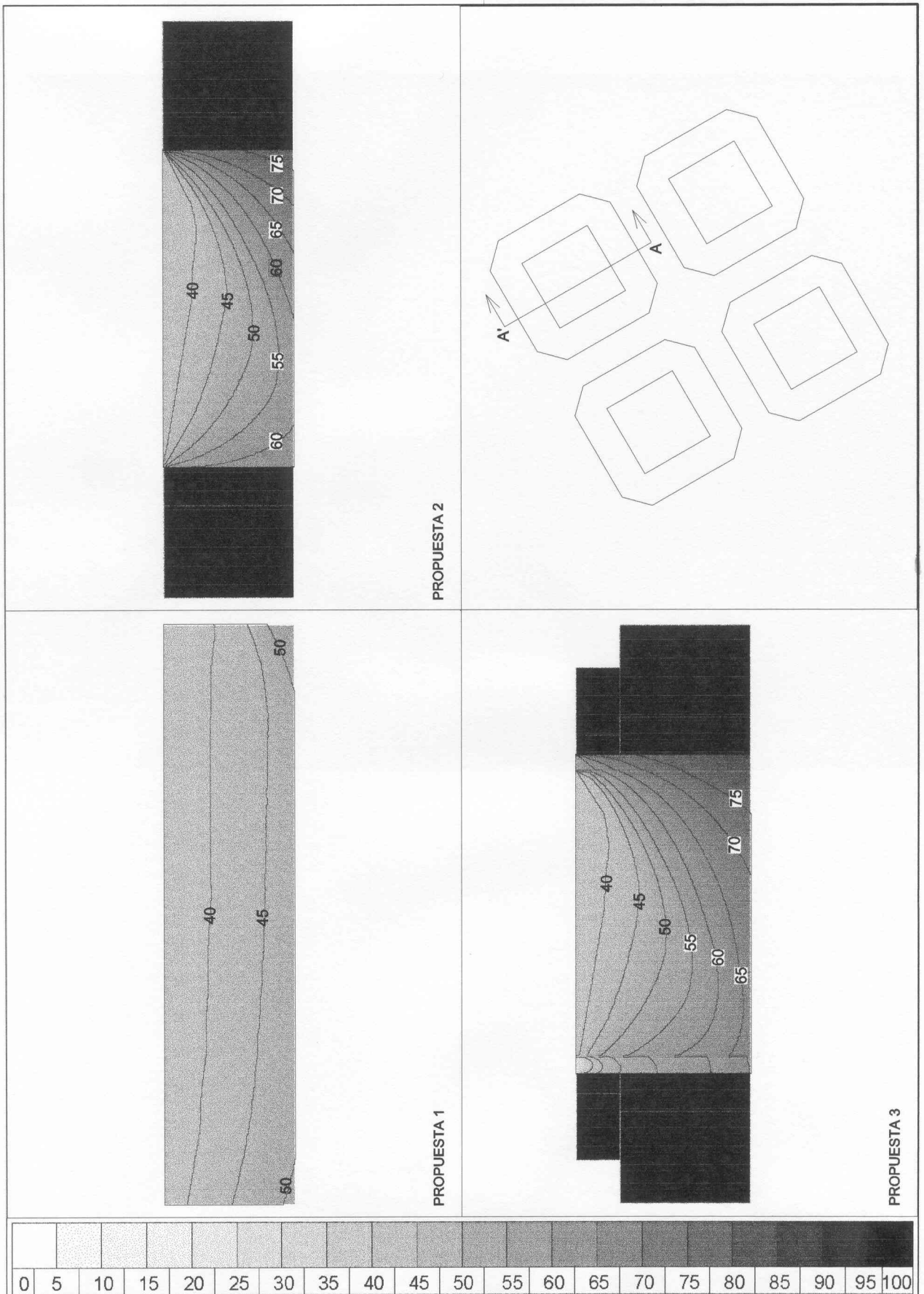




FIGURA 224: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANÍSTICO.  
EL PLAN CERDÁ. MAPA DE SOMBRAS. SECCIÓN SUROESTE. COMPARACIÓN.







### 5.4.2. El entorno de la plaza de toros de Valencia

En el presente punto se propone el estudio de las condiciones de soleamiento de la Plaza de Toros de Valencia, por tratarse de un equipamiento con unas necesidades específicas, e inherentes a su propia función.

La Plaza de Toros de Valencia<sup>26</sup> se encuentra situada en el límite sur del centro histórico, y aunque en las fechas de su construcción, entre 1850 y 1860, se encontraba en las afueras de la ciudad, en la actualidad se inserta en una trama urbana muy consolidada, con la construcción de edificios en sus proximidades que llegan a arrojar sombra sobre los tendidos en algunos momentos del día.



fig. 225: LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA.

Para proceder al análisis de las condiciones de soleamiento es necesario modelizar el entorno próximo de la Plaza de Toros, con el fin de incluir todas aquellas edificaciones que en algún momento del año puedan arrojar sombras sobre la misma. El entorno así definido se inscribe en un rectángulo de 750 m. en dirección este oeste y 500 m. en dirección norte sur.

En las figuras 228 y 229 se describe la geometría del entorno analizado, mediante una planta general, un alzado y una axonometría del entorno completo. En las figuras 230 y 231 se muestran respectivamente los mapas de sombras correspondientes a la planta general y a la axonometría del conjunto; donde pueden analizarse las condiciones de soleamiento del área objeto de estudio.

En los mapas de sombras anteriores puede comprobarse la influencia del entorno, de más altura, sobre la plaza de toros, dado que los valores del factor de obstrucción a cota cero en el exterior de la plaza, debido a las sombras arrojadas por la edificación son comparables a los obtenidos en el interior de la plaza, con valores en ambos caso en el entorno de  $F=0.3$ .

<sup>26</sup> SIMÓ, TRINIDAD (1983): Valencia centro histórico. Ed. Institución Alfonso el Magnánimo.

En las figuras 232 y 233 se muestran los mapas de sombras correspondientes a la planta de la Plaza de Toros y a una sección en dirección norte-sur. En dichos mapas de sombras pueden apreciarse que la zona del tendido con mejores condiciones de soleamiento corresponde a la orientación sur, con valores de  $F=0.3$ , mientras que la zona de tendido orientada a norte registra unos valores de  $F=0.55$ .

El análisis que se deriva de los mapas de sombras anteriores corresponde al periodo anual, y cabe tener en cuenta que las necesidades de soleamiento de las plazas de toros se producen en fechas concretas. Por ello; se propone el estudio pormenorizado del soleamiento de los días 17 de marzo y 29 de julio, correspondientes a la Feria de Fallas y a la Feria de julio respectivamente. La ubicación de las localidades de sombra para cada fecha puede conocerse obteniendo las sombras correspondientes a las 17:00 h. de tiempo oficial para cada una de las fechas, que coincide con la hora de inicio de los festejos taurinos, como se muestra en las figuras 226 y 227.

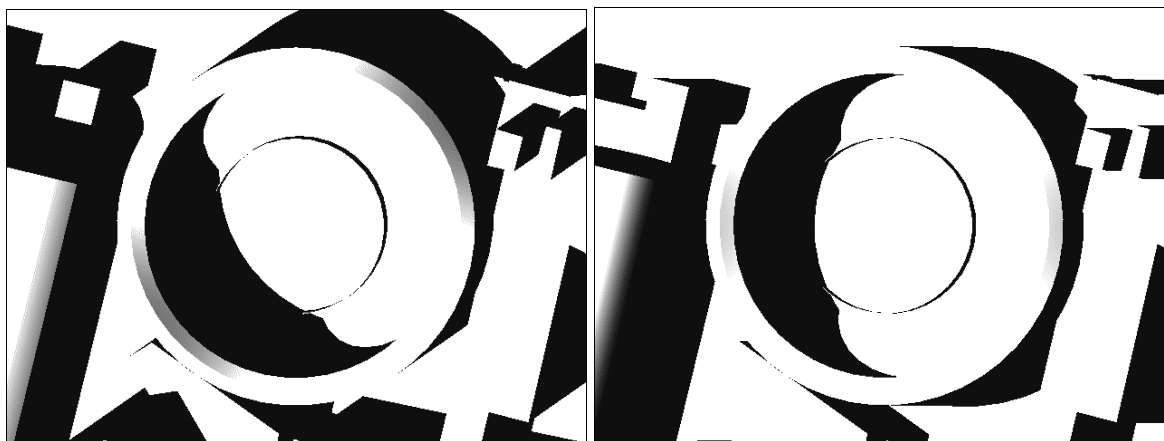


fig. 226 y 227: LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. SOMBRAS CORRESPONDIENTES AL 17/03 A LAS 17:00 H DE TIEMPO OFICIAL  
SOMBRAS CORRESPONDIENTES AL 29/07 A LAS 17:00 H DE TIEMPO OFICIAL

La secuencia de imágenes necesaria para la obtención de mapas de sombras permite la selección parcial de las mismas con el fin de estudiar la evolución de las sombras en periodos concretos. En las figuras 234 y 235 se muestra la evolución de las sombras sobre el tendido durante la corridas de toros, indicando mediante una línea la posición de la sombra en intervalos de 30 minutos.

FIGURA 228: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
ENTORNO DE LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. PLANTA Y ALZADO

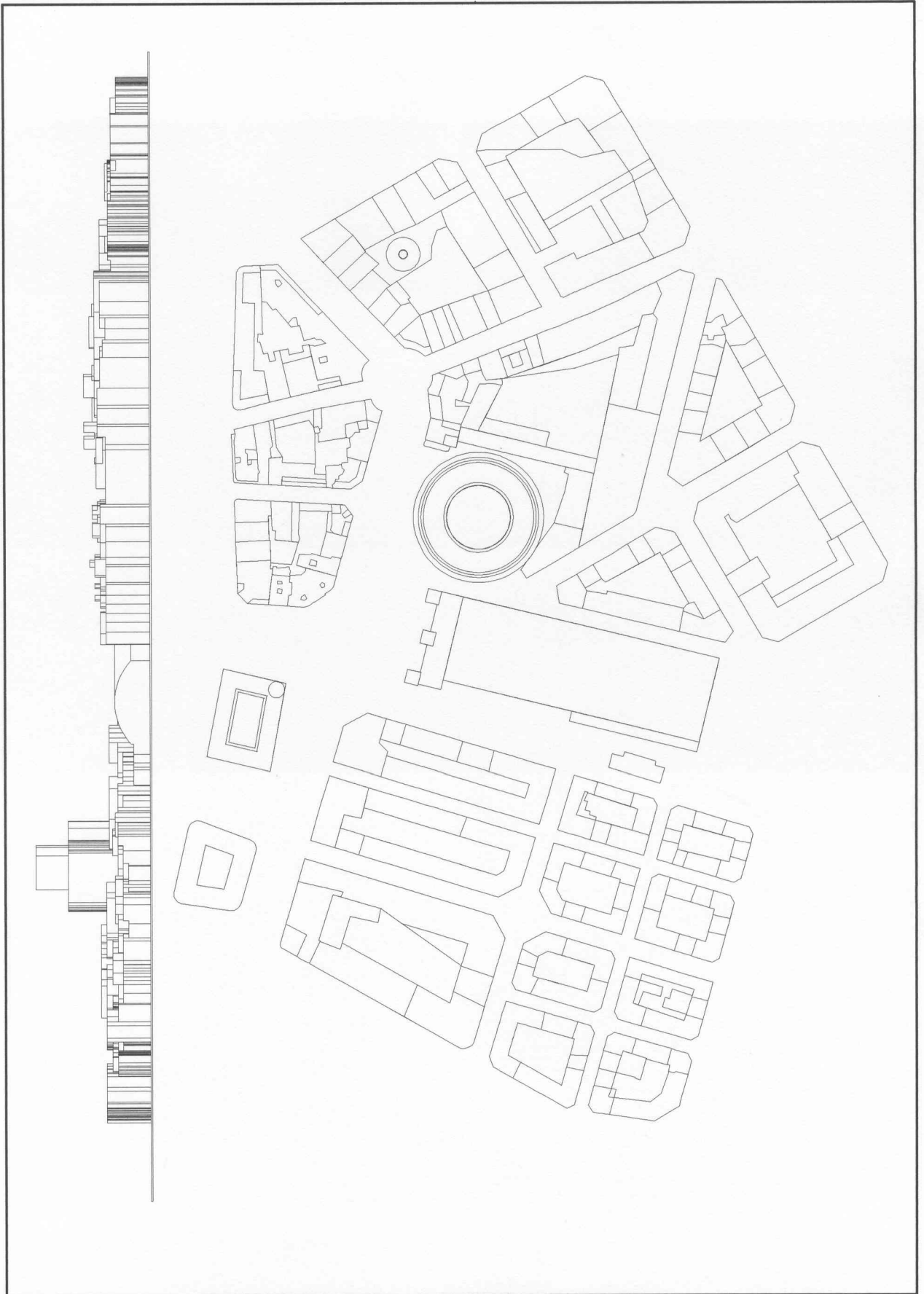




FIGURA 229: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
ENTORNO DE LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. AXONOMETRÍA ISOMÉTRICA.

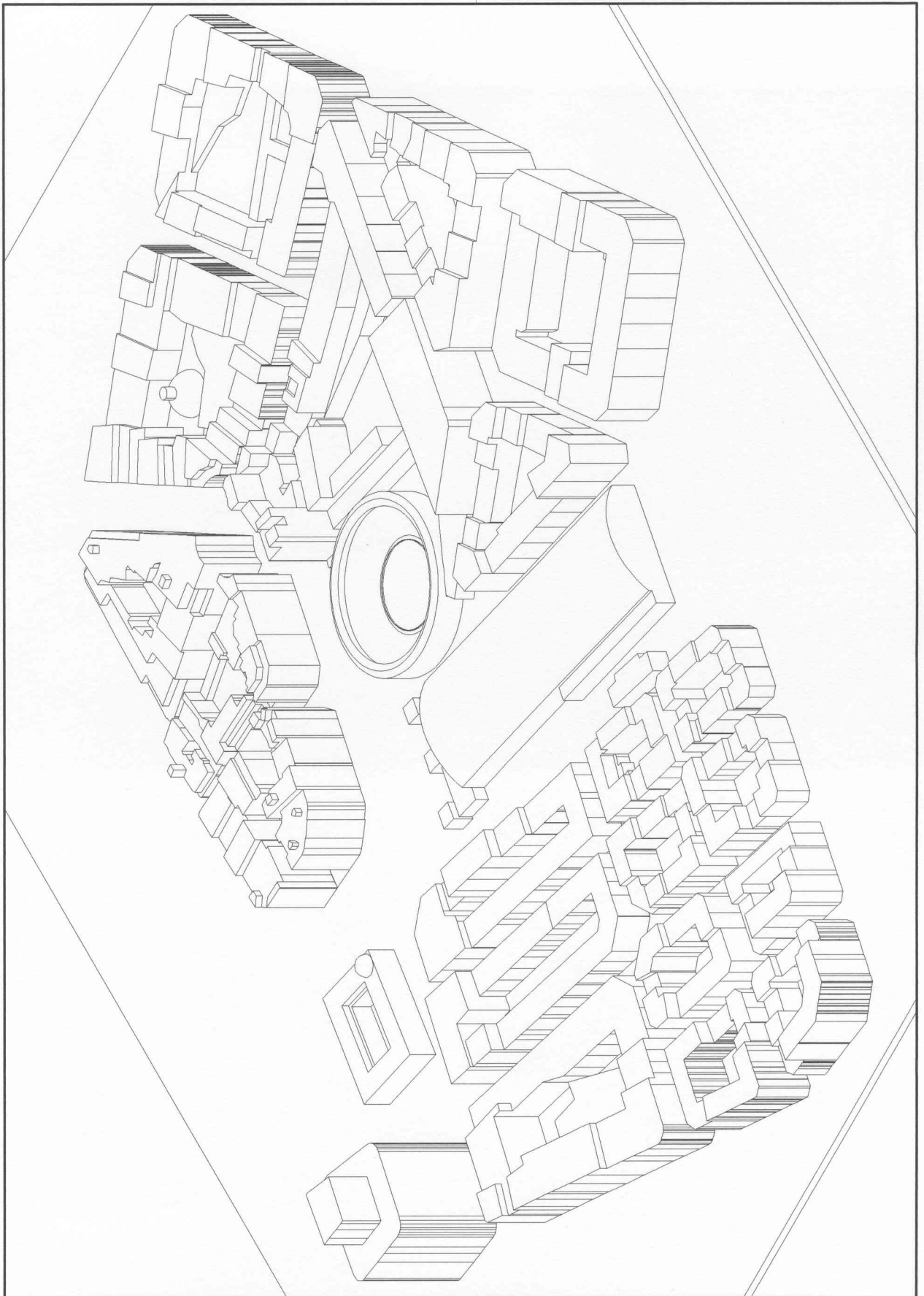




FIGURA 230: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANÍSTICO. ENTORNO DE LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.

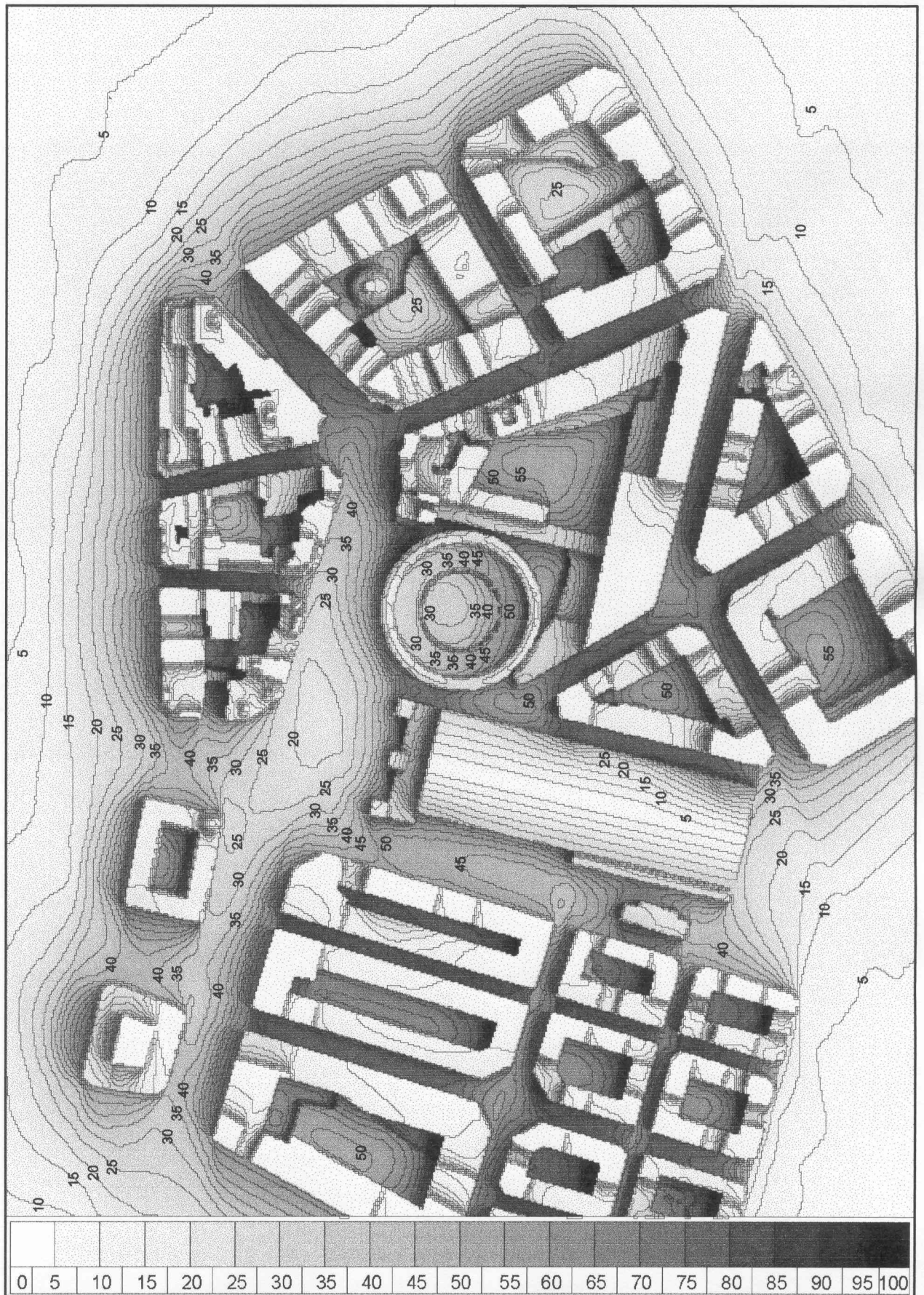






FIGURA 231: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
ENTORNO DE LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA

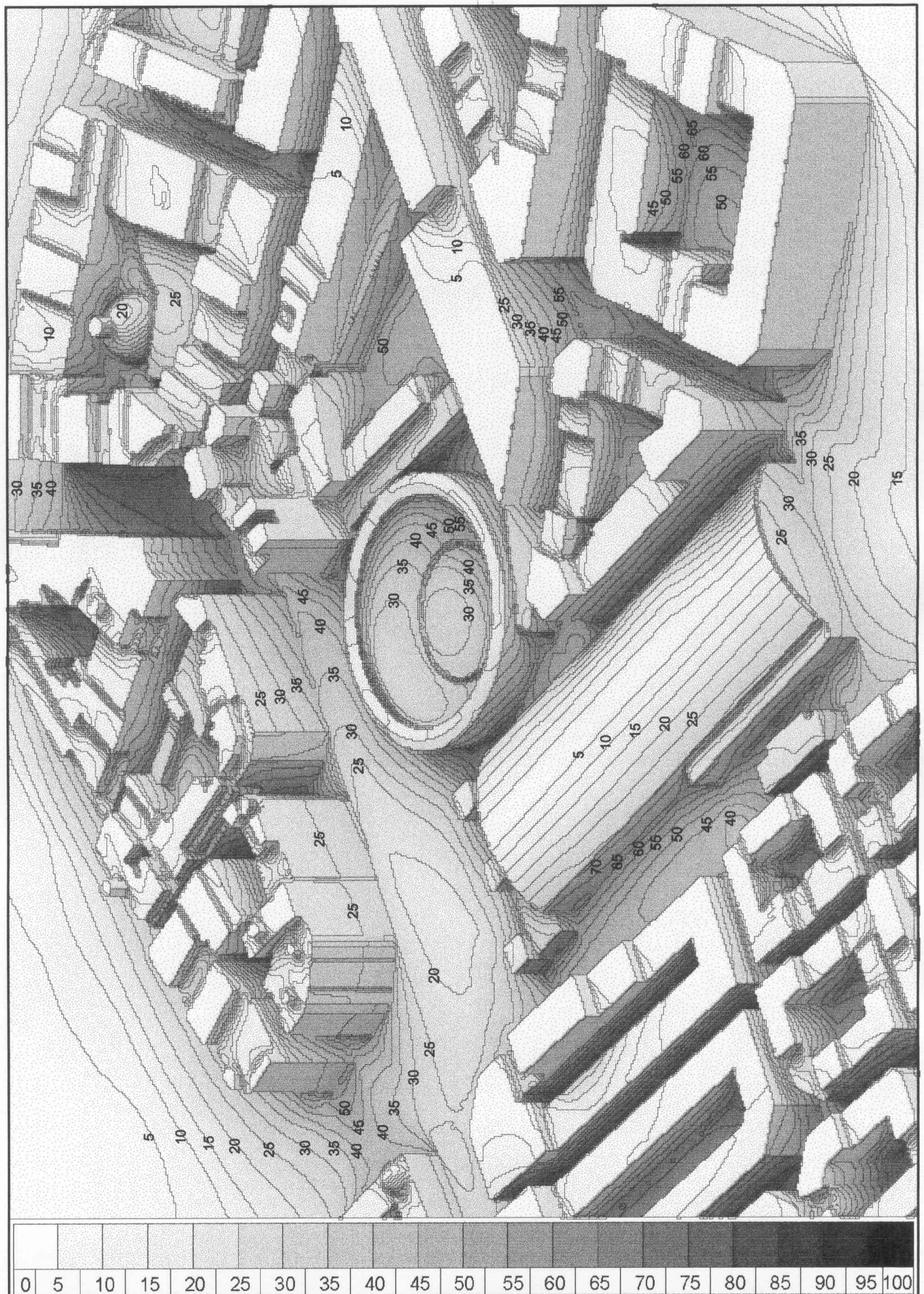




FIGURA 232: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
ENTORNO DE LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. VISTA EN PLANTA. DETALLE.

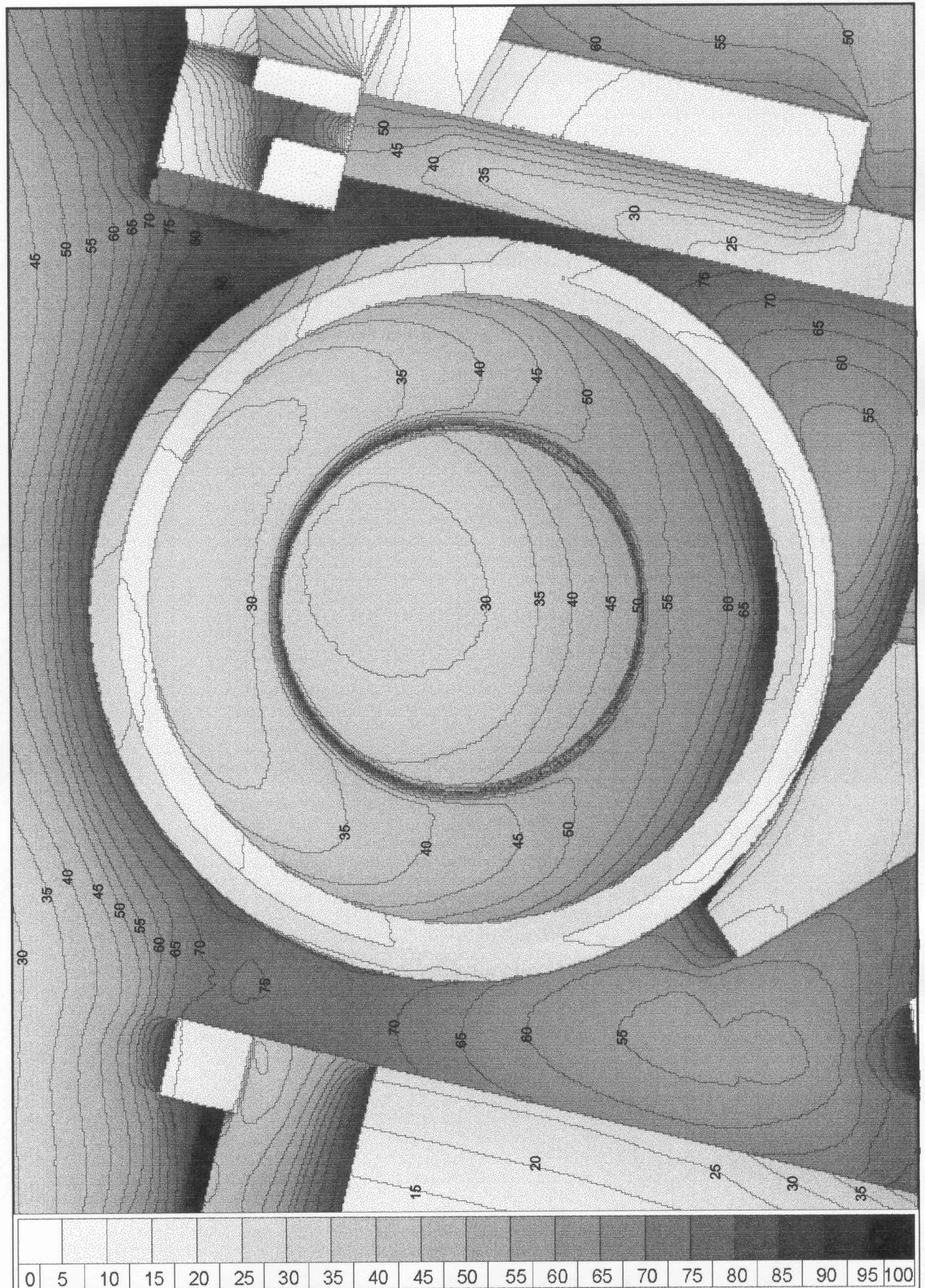






FIGURA 233: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
ENTORNO DE LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. SECCION.

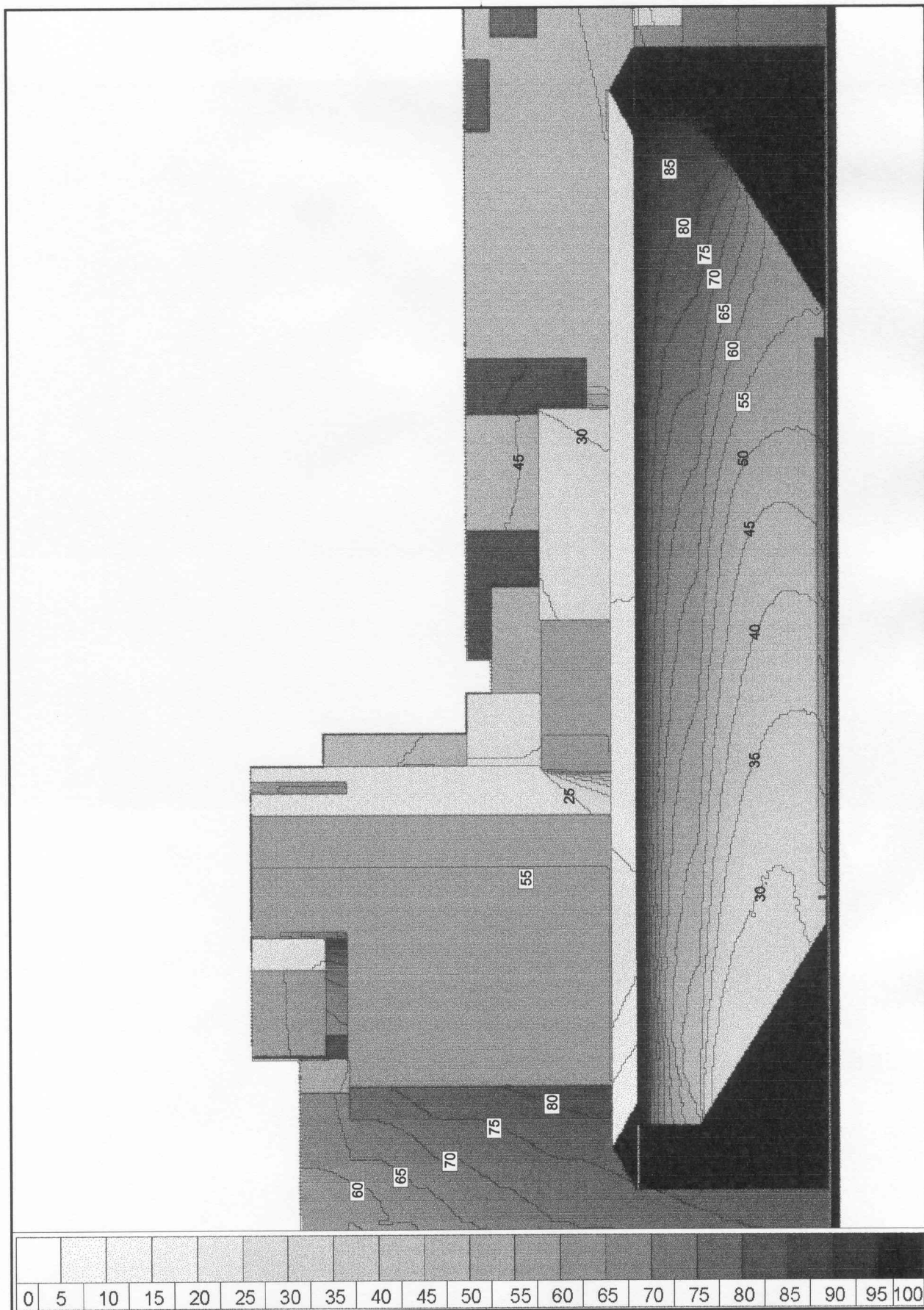




FIGURA 234: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. EVOLUCION DE SOMBRAS EL DIA 17/03/03

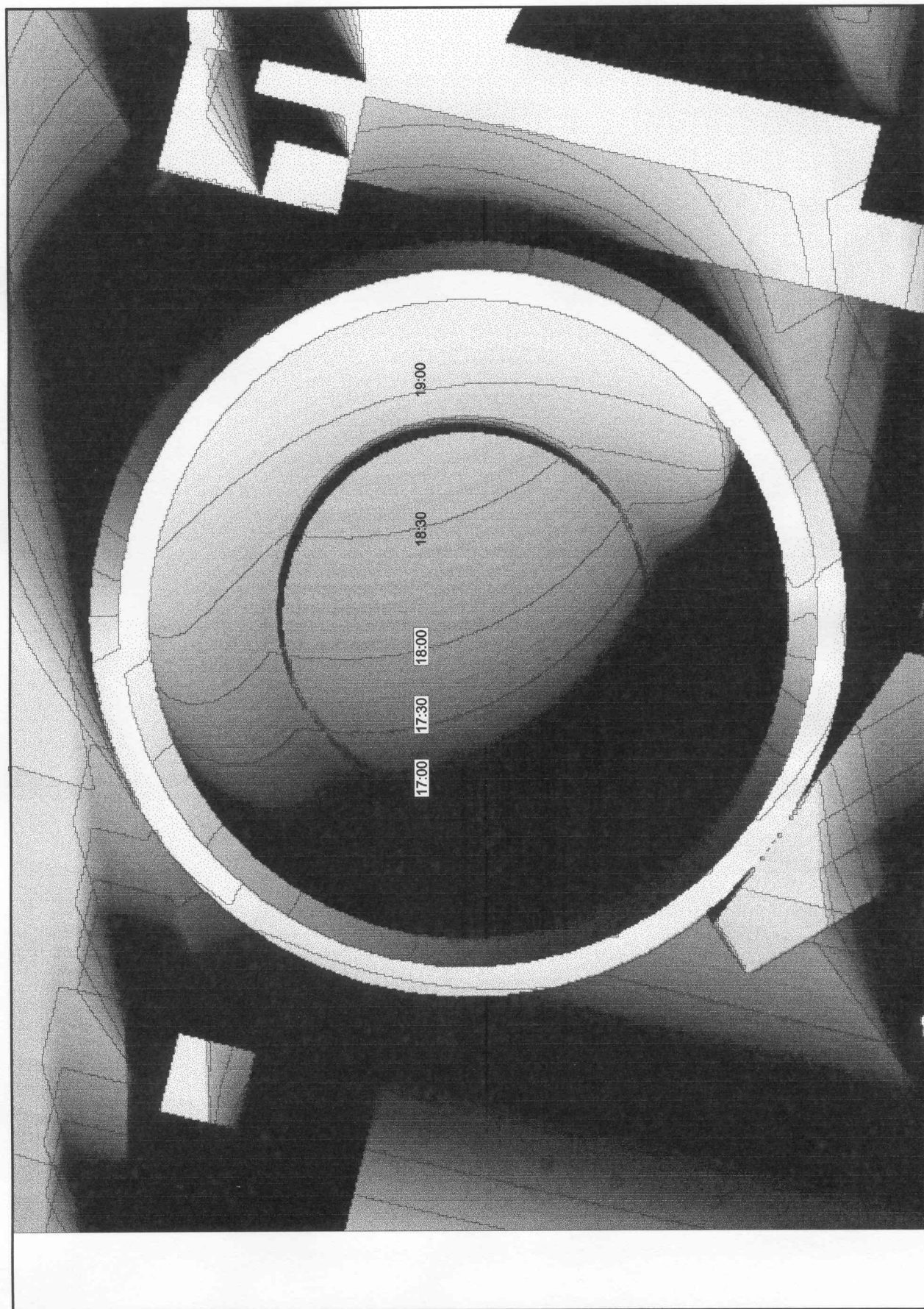
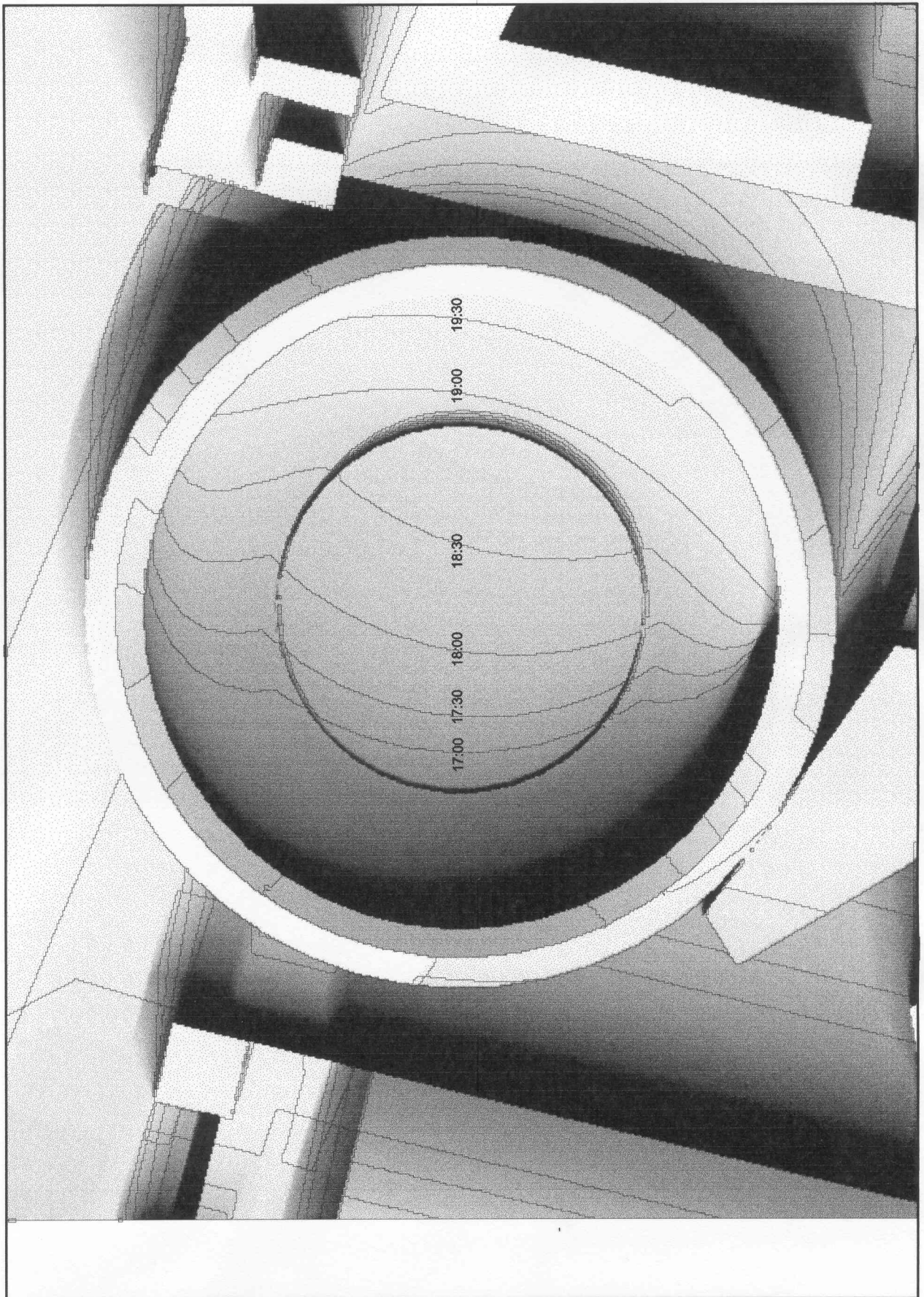






FIGURA 235: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
 ENTORNO DE LA PLAZA DE TOROS DE VALENCIA. EVOLUCION DE SOMBRAS EL DIA 26/07/03





### 5.4.3. El Programa de Actuación Integrada de Ademuz

El Barrio de Ademuz se encuentra en el límite noroeste del término municipal de Valencia. Se trata de un área de nueva creación, resultado de un Programa de Desarrollo de Actuación Integrada (PAI). El polígono delimitado por la actuación tiene una superficie total de 534.576.09 m<sup>2</sup> y comprende la construcción de 3.928 viviendas.

El barrio se organiza a ambos lados de un eje viario de 80 m. de anchura entre fachadas, la Avenida de las Cortes Valencianas e incluye un equipamiento urbano de grandes dimensiones, el Palacio de Congresos de Valencia, obra del arquitecto británico Sir Norman Foster.

La tipología empleada en los edificios de viviendas es el bloque lineal con viviendas pasantes, y la torre de planta cuadrada, con un gran desarrollo en altura. Los edificios de más altura, de 15 y 25 plantas, se disponen junto a la Avenida de las Cortes Valencianas, mientras que las de menos altura, 8 y 10 plantas se disponen tras ellas. La cota cero dedica la superficie liberada por el viario y la edificación a espacios peatonales y zonas ajardinadas.



fig. 236: EL BARRIO DE ADEMUZ. FOTOGRAFÍA AEREA (EN CONSTRUCCIÓN).

En el presente punto se propone el estudio de las condiciones de soleamiento de los espacios libres entre la edificación, a cota cero, además de la insolación recibida por las fachadas de la edificación en distintas orientaciones.

En las figuras 237 y 238 se describe la geometría del entorno a analizar, mediante una planta general, un alzado y una axonometría del conjunto, marcando las líneas de forjado con el fin de apreciar la altura de las edificaciones.

En las figuras 239 y 240 se muestran los mapas de sombras correspondientes a una planta general y una axonometría del conjunto. Dicha visión general del soleamiento del área permite detectar las zonas con valores altos del factor de obstrucción, que implica las condiciones de soleamiento más desfavorables.

Localizada esta zona, en la parte noreste del barrio, se muestra en la figura 241 el mapa de sombras correspondiente en planta. En dicho mapa de sombras pueden apreciarse algunas zonas con un factor de obstrucción  $F=0.75$ , equivalente al 75% de tiempo en sombra durante el periodo de soleamiento anual.

En las figuras 242, 243 y 244 se muestran los mapas de sombras correspondientes a tres alzados de distintas fachadas del área en diferentes orientaciones. El primer alzado, orientado al sureste, muestra la torre de 25 alturas, y el edificio adyacente de 15 alturas. Dada su gran altura, registra unas buenas condiciones de soleamiento en las plantas altas, con valores de  $F=0.3$ , en cambio, en la planta baja de la misma fachada el valor del factor de obstrucción se reduce hasta  $F=0.5-0.65$

El segundo alzado, con una orientación suroeste, se encuentra situado al noreste de un edificio de 15 alturas, que le tapa el Sol del poniente. En las plantas superiores los valores de factor de obstrucción están en el entorno  $F=0.45-0.5$ , pero estas condiciones empeoran en las plantas inferiores, llegando a valores del factor de obstrucción mucho más desfavorables, en el entorno  $F=0.8-0.85$ .

El tercer alzado, con una orientación suroeste corresponde a dos edificios de 15 alturas, delante de los cuales se encuentran unos bloques lineales de 8 y 10 alturas. Del mismo modo que en los alzados anteriores, las condiciones de soleamiento en las plantas superiores son aceptables, con valores de  $F=0.4$ , decreciendo en las plantas inferiores hasta valores  $F=0.65-0.7$ . En este caso es de destacar la influencia de un edificio de igual altura de los analizados, situado al sureste, cuya sombra arrojada sobre el edificio de la derecha hace aumentar sobre éste el valor del factor de obstrucción en las plantas bajas.

FIGURA 237: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PROGRAMA DE ACTUACIÓN INTEGRADA DE ADEMUZ. PLANTA Y ALZADO.

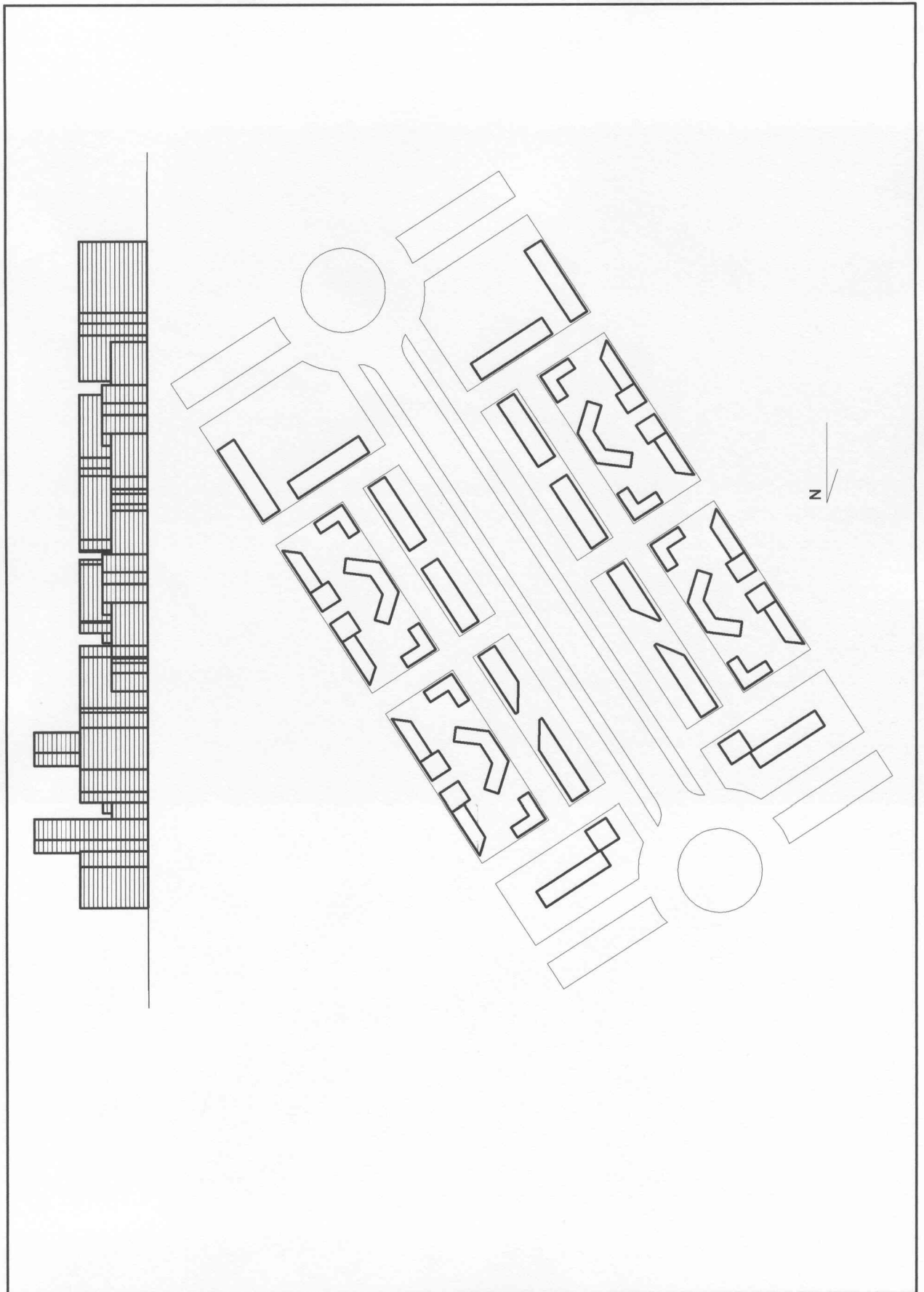




FIGURA 238: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PROGRAMA DE ACTUACIÓN INTEGRADA DE ADEMUZ. AXONOMETRÍA

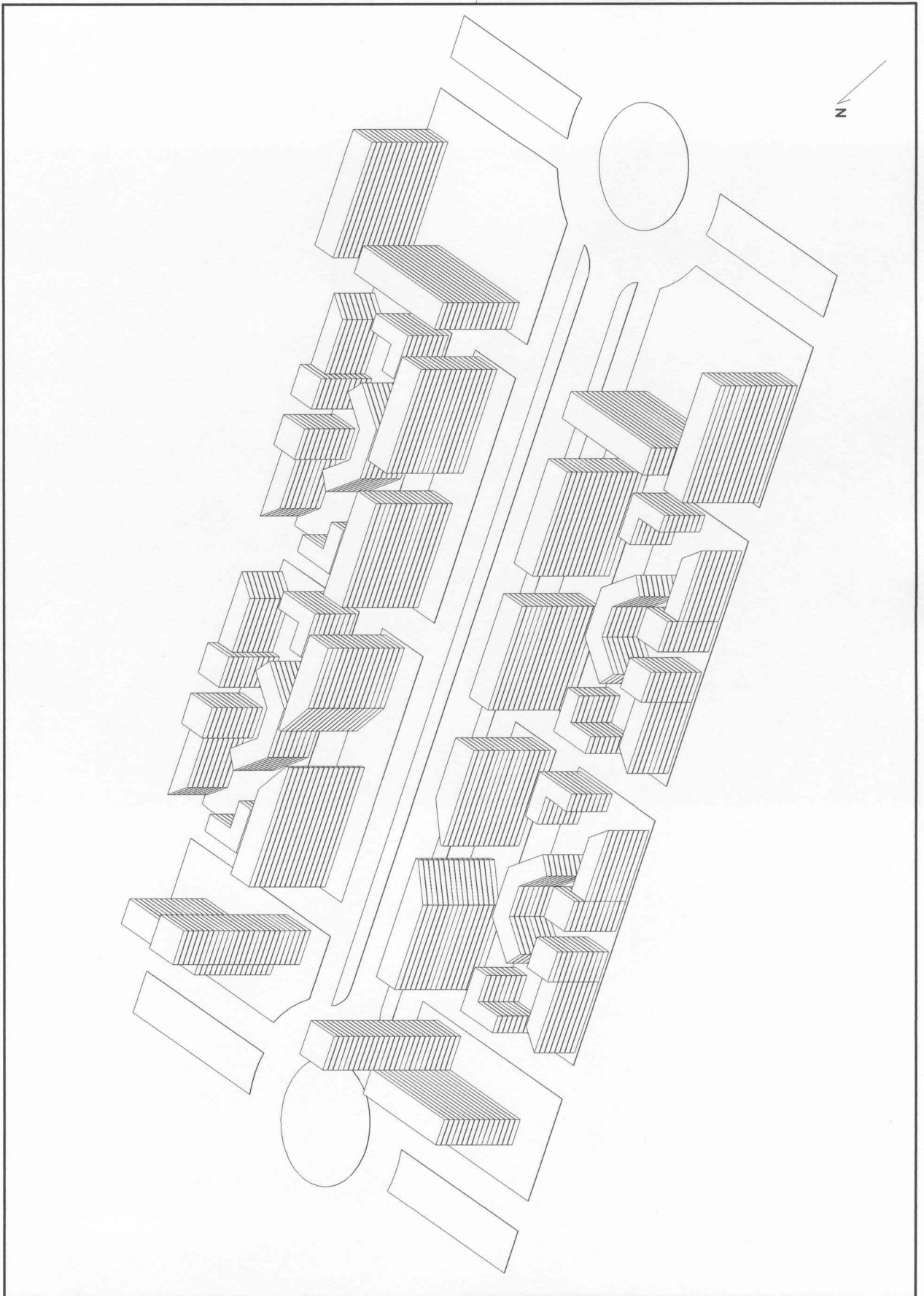






FIGURA 239: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PROGRAMA DE ACTUACIÓN INTEGRADA DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA GENERAL.

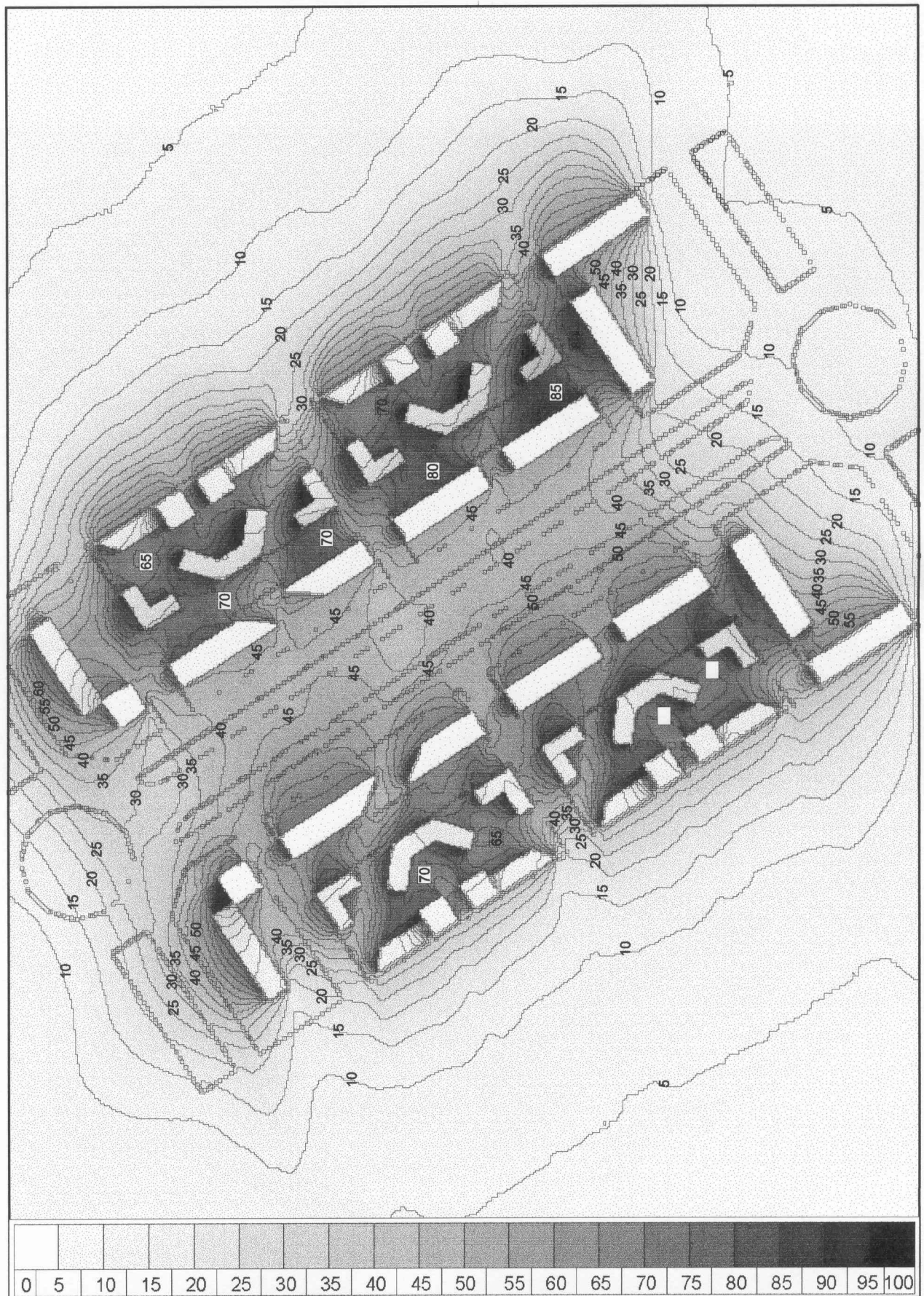




FIGURA 240: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PROGRAMA DE ACTUACIÓN INTEGRADA DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.

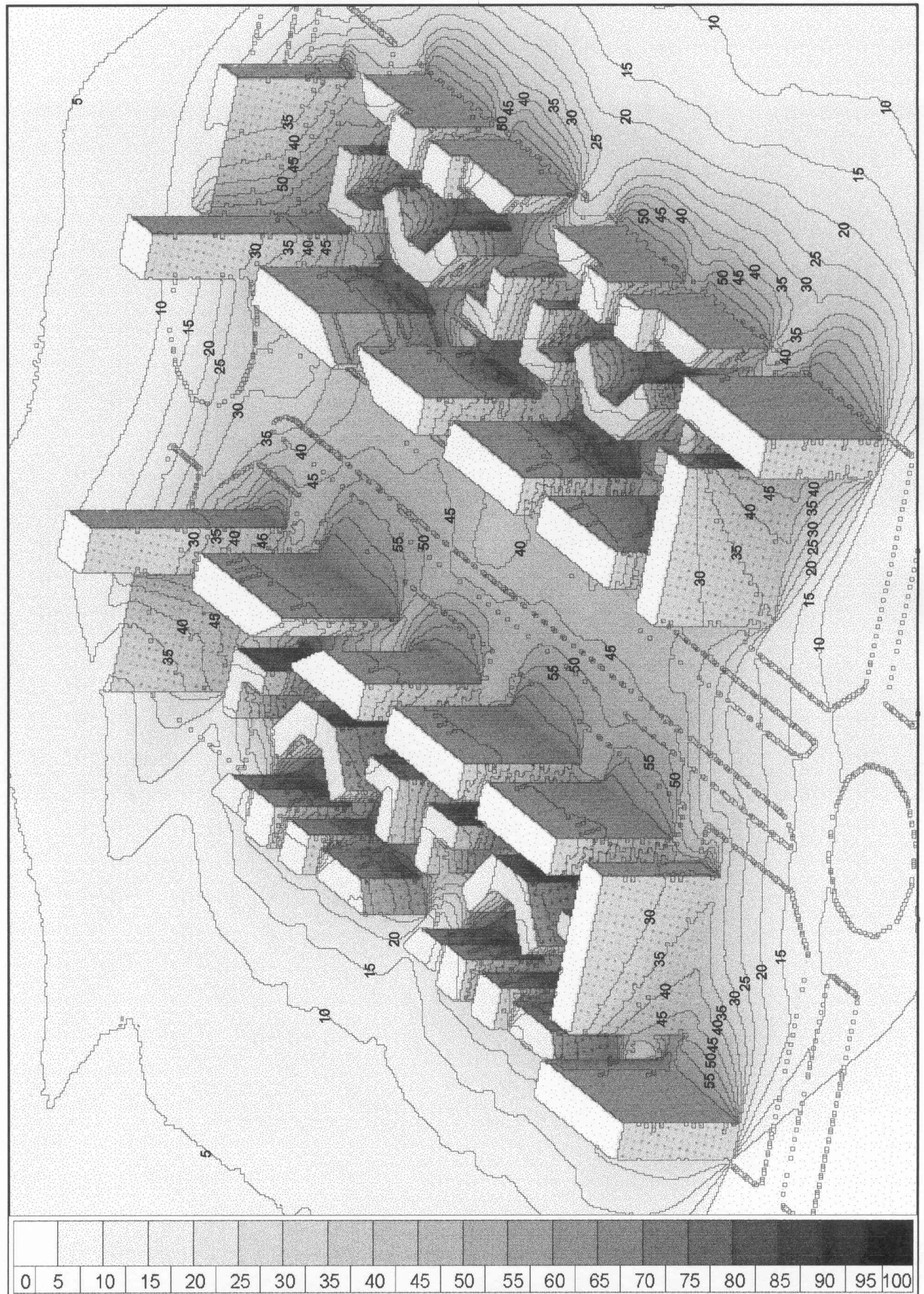






FIGURA 241: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PROGRAMA DE ACTUACIÓN INTEGRADA DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA (DETALLE).

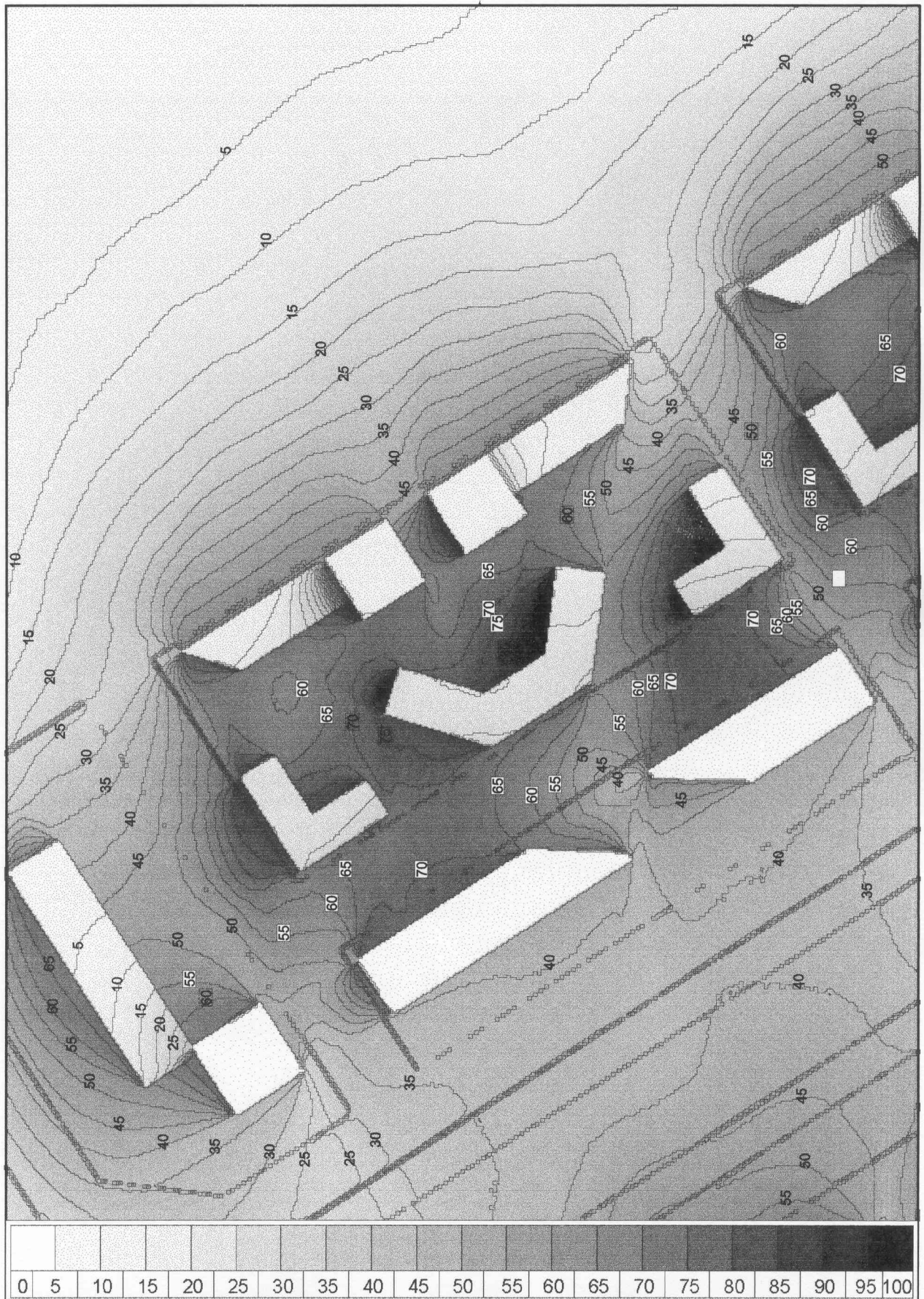




FIGURA 242: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PROGRAMA DE ACTUACIÓN INTEGRADA DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO AA'.

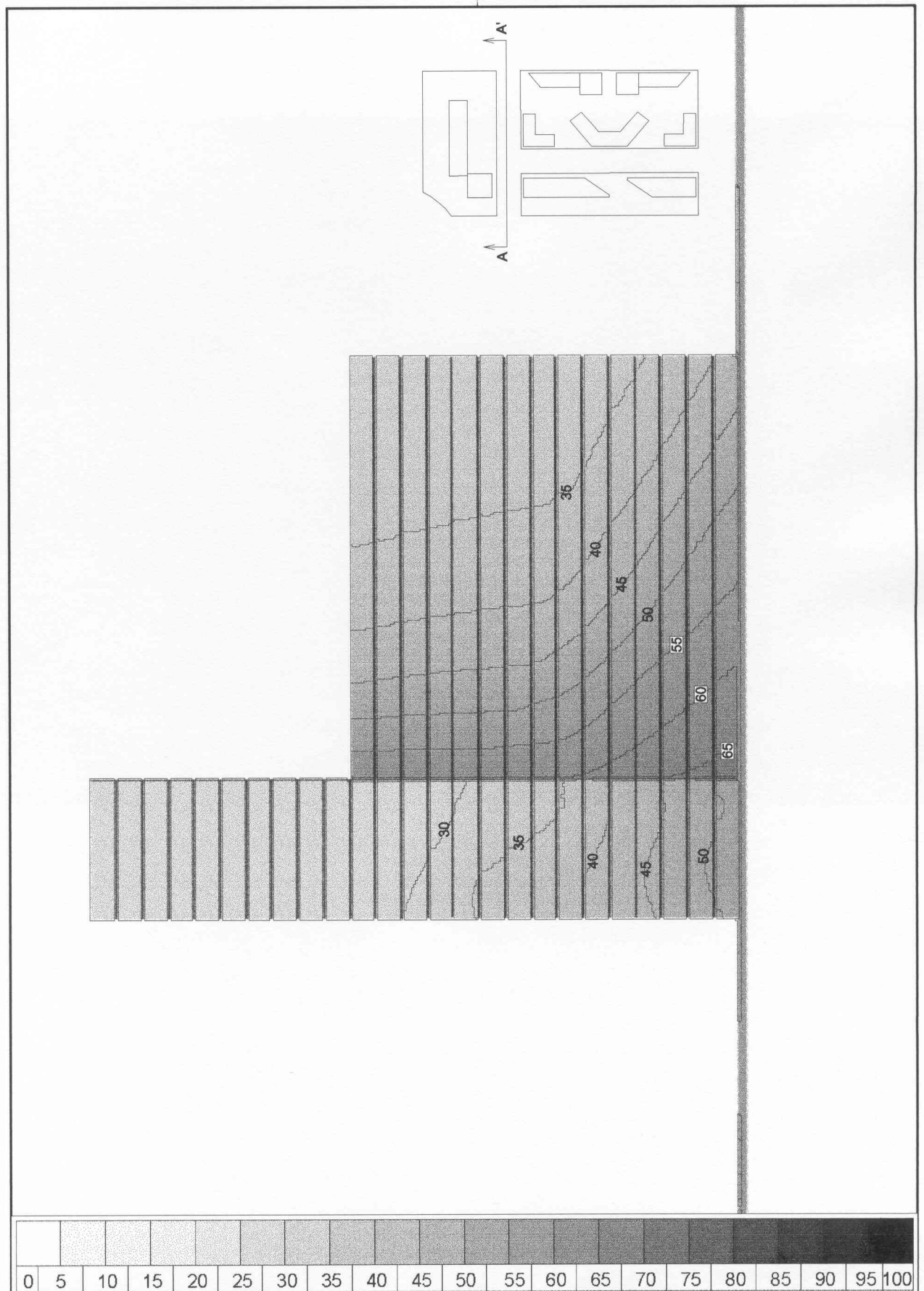






FIGURA 243: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PROGRAMA DE ACTUACIÓN INTEGRADA DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO BB'.

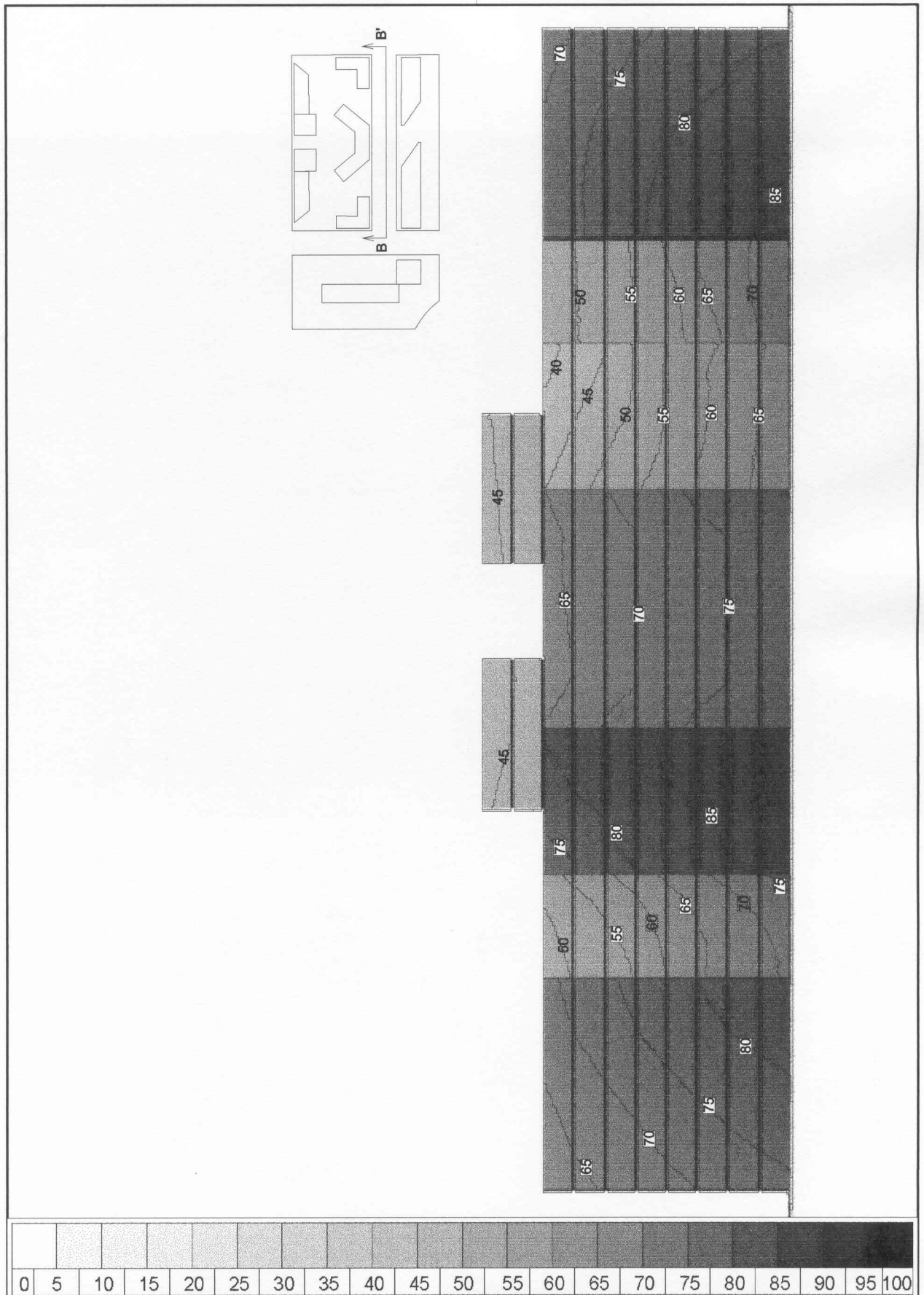
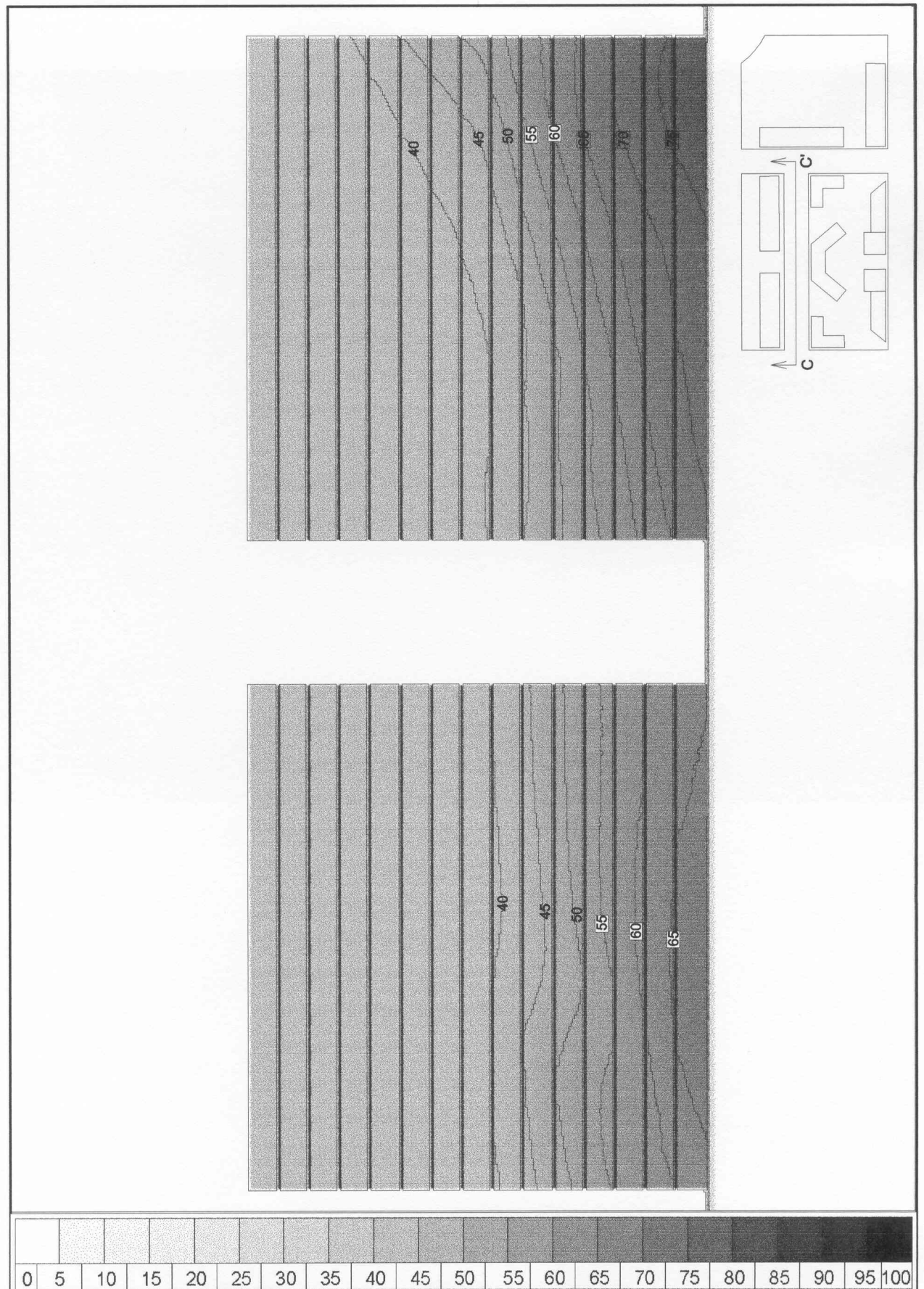




FIGURA 244: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL PROGRAMA DE ACTUACIÓN INTEGRADA DE ADEMUZ. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO CC'.





#### 5.4.4. Aplicaciones al estudio de impacto de nuevas edificaciones. El caso del Colegio del Pilar de Valencia

La posibilidad de obtener mapas de sombras de entornos urbanos permite calcular el valor del factor de obstrucción para cada punto de la superficie de las edificaciones, y a partir de él, calcular la distribución de las horas sol/año en el entorno estudiado.

La construcción o demolición de un edificio en un entorno urbano, entendido en términos de obstáculo a la radiación solar produce una modificación en la distribución de la incidencia solar, modificando la duración de los intervalos de soleamiento, y con ello el valor del factor de obstrucción para los puntos afectados en su entorno próximo.

La cuantificación de la variación en el régimen de soleamiento que se produce en el área objeto de estudio puede realizarse siempre que se conozcan cuales son las modificaciones en la geometría del entorno estudiado, dado que es posible obtener un mapa de sombras del estado inicial, otro del estado final, y compararlos.

La simple comparación, por cálculo de la diferencia del valor del factor de obstrucción en un punto cualquiera de la imagen es un procedimiento válido, pero tan solo para el punto analizado. La diferencia entre imágenes puede calcularse atendiendo a la naturaleza matricial de las imágenes, dado que es posible proceder a la diferencia de las matrices que las representan.

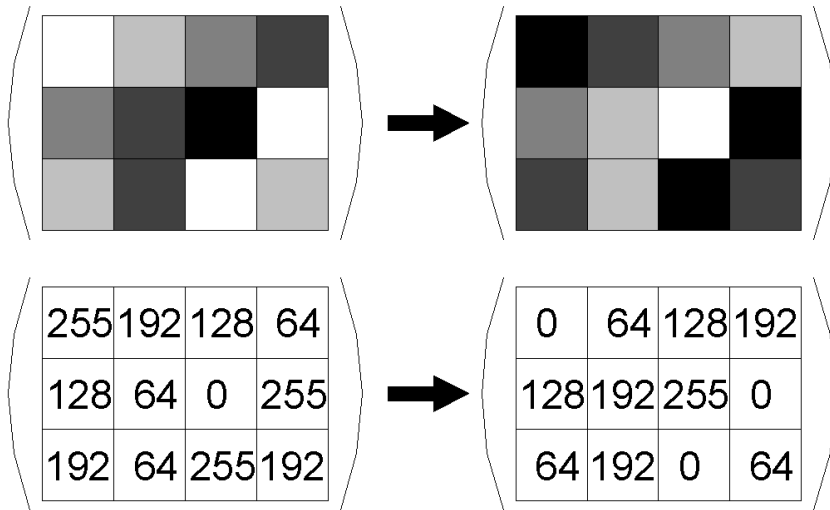
A continuación se propone un procedimiento extensivo para calcular la diferencia de los valores numéricos de cada pixel, que permite la comparación de imágenes:

Sea una imagen con una resolución de 3x4 pixeles. Se define como imagen en negativo, obtenida a partir de la primera, aquella que tiene en cada uno de sus pixeles el valor numérico correspondiente a la diferencia entre 255 y el valor numérico de la imagen original:

$$G_{negativo} = 255 - G$$

Entendida la imagen como matriz que contiene los valores numéricos que corresponden a los grises de cada uno de sus pixeles, el cálculo de la imagen negativo equivale a la diferencia matricial entre una matriz con valor blanco (255) en todas sus posiciones y la matriz dada. En este caso, aunque el número de intervalos en que está dividido el rango entre el blanco (255) y el negro(0) es de 256 valores, la sustracción se efectúa a partir del mayor valor numérico admisible para un pixel, que como se ha dicho es 255.

La transformación en negativo de una imagen es reversible por aplicación del mismo procedimiento a la imagen obtenida, es decir; el negativo del negativo es el positivo. A continuación se muestra la transformación de la imagen propuesta como ejemplo, de resolución 3x4 pixeles en imagen negativo en términos gráficos y numéricos.



La operación de cálculo de mapas de sombras se basa en el cálculo de la media aritmética de los valores numéricos que representan los grises contenidos en cada posición de su matriz equivalente. Si se promedia una imagen con su negativo se obtiene por resultado una imagen en la que todos sus pixeles tienen el valor del gris medio. En términos matemáticos la media aritmética de una matriz, y su correspondiente imagen negativo equivale a dividir por 2 una matriz con valor 255 en todas sus posiciones.

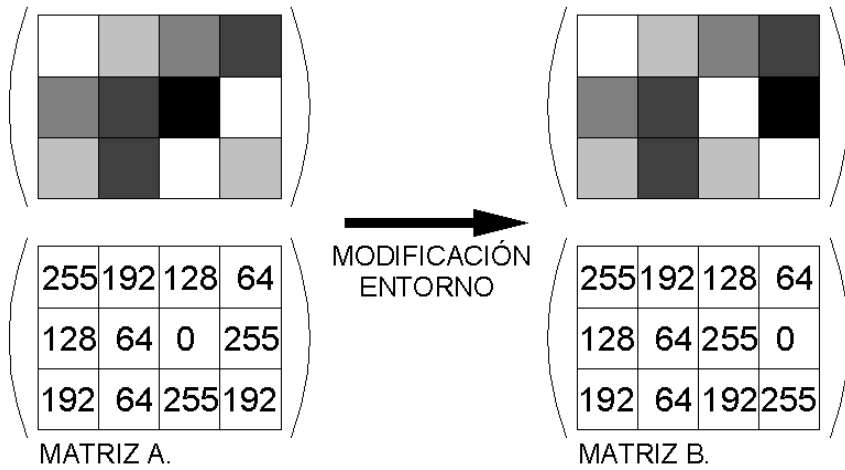
$$\begin{pmatrix} \text{[Grayscale Image]} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \text{[Negative Image]} \end{pmatrix} / 2 = \begin{pmatrix} \text{[Uniform Gray Image]} \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} 255 & 192 & 128 & 64 \\ 128 & 64 & 0 & 255 \\ 192 & 64 & 255 & 192 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 64 & 128 & 192 \\ 128 & 192 & 255 & 0 \\ 64 & 192 & 0 & 64 \end{pmatrix} / 2 = \begin{pmatrix} 128 & 128 & 128 & 128 \\ 128 & 128 & 128 & 128 \\ 128 & 128 & 128 & 128 \end{pmatrix}$$

Suponiendo que la imagen estudiada es el mapa de sombras de un entorno concreto, estudiado durante un periodo anual, los valores numéricos que corresponden al valor de gris de cada pixel permiten calcular su factor de obstrucción, y de él deducir las horas sol/año que reciben las superficies representadas en los pixeles de la imagen.

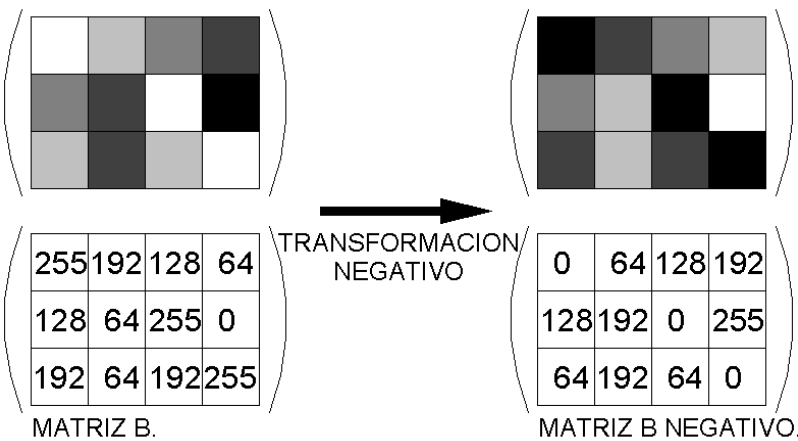
Una modificación en la geometría del entorno producirá una redistribución en los valores del factor de obstrucción sobre los puntos de la superficie, y por tanto, una variación en los tonos de gris de su mapa de sombras.

La imagen A, y su correlato numérico, la matriz A, representan el mapa de sombras correspondiente al estado original de un entorno estudiado. La imagen B y la matriz B representan el mapa de sombras obtenido después de modificar el entorno estudiado.

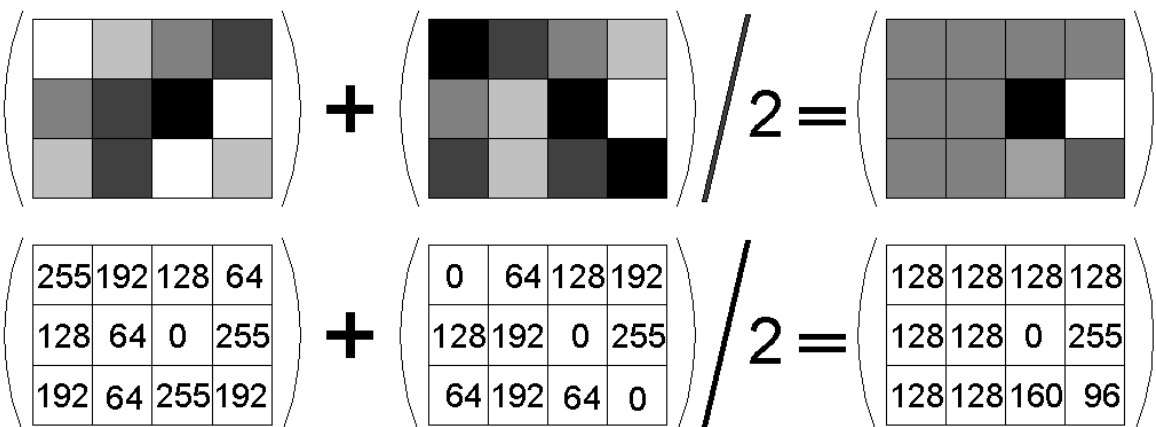


La modificación en el entorno que se propone produce a su vez una modificación en los valores de gris correspondiente a los pixeles (2,3) (2,4) (3,3) y (3,4) de la matriz B, manteniendo el mismo valor de gris para las demás posiciones de la matriz.

Con el fin de comparar ambas imágenes se propone calcular la media aritmética de la matriz A y del negativo de la matriz B. A continuación se muestra la transformación en negativo de la matriz B.



El resultado de la operación  $1/2[[A] + [B_{negativo}]] = [C]$  es el siguiente:



La información contenida en cada pixel de la imagen obtenida y los valores numéricos de su matriz asociada puede interpretarse en términos de pérdida o ganancia en el valor del factor de obstrucción.

En atención al valor numérico asociado a su tono de gris, los pixeles contenidos en la imagen resultado pueden clasificarse en tres grupos:

- valor numérico comprendido entre 0 y 127: Les corresponden tonos de gris comprendidos entre el negro y el gris medio. Son aquellos pixeles que, teniendo distinto valor numérico en la imagen A y B, han experimentado un incremento en el valor de su factor de obstrucción como consecuencia de las modificaciones del entorno. Su color oscuro se debe a que su valor numérico en la imagen B es mayor que en la imagen A. Al ser transformada en negativo el valor de B se aproxima al negro, y oscurece el valor del pixel en la imagen resultado;
- valor numérico 128: Le corresponde el gris medio. Son aquellos pixeles que representan puntos que no se han visto afectados por las modificaciones del entorno, y por tener el mismo valor de gris en las imágenes A y B no registran variación en el valor de su factor de obstrucción al ser procesados;
- valor numérico comprendido entre 129 y 255: Les corresponden tonos de gris comprendidos entre el gris medio y el blanco. Son aquellos pixeles que, teniendo distinto valor numérico en la imagen A y B, han sufrido un decremento en el valor de su factor de obstrucción como consecuencia de las modificaciones del entorno. Su color claro se debe a que su valor numérico en la imagen B es menor que en la imagen A. Al ser transformada en negativo el valor de B se aproxima al blanco, y aclara el valor del pixel en la imagen resultado.

De este modo, el valor numérico obtenido en la imagen resultado representa para cada pixel la desviación registrada entre el valor contenido en la imagen A, entorno en su estado inicial; y la imagen B entorno modificado. La matriz incremento del Factor de obstrucción puede calcularse a partir de la expresión anterior:

$$\Delta[F] = (A + B_{negativo}) = 2[C]$$

Para cada elemento de la matriz, y en base al valor del factor de obstrucción en función del valor numérico del gris pueden obtenerse las expresiones siguientes:

$$\text{Incremento del factor de obstrucción: } \Delta F = 1 - \left( \frac{G}{128} \right)$$

$$\text{Incremento de las Horas de sol/año: } \Delta Hsa = 4075,83 \left( 1 - \frac{G}{128} \right)$$



Por sustitución de los valores numéricos obtenidos en el ejemplo propuesto puede obtenerse el incremento del factor de obstrucción y el incremento de Horas de sol/año para cada posición de la matriz. Los valores obtenidos son los siguientes:

G	$\Delta F$	$\Delta H_{sa}$
0	+1	4075,83
96	+0,25	1018,95
128	0	$\pm 0$
160	-0,25	-1018,95
255	-1	-4075,83

La interpretación que se deriva de los datos numéricos obtenidos es la siguiente:

Partiendo de un entorno dado, cuyo mapa de sombras está representado por la matriz A, se han introducido determinadas modificaciones en su geometría, que dan por resultado el mapa de sombras representado por la matriz B.

Después de comparar ambas matrices, se obtiene como resultado la matriz C, donde puede apreciarse que la superficie representada por ocho píxeles obtiene como resultado el gris medio, mientras que otros cuatro obtienen distintos resultados.

Los píxeles correspondientes al gris medio no se ven afectados en su factor de obstrucción por el cambio en la geometría del entorno, mientras que los otros píxeles, aumentan o disminuyen el valor de su factor de obstrucción, y como consecuencia de ellos ganan o pierden horas de sol/año, en la cantidad recogida en la tabla anterior.

La división del rango completo de grises comprendidos entre el blanco y el negro en intervalos de 0.05 puede interpretarse en términos de pérdida o ganancia en los valores del factor de obstrucción.

Los valores de gris asociados a los incrementos del valor del factor de obstrucción producen la paleta siguiente:

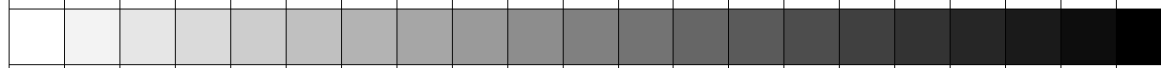
255	243	230	218	205	192	179	166	154	141	128	115	102	90	77	64	51	38	26	13	0
																				
-100	-90	-80	-70	-60	-50	-40	-30	-20	-10	0	+10	+20	+30	+40	+50	+60	+70	+80	+90	+100

fig. 245: PALETA DE 20 NIVELES DE GRISES CORRESPONDIENTE AL INCREMENTO DEL FACTOR DE OBSTRUCCIÓN.

El incremento de Horas de sol/año calculado a partir de los veinte valores de grises definidos en la paleta anterior permite evaluar en términos absolutos la pérdida o ganancia en las horas de sol/año que se produce para cada píxel de la imagen. Cabe destacar que como consecuencia de las modificaciones que se produzcan en el entorno, el rango de ganancia o pérdida de horas de sol debe ser considerado según su signo. En aquellos píxeles en que el color se aproxime al blanco, el incremento de horas sol/año es negativo, e implica una pérdida en las horas de sol, mientras que en aquellos píxeles en

que el color se aproxime al negro, el incremento de horas sol/año es positivo, y debe interpretarse como ganancia.

Valor de gris (G)	Variación del factor de obstrucción. (F)	Ganancia o pérdida Horas sol/año (Hsa)
255	-100	-4075,83
243	-90	-3668,24
230	-80	-3260,66
218	-70	-2853,08
205	-60	-2445,49
192	-50	-2037,91
179	-40	-1630,33
166	-30	-1222,74
154	-20	-815,16
141	-10	-407,58
128	0	±0,00
115	+10	+407,58
102	+20	+815,16
90	+30	+1222,74
77	+40	+1630,33
64	+50	+2037,91
51	+60	+2445,49
38	+70	+2853,08
26	+80	+3260,66
13	+90	+3668,24
0	+100	+4075,83

Como ejemplo de aplicación a un caso real, en el que evaluar el impacto en el soleamiento de un entorno construido de nuevas edificaciones se ha elegido el caso del Colegio del Pilar de Valencia.

El entorno objeto de estudio, en el que se incluye el Colegio del Pilar se encuentra situado en el cruce de la Avda. Blasco Ibáñez con la Avda. de Cataluña, ocupando una parcela rectangular recayente a ambas avenidas, con una altura de cinco plantas construidas en sus lados sur y oeste.

El resto de la parcela que ocupa está destinado a patio de recreo, cuyos lados libres lindan al norte y al este. Aunque el colegio data del principio de los años 60, el entorno urbanístico en el que se inserta es el típico de edificación abierta de los primeros años 70, con tipología de viviendas pasantes y un gran desarrollo en altura.

El Plan General De Ordenación Urbana de Valencia propone para el solar que se encuentra al este del Colegio del Pilar un edificio de viviendas de tipología de bloque lineal de 14 plantas de altura, cuyas sombras arrojadas durante algunos periodos de día recaerán sobre el patio de recreo, causando un evidente perjuicio a las funciones del

mismo. El edificio propuesto por el PGOU no está construido en la actualidad, dado que el Colegio ha paralizado la aplicación del planeamiento en la parcela colindante reivindicando su derecho al sol.

Para la evaluación de la distribución de horas sol/año en el entorno del Colegio del Pilar, se procede del mismo modo que en los casos anteriores analizados.

Primeramente es necesario delimitar el área de influencia en torno a la zona objeto de estudio, considerando la altura de las edificaciones. El área objeto de estudio se inscribe en un rectángulo de dimensiones aproximadas 650x850 m, quedando la Avda. de Blasco Ibañez centrada respecto del rectángulo y paralela al lado menor de este.

El primer mapa de sombras obtenido representa la imagen en planta de toda el área de influencia en torno al Colegio del Pilar, con el fin de obtener una imagen general del área, y detectar en grandes rasgos las características del soleamiento recibido por el plano horizontal.

De la observación del mapa de sombras se deduce que el área ocupada por el patio de recreo del Colegio del Pilar tiene unas buenas condiciones de soleamiento, registrando en su interior un valor máximo de  $F=0.2$ , equivalente a 3260,66 horas de sol/año. Dichas condiciones de soleamiento solo son superadas por la zona de la Avda. Blasco Ibañez en la parte central del área de estudio, la única válida a efectos prácticos, con valores efectivos de  $F=0.1$ .

El siguiente mapa de sombras obtenido es una axonometría del área completa vista desde el noroeste. En esta imagen puede apreciarse, además de la información ya recogida en planta, la distribución del soleamiento sobre las fachadas en la axonometría.

En este caso, y dado que las fachadas vistas recaen a las orientaciones norte y oeste, puede apreciarse la diferencia entre ambas orientaciones, siendo la orientación oeste más favorable que la norte respecto de las horas sol/año recibidas.

Para analizar el impacto de la nueva edificación propuesta por el PGOU al este del Colegio del Pilar se han obtenido en primer lugar los mapas de sombras correspondientes a la vista en planta y a una axonometría del área que se pretende analizar en su estado actual.

A continuación se han obtenido los mapas de sombras correspondientes a las mismas vista en planta y axonometría, introduciendo en este caso en la geometría del entorno el edificio propuesto por el PGOU.

Las imágenes así obtenidas permiten una primera comparación visual de los grises obtenidos en sus mapas de sombras:

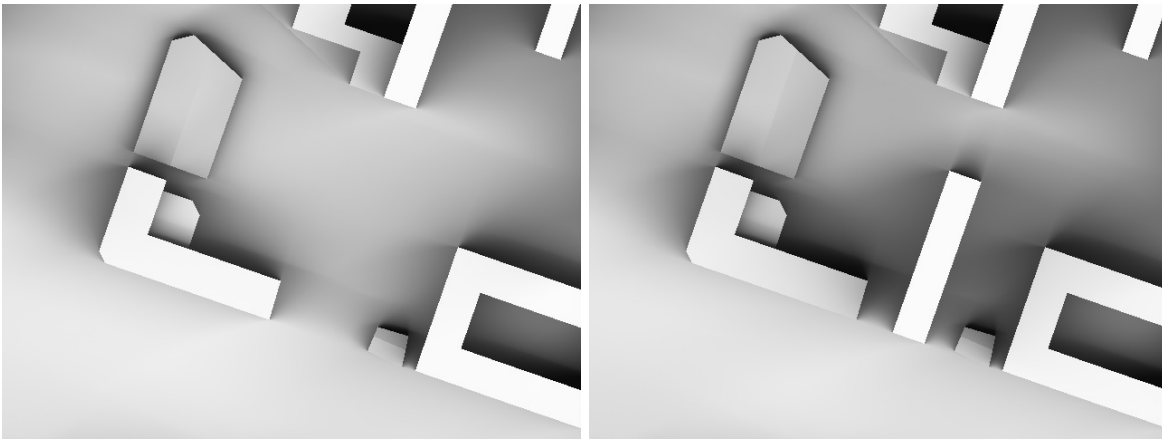


fig. 246: EL COLEGIO DEL PILAR. MAPAS DE SOMBRAS. PLANTA DEL ESTADO ACTUAL Y DE LA PROPUESTA DEL PGOU.

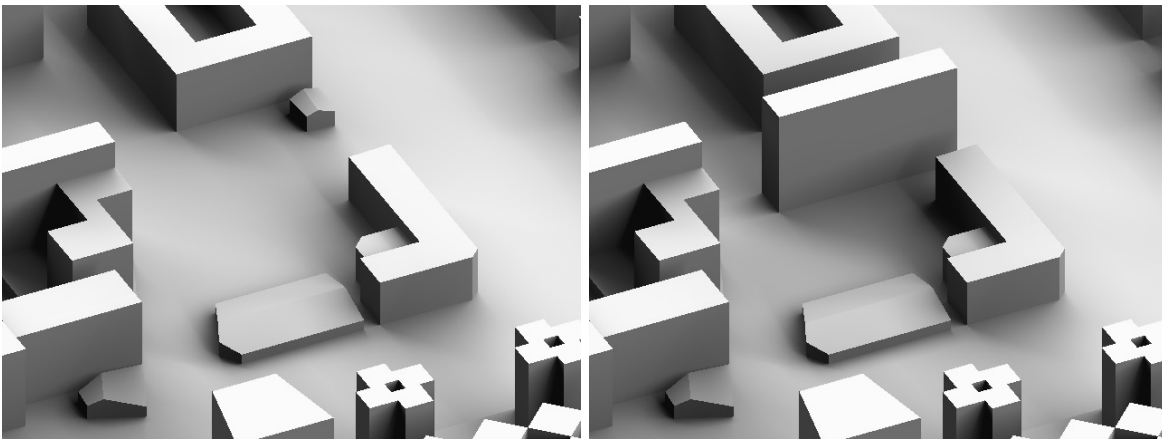


fig. 247: EL COLEGIO DEL PILAR. MAPAS DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA DEL ESTADO ACTUAL Y DE LA PROPUESTA DEL PGOU.

Para obtener una imagen representativa de la diferencia entre el estado actual y la propuesta del PGOU se calcula una imagen resultado de componer el estado actual con el negativo de la propuesta del PGOU, por aplicación de la fórmula:

$$1/2[[A]+[B_{negativo}]] = [C]$$

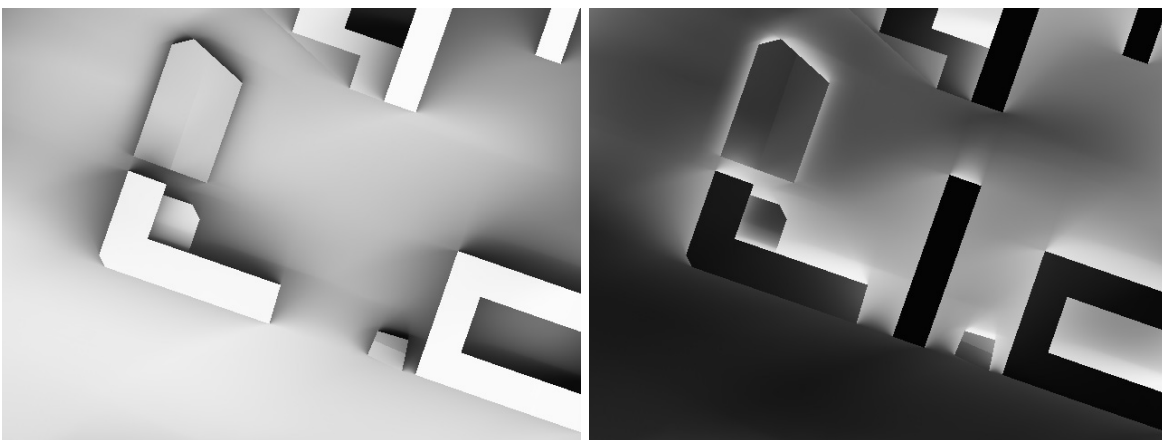


fig. 248: EL COLEGIO DEL PILAR. MAPAS DE SOMBRAS. PLANTA DEL ESTADO ACTUAL Y NEGATIVO DE LA PROPUESTA DEL PGOU.

Cuyo resultado es la imagen siguiente:

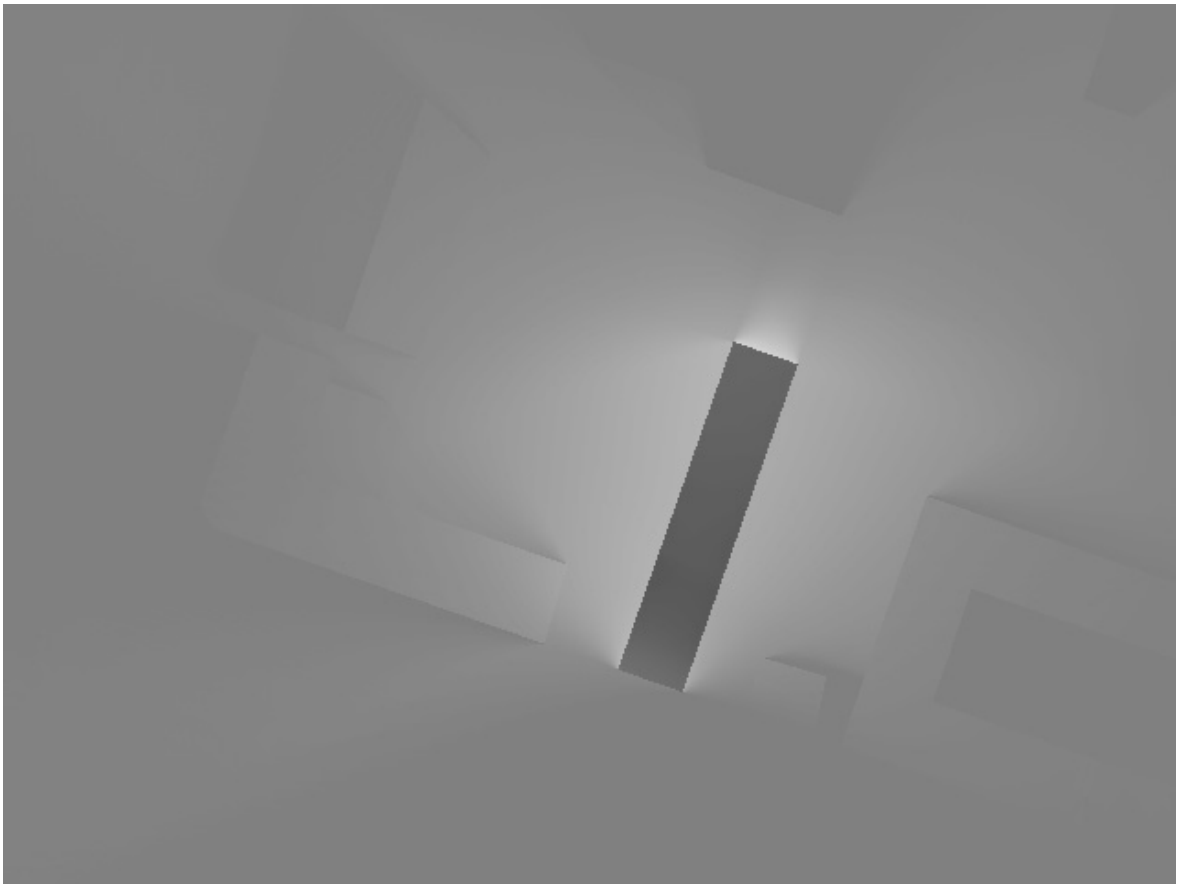


fig. 249: EL COLEGIO DEL PILAR. MAPAS DE SOMBRAS. PLANTA DE LA DIFERENCIA ENTRE EL ESTADO ACTUAL Y LA PROPUESTA DEL PGOU.

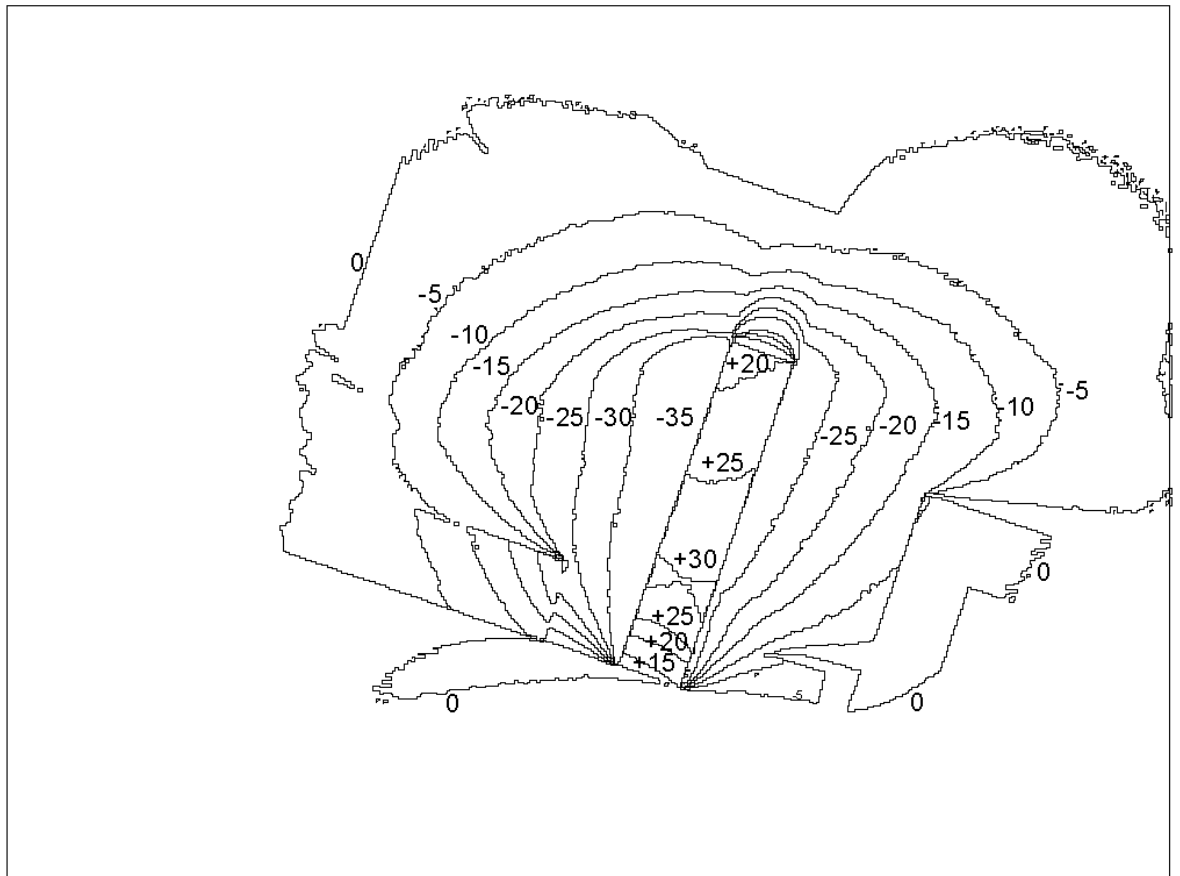


fig. 250: EL COLEGIO DEL PILAR. LINEAS DE IGUAL INCREMENTO DEL FACTOR DE OBSTRUCCION. PLANTA DE LA DIFERENCIA ENTRE EL ESTADO ACTUAL Y LA PROPUESTA DEL PGOU.

Del análisis de la imagen obtenida en función de los valores de grises se deduce que aquellos píxeles cuyo valor de gris está en torno al valor 128, del gris medio no sufren alteraciones en el valor de su factor de obstrucción, debido a la introducción del nuevo edificio al este del Colegio del Pilar. En cambio, aquellos píxeles cuyo valor se aproxima al blanco han sufrido una pérdida en el número de Horas sol/año, debido al incremento del factor de obstrucción.

También cabe destacar que los píxeles comprendidos dentro de la planta del edificio propuesto por el PGOU experimentan una ganancia en el número de horas sol/año. Este hecho es debido a que la imagen obtenida por diferencia es una planta, y la diferencia de valores calculados en el interior del perímetro del nuevo edificio resulta de restar los valores del plano horizontal del estado actual, a los valores de la cubierta del edificio propuesto.

FIGURA 251: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. PLANTA Y ALZADO.

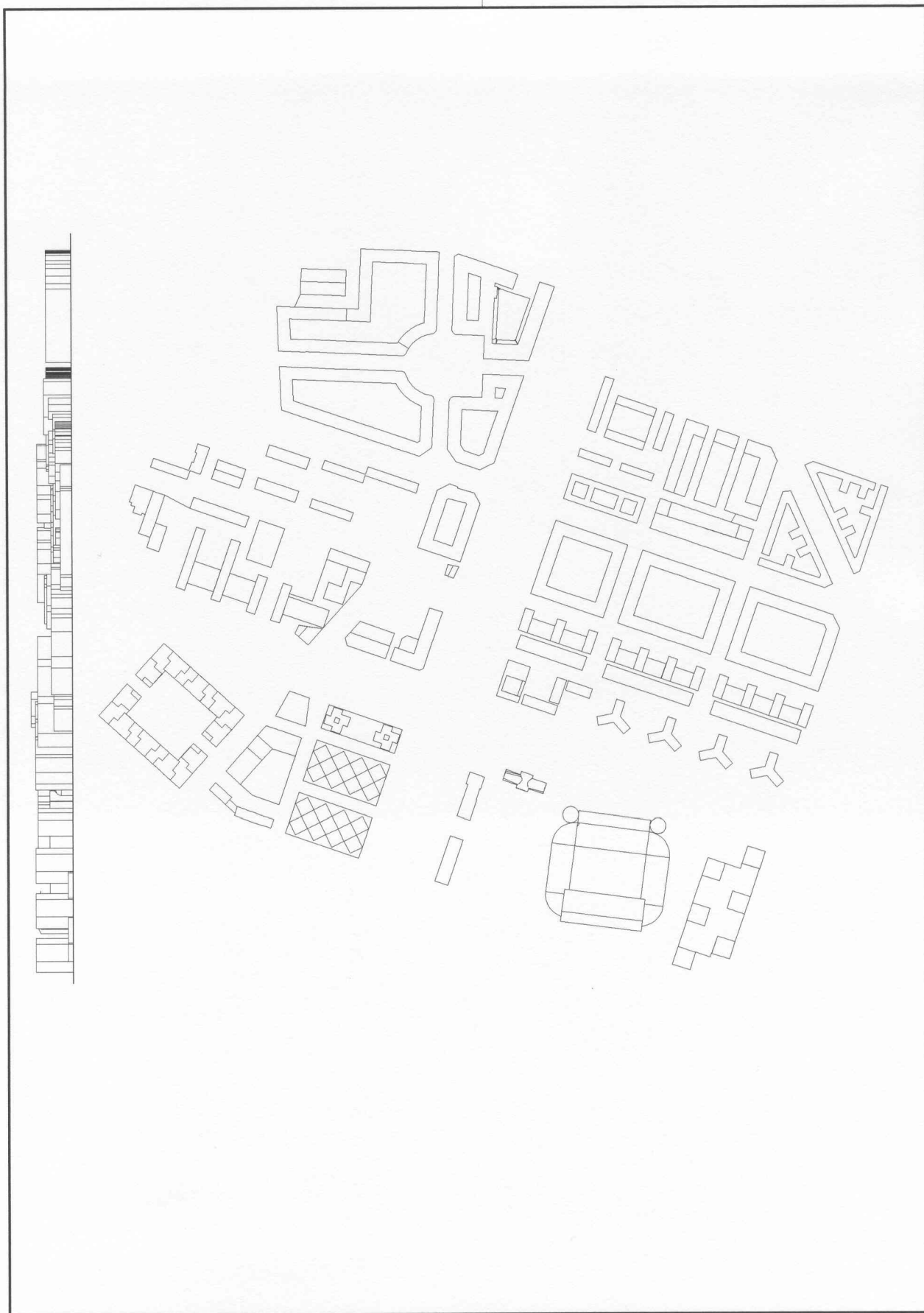






FIGURA 252: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. AXONOMETRIA.

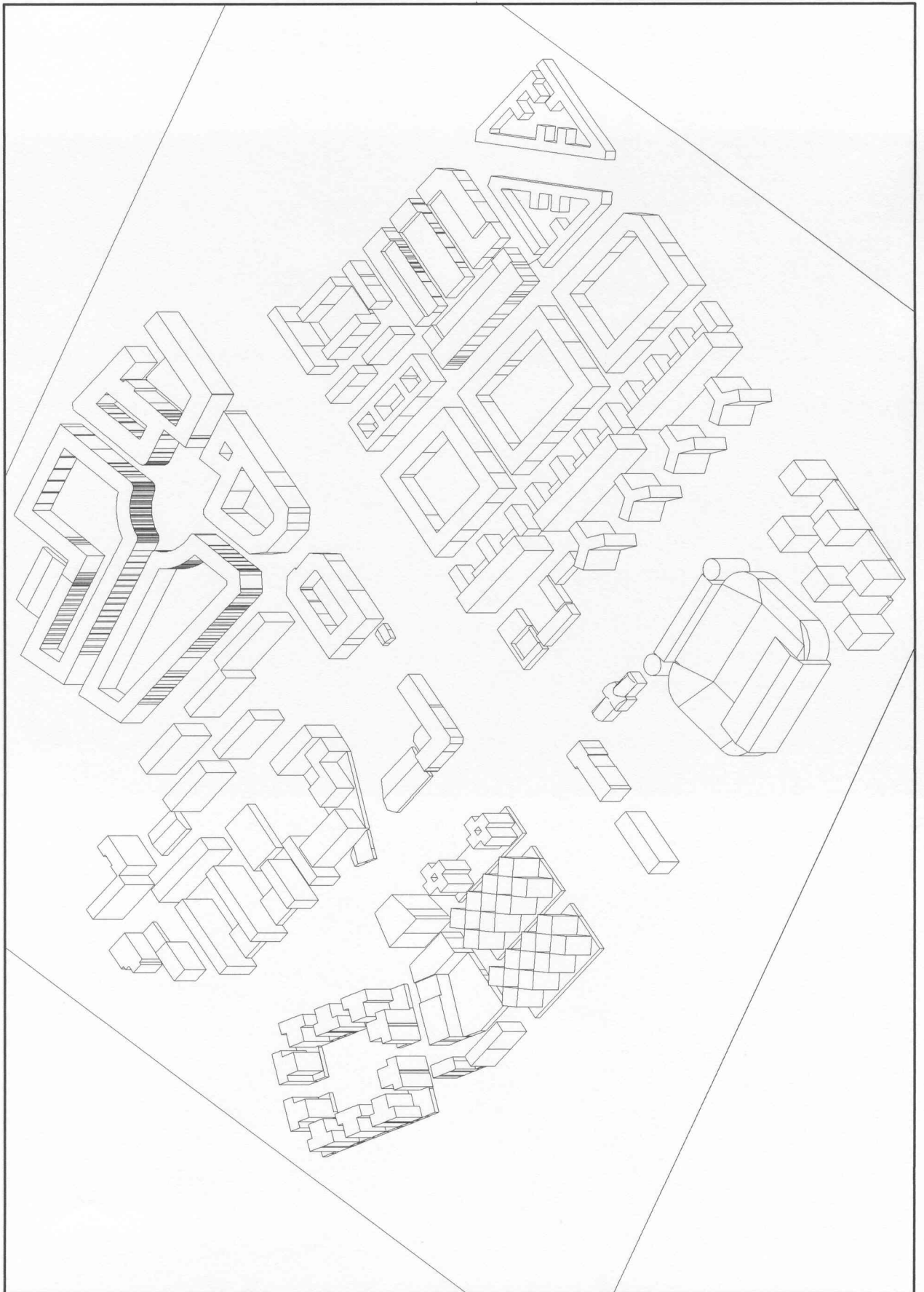




FIGURA 253: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO. EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. PROPUESTA DEL P.G.O.U.

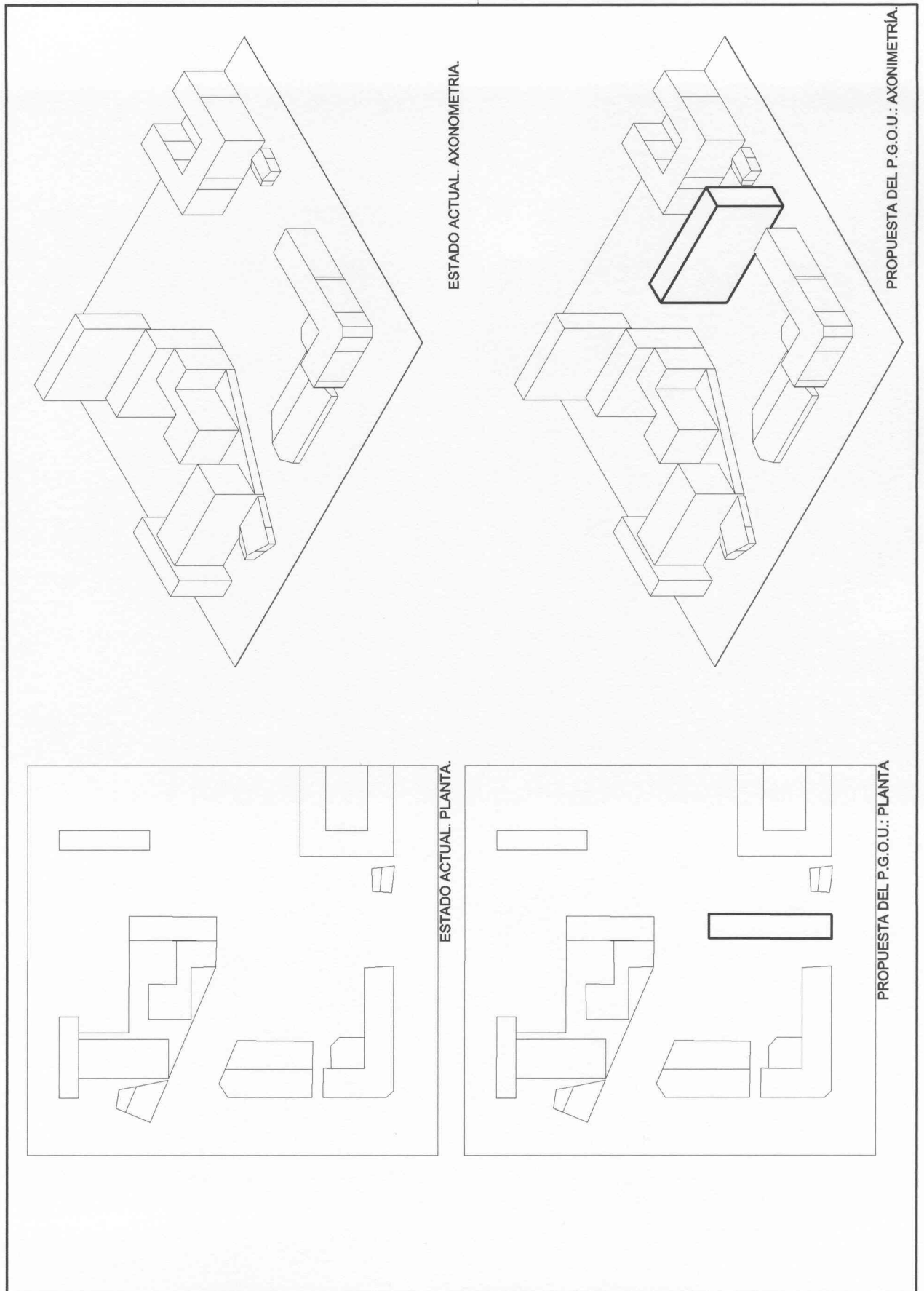




FIGURA 254: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA .

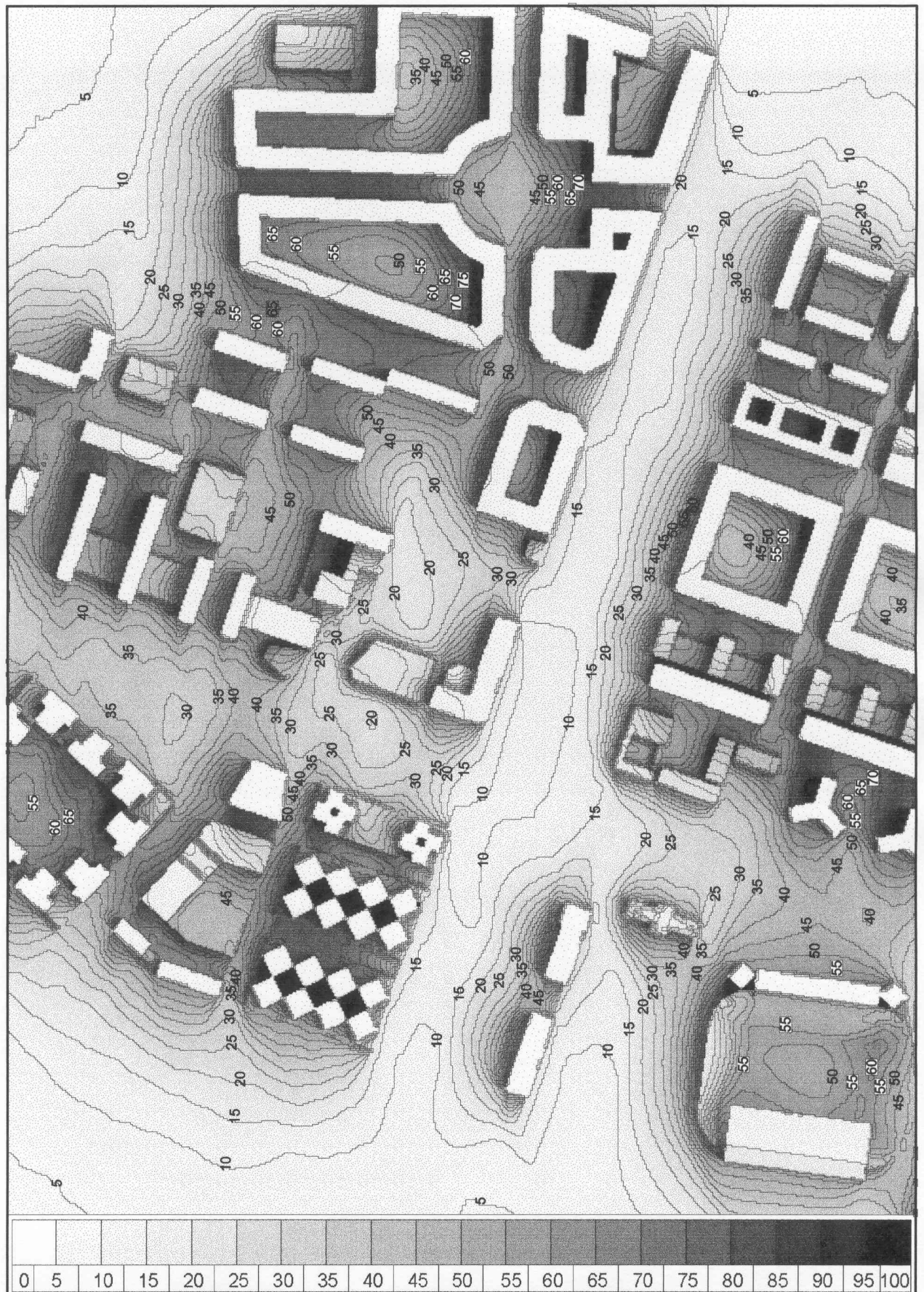






FIGURA 255: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL COLEGIO DEL PILAR DE VALENCIA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.

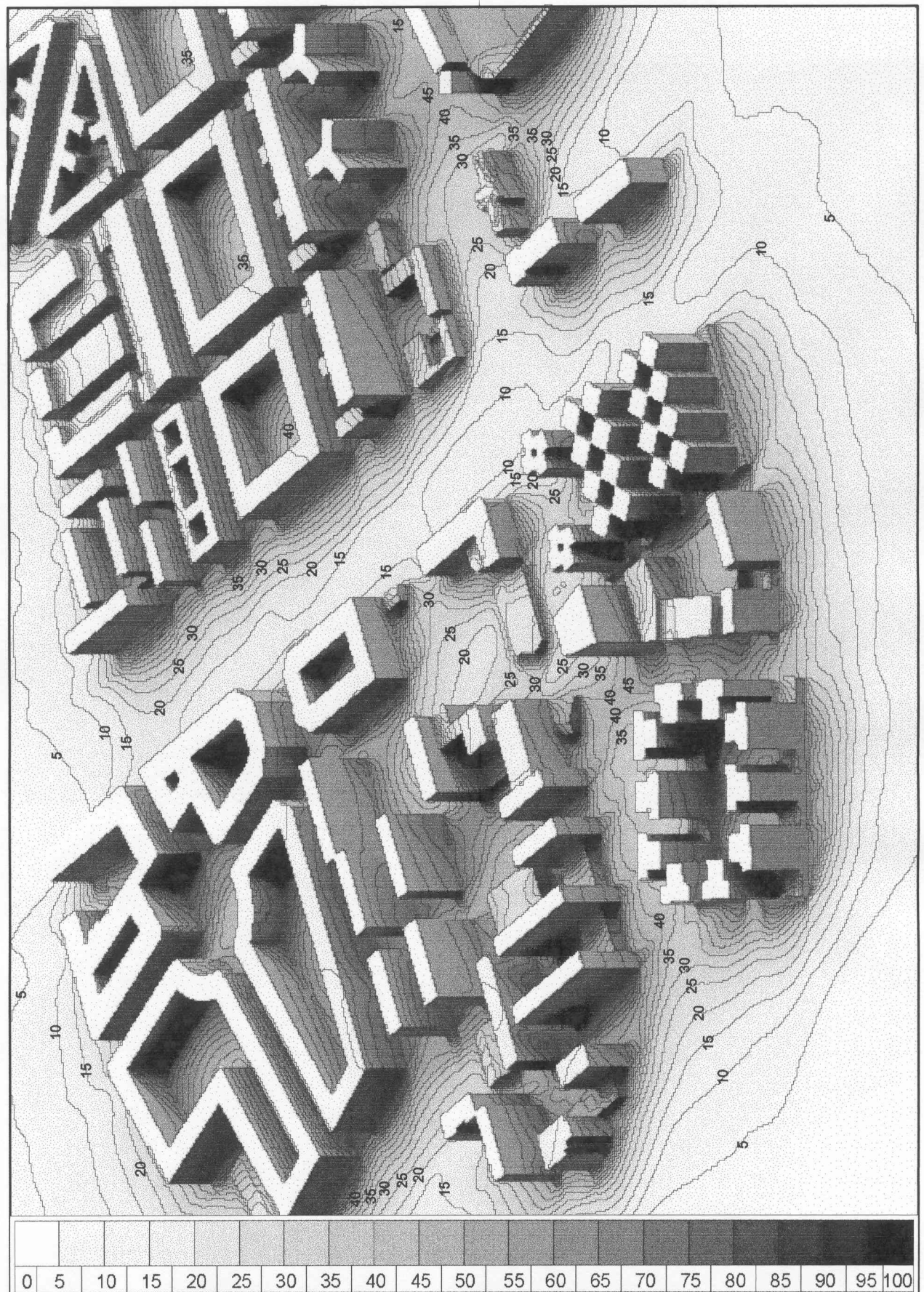






FIGURA 256: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
COLEGIO DEL PILAR. ESTADO ACTUAL. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.

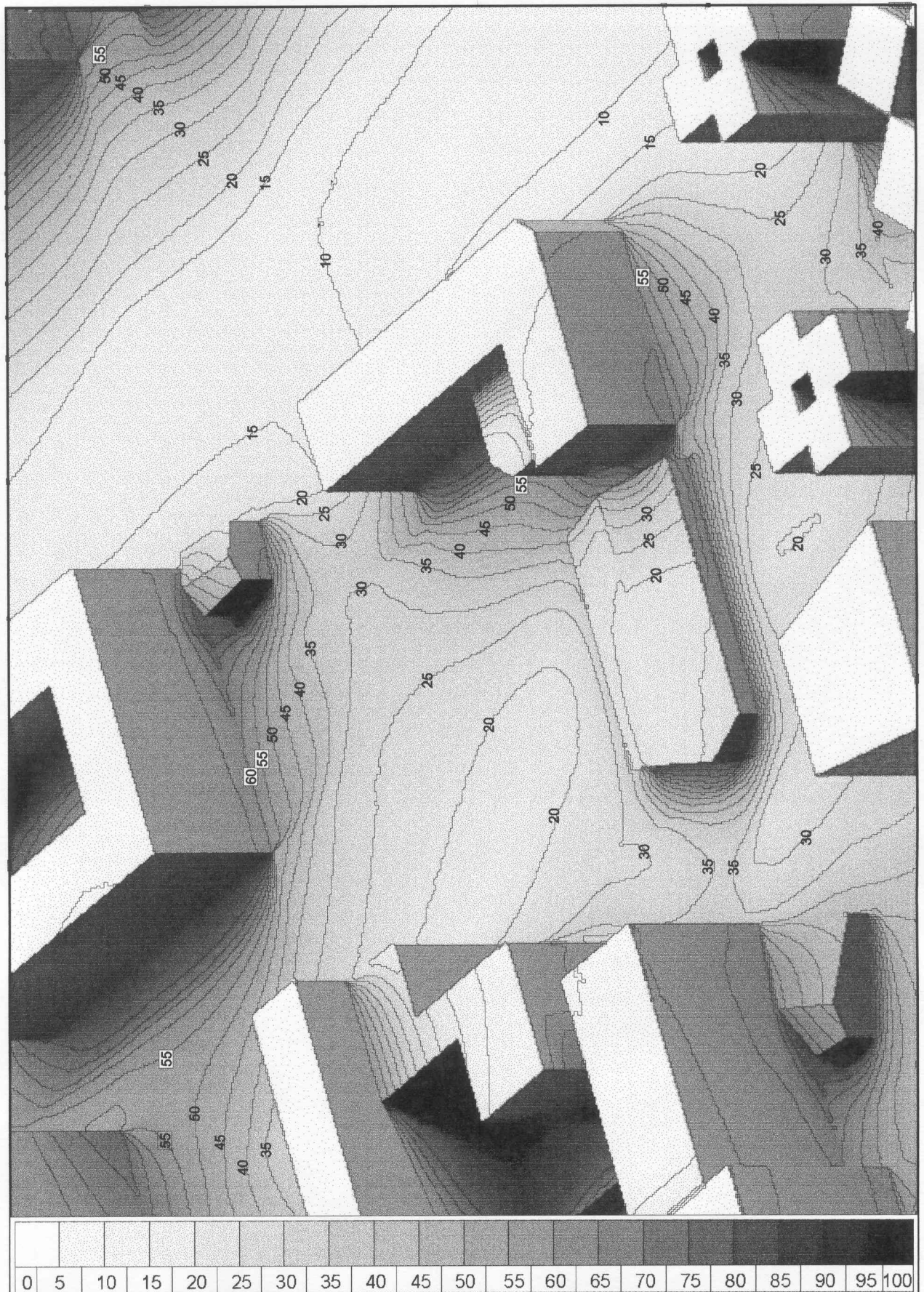




FIGURA 257: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL COLEGIO DEL PILAR. PROPUESTA P.G.O.U. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.

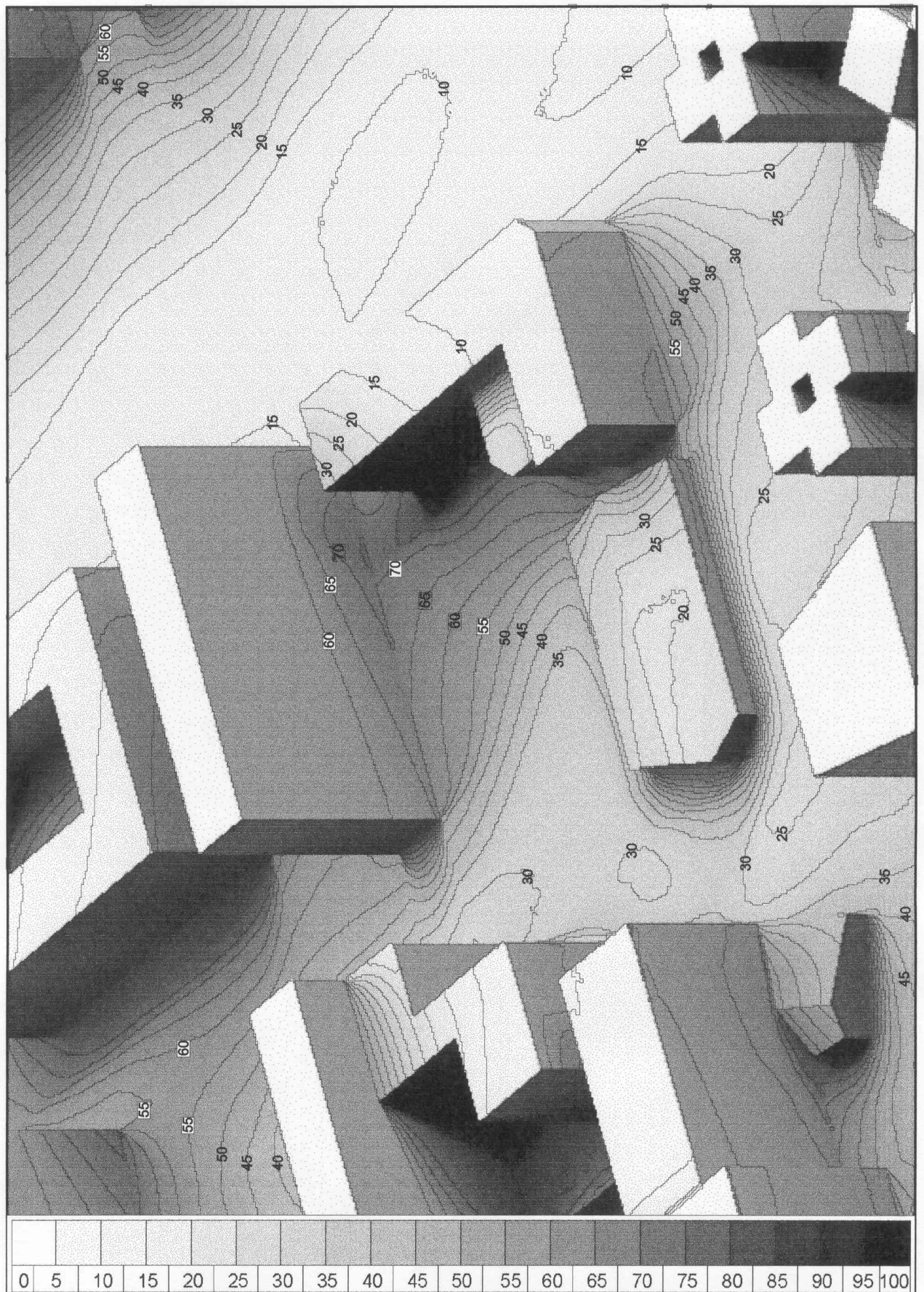






FIGURA 258: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL COLEGIO DEL PILAR. ESTADO ACTUAL. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.

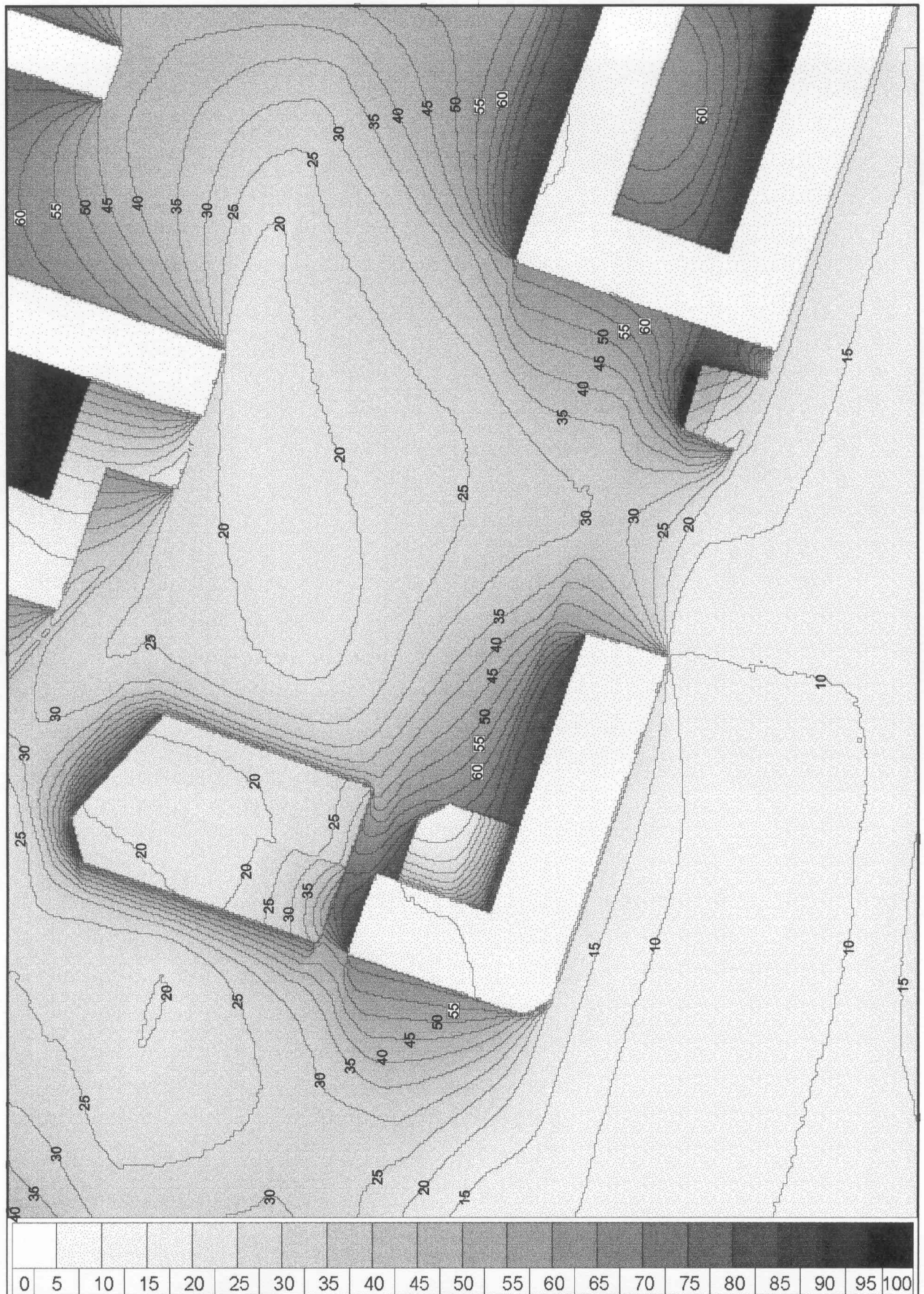




FIGURA 259: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
EL COLEGIO DEL PILAR. PROPUESTA DEL PGOU. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.

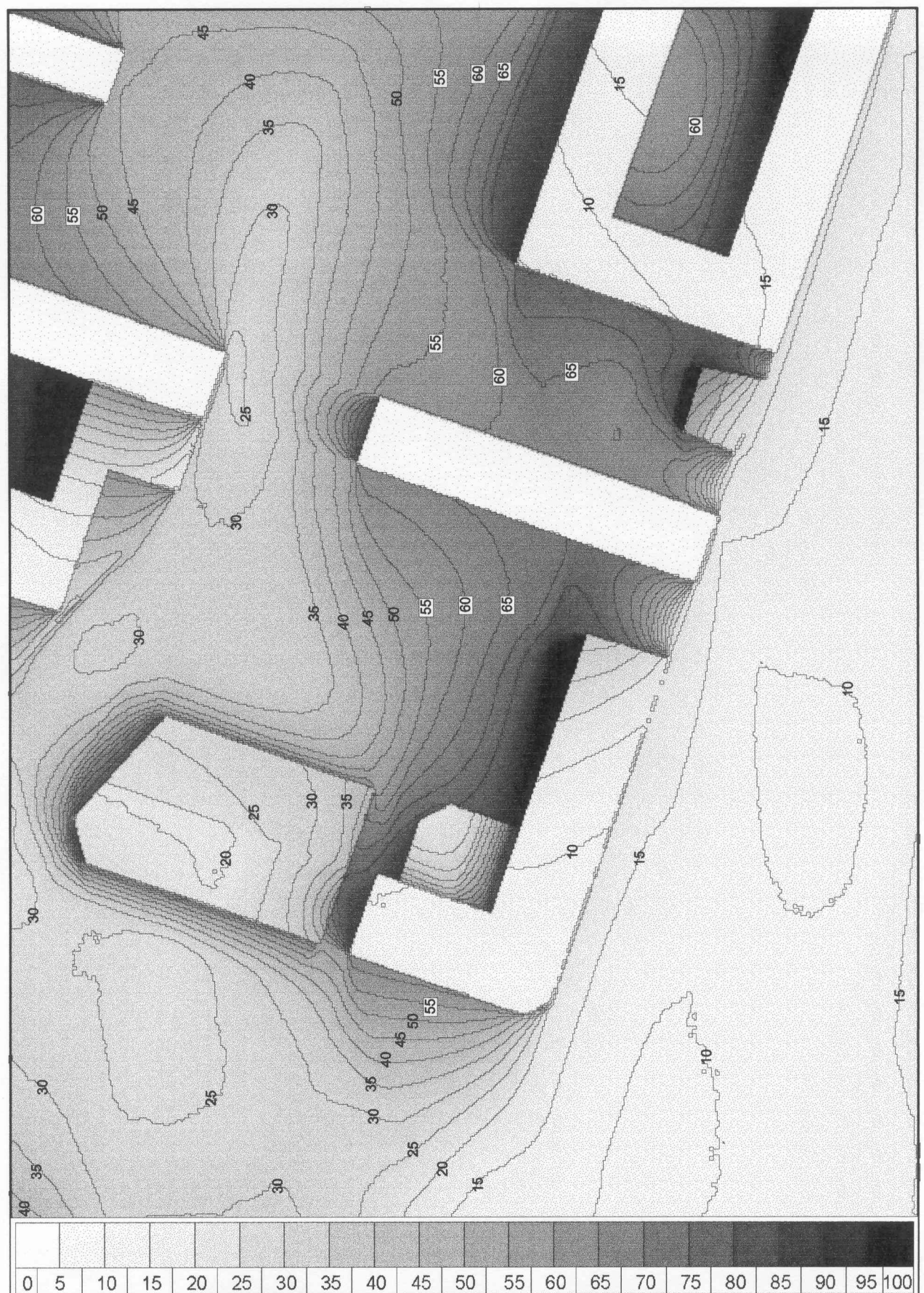
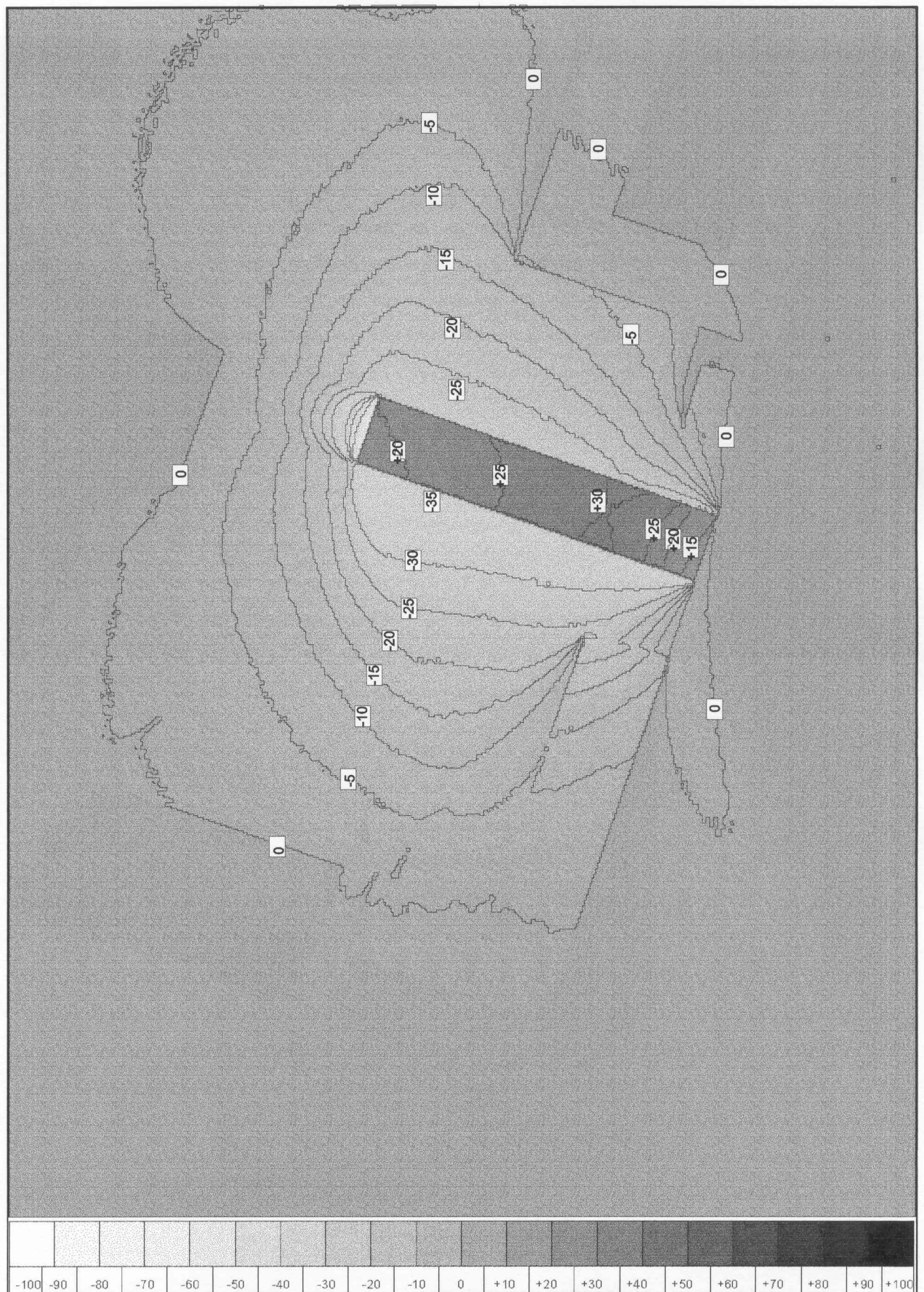






FIGURA 260: APLICACIONES AL PLANEAMIENTO URBANISTICO.  
 EL COLEGIO DEL PILAR. IMPACTO PROPUESTA DEL PGOU. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.





## 5.5. Aplicaciones al territorio

La estructura del territorio está condicionada en gran medida por los elementos físicos que configuran su naturaleza. Las decisiones sobre la ubicación de los asentamientos humanos, el trazado de vías de comunicación y la asignación de usos y funciones a determinadas áreas del territorio están condicionadas por el relieve topográfico del mismo.

La zonificación del territorio, atendiendo a su topografía, puede calificar determinadas áreas como aptas o no aptas para determinadas funciones. Los asentamientos humanos, y los usos agrícolas asociados a las mismas necesitan de unas condiciones mínimas de soleamiento para ser llevadas a cabo de modo satisfactorio.

El factor que condiciona el soleamiento recibido por el territorio es el relieve topográfico, y la capacidad del mismo para arrojar sombras sobre sí. Un relieve topográfico con pocos accidentes significativos no dificulta la recepción del sol durante el periodo anual en ninguno de sus puntos; mientras que un relieve escarpado puede producir la obstrucción solar en determinadas áreas durante periodos de duración significativa. Por todo ello, se plantea la necesidad del análisis de la incidencia solar sobre el territorio condicionada por la topografía.

El estudio del soleamiento por el procedimiento que se propone requiere como elemento de partida un modelo informático tridimensional sobre el que aplicar el movimiento solar, para obtener una secuencia de imágenes que procesar. Dicho Modelo Digital del Terreno (MDT) debe tener capacidad para reproducir la topografía con una aproximación suficiente, mediante un número de puntos, ubicados por sus coordenadas X, Y y Z.

El procedimiento de cálculo de sombras propias y arrojadas mediante programas informáticos requiere de la definición de superficies opacas, que puedan producir las sombras que analizar. Las superficies así definidas deben representar la topografía con una aproximación suficiente, para que el análisis de las sombras producidas sea aplicable a las sombras producidas en la realidad.

Los programas informáticos de tratamiento de la topografía ofrecen dos alternativas para generar Modelos Digitales del Terreno. Estas alternativas son:

- MDT de Malla Cuadrada: a partir de las coordenadas de una nube de puntos situados sobre el terreno, y definido un paso de malla el programa genera una superficie adaptada a los puntos, tal que su proyección en planta es una malla cuadrada del ancho definido. Cada una de las líneas de la malla cuadrada en planta producen sobre el terreno una sección vertical. El conjunto de secciones verticales paralelas a uno de los lados del cuadrado son equidistantes entre sí, de modo que el resultado obtenido puede interpretarse como un sistema de planos acotados. La imagen obtenida en planta no es significativa respecto de la

interpretación visual del terreno; en cambio los alzados y axonometrías permiten una lectura satisfactoria del relieve topográfico representado.

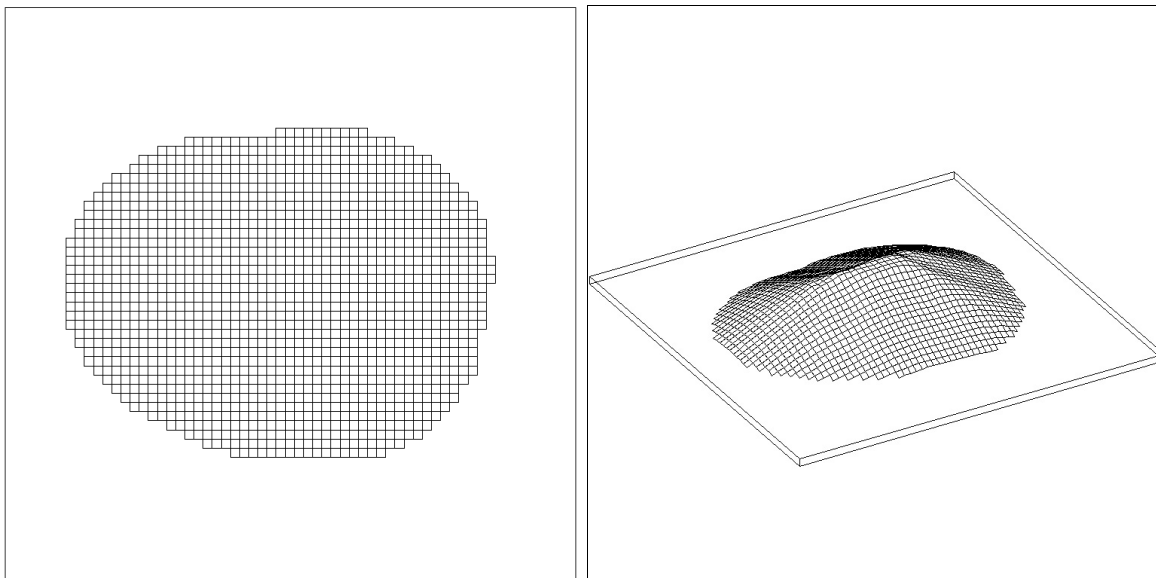


fig. 261: REPRESENTACIÓN EN PLANTA Y AXONOMETRÍA DE UN MODELO DIGITAL DEL TERRENO DE MALLA CUADRADA.

- MDT de Malla Triangular: a partir de las coordenadas de una nube de puntos situados sobre el terreno, y establecida una distancia máxima de búsqueda entre puntos el programa genera una superficie de modo que los puntos definidos son vértices de una malla triangular adaptada al terreno. En el ejemplo que se muestra a continuación, los puntos que definen la superficie están agrupados por cotas; de modo que las líneas que unen todos los puntos de misma cota definen en planta una proyección de la topografía en sistema acotado.

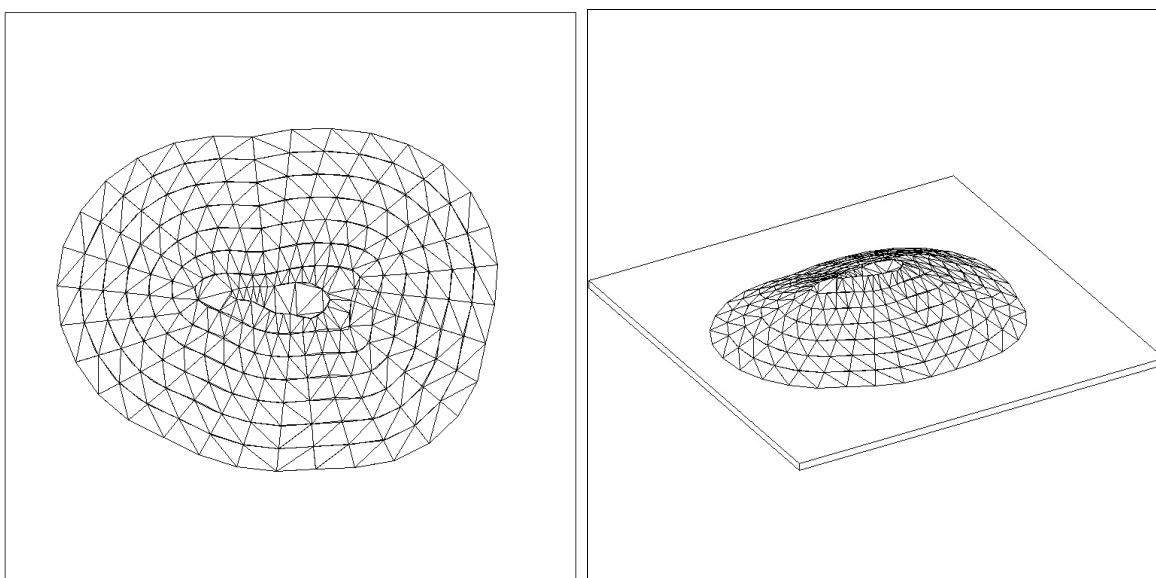


fig. 262: REPRESENTACIÓN EN PLANTA Y AXONOMETRÍA DE UN MODELO DIGITAL DEL TERRENO DE MALLA TRIANGULAR.

Ambos MDT son válidos para el cálculo de sombras propias y arrojadas. Si bien el MDT de malla cuadrada representa el terreno con más exactitud, dado que sus elementos diferenciales de superficie son más pequeños, los procesos de cálculo de sombras propias y arrojadas se alargan considerablemente, al ser necesario procesar un

volumen de información mucho mayor. Con el fin de comparar los resultados obtenidos por aplicación del procedimiento a ambos modelos se han calculado los mapas de sombras correspondientes al día 22 de diciembre.

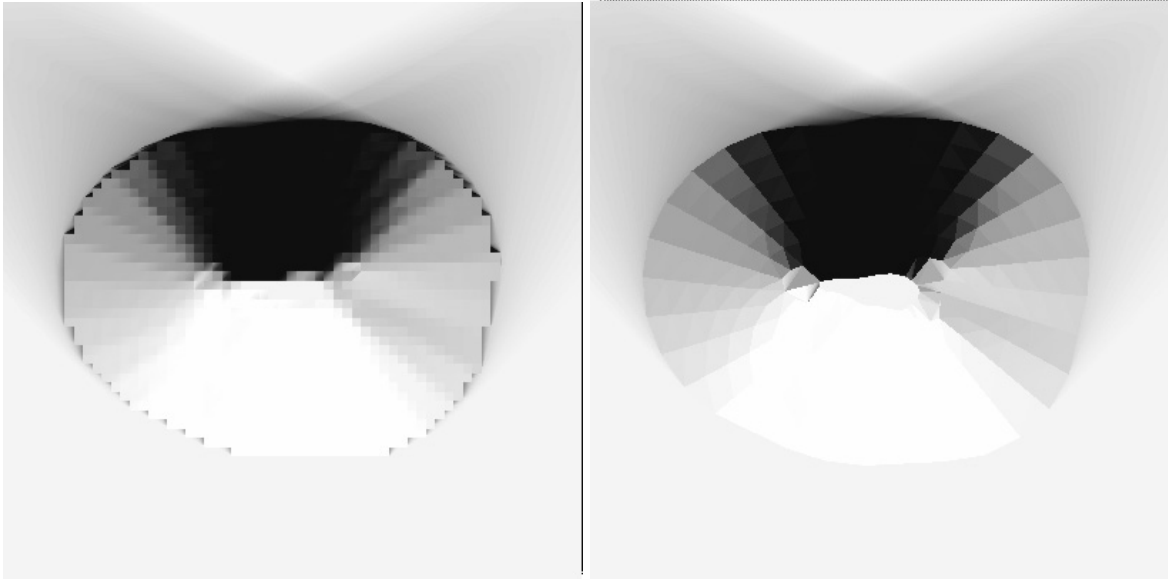


fig. 263: PLANTA. MAPAS DE SOMBRAS CORRESPONDIENTES AL DÍA 22 DE DICIEMBRE DEL MDT DE MALLA CUADRADA Y DEL MDT DE MALLA TRIANGULAR.

Los resultados obtenidos en ambos casos son comparados calculando su diferencia, que produce la imagen siguiente:

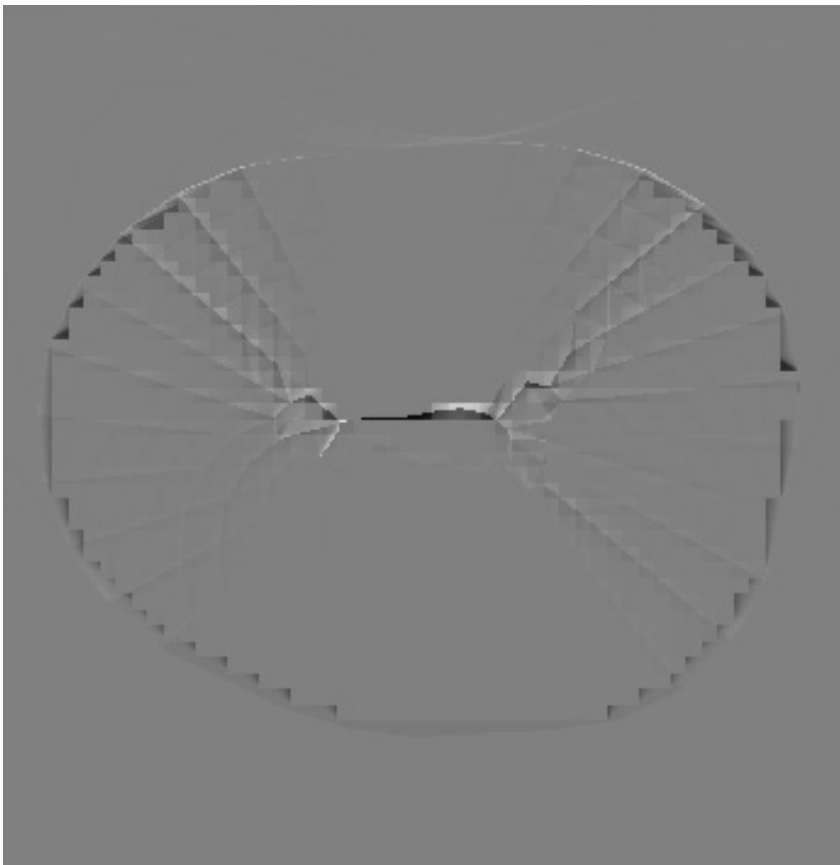


fig. 264: PLANTA. MAPAS DE SOMBRAS CORRESPONDIENTE A LA DIFERENCIA DEL MDT DE MALLA CUADRADA Y DEL MDT DE MALLA TRIANGULAR.

En la imagen diferencia se aprecia que las distintas interpretaciones de la sombra que proporcionan ambos modelos son perfectamente equivalentes a efectos del cálculo de mapas de sombras, aunque se producen algunas discrepancias.

Las discrepancias más significativas se producen en el contacto con el plano horizontal en ambos modelos. Mientras que el MDT de malla cuadrada produce un dentado en la transición con el plano horizontal, el MDT de malla triangular se adapta sin dejar espacios residuales que produzcan sombra. También se aprecian algunas ligeras discrepancias en las zonas donde los lados de la malla triangular coinciden con la dirección de la diagonal de la malla cuadrada, debido a la distinta orientación de los diferenciales de superficie.

Dado que ambos modelos son válidos para el estudio de sombras sobre la topografía se ha optado por utilizar el MDT de malla triangular, puesto que obteniendo resultados comparables a los obtenidos por el MDT de malla cuadrada, simplifica considerablemente los procesos de cálculo informático de sombras, además de tener una mayor flexibilidad y capacidad de adaptación a cualquier accidente topográfico.

En los puntos siguientes del presente apartado se propone el estudio de la incidencia solar, y del factor de obstrucción correspondiente sobre distintos modelos topográficos. En primer lugar se estudia la incidencia solar sobre un modelo topográfico de prueba, con el fin de evaluar la capacidad de una topografía genérica para producir sombras propias y arrojadas, y a partir de ellas, para producir mapas de sombras significativos.

Validados los procedimientos para la representación topográfica se estudia la topografía representada en tres hojas del mapa topográfico de la Provincia de Valencia. Las tres hojas pertenecen al cuadrante N° 768, correspondiente al Valle de Ayora, sito en el límite sur de la provincia de Valencia, y colindante con las provincias de Alicante y Albacete. La elección de esta área para el estudio de mapas de sombras se debe a que presenta una topografía lo suficientemente accidentada para producir sombras propias y arrojadas significativas.

### 5.5.1. Modelo Topográfico de prueba

Antes de proceder al análisis de una topografía real, se propone el análisis de un modelo, sobre el que poder comprobar que la incidencia solar sobre una topografía genérica produce resultados satisfactorios.

La representación de una topografía mediante un Modelo Digital del Terreno produce una entidad tridimensional delimitada por caras planas, cuya pendiente representa de modo aproximado la pendiente natural del terreno. La capacidad del modelo para producir sombras propias y arrojadas bajo la incidencia solar depende de la orientación y de la pendiente de las caras del MDT. Dicha pendiente, en entornos en que la orografía no presente accidentes de relevancia, no excede por lo general del 15%, por lo que la existencia de sombras propias y arrojadas está limitado a las primeras y últimas horas del día. En las horas centrales, cuando el sol registra su máxima altura sobre el horizonte, por lo general no se producen sombras significativas.

Dado que el proceso de obtención de mapas de sombras precisa del cambio de tono los píxeles de la imagen, cabe analizar los procesos de cambio de tono de los mismos. Además de la capacidad del modelo de producir sombras propias y arrojadas, los píxeles de la imagen sufren también un oscurecimiento significativo cuando la luz solar se aproxima a la dirección rasante a la cara. Estos valores de gris, aún no siendo totalmente negro, se incorporan como valor numérico al cálculo del valor final de mapa de sombras, dado que representan condiciones de soleamiento débil sobre las caras modelizadas.

Con el fin de validar la interacción entre los MDT y los procesos de obtención de mapas de sombras se propone el estudio y análisis de un primer modelo de prueba. Se propone la generación de una topografía a partir de la matriz de control utilizada en el punto 4.1 para el cálculo gráfico analógico del factor de obstrucción. Dicha matriz estaba formada por una malla cuadrada de dimensiones 100x100 unidades, con un ancho de malla de 10 unidades, en cuyas intersecciones se localizan 121 puntos. Dichos puntos en el modelo original se disponían sobre un plano horizontal, que a efectos del modelizado de la superficie se le puede asignar un valor de cota igual a cero. Con el fin de generar una topografía sobre la matriz se asigna a los puntos de la misma un valor de cota aleatorio comprendido entre 0 y 2 unidades. A partir de la nube de puntos obtenida se genera un MDT de malla triangular, donde la proyección en planta de los triángulos modelizados resultan rectángulos isósceles, cuyas hipotenusas coinciden con la dirección de la diagonal de la malla cuadrada. La pendiente máxima de las caras modelizadas en estas condiciones tiene un valor:

$$p = \frac{\sqrt{2}}{5} = 0,2828427$$

Sobre la topografía así generada se obtiene un primer mapa de sombras, donde el valor máximo del factor de obstrucción obtenido para el periodo anual es de  $F=0.15$ . Estos valores bajos del factor de obstrucción responden al hecho de que la topografía

representada no tiene accidentes significativos que produzcan largos periodos de sombra.

Una vez validada la interacción entre una topografía representada por un MDT de malla triangular, y la obtención de su mapa de sombras correspondiente al periodo anual se propone evaluar la capacidad de la topografía de recibir sombras arrojadas por otros objetos. Se propone para ello el estudio de un modelo donde, además de la topografía generada se introducen los dos prismas que configuraban el entorno estudiado en el punto 4, evaluando la capacidad del modelo para producir mapas de sombras arrojadas sobre la topografía planta, en alzado y en axonométrico.

Las imágenes siguientes muestran en primer lugar la definición geométrica del modelo estudiado. A continuación se muestra el mapa de sombras en planta para el periodo anual correspondiente a la topografía generada, y por último se muestran los mapas de sombras correspondientes al periodo anual generados por la topografía tras introducir los prismas. Dicho mapa de sombras se muestra en planta, en alzado, y en una axonometría.



FIGURA 265: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
MODELO TOPOGRÁFICO DE PRUEBA. PLANTA, ALZADO Y AXONOMETRÍA.

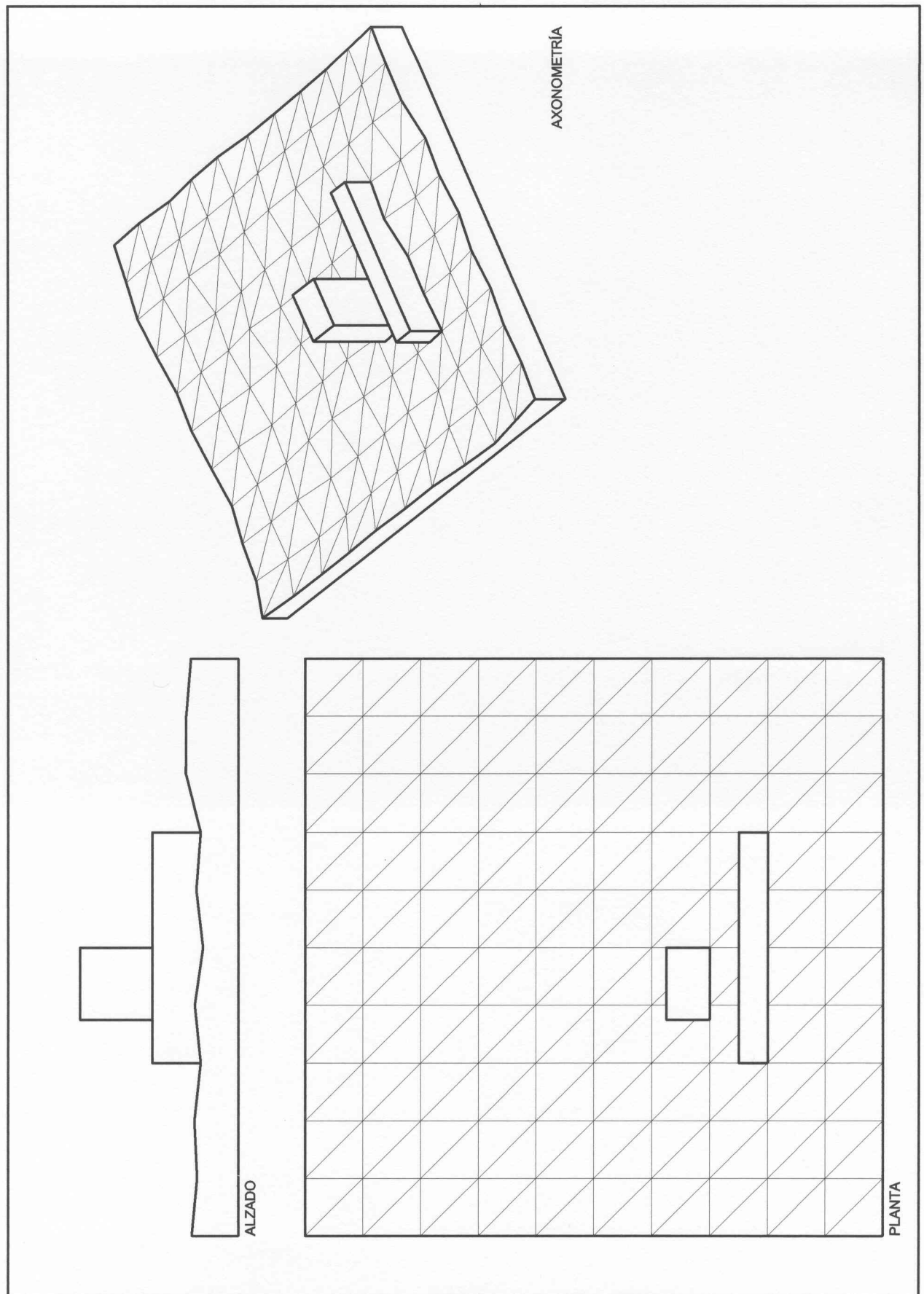




FIGURA 266: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
MODELO TOPOGRÁFICO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA SIN PRISMA.

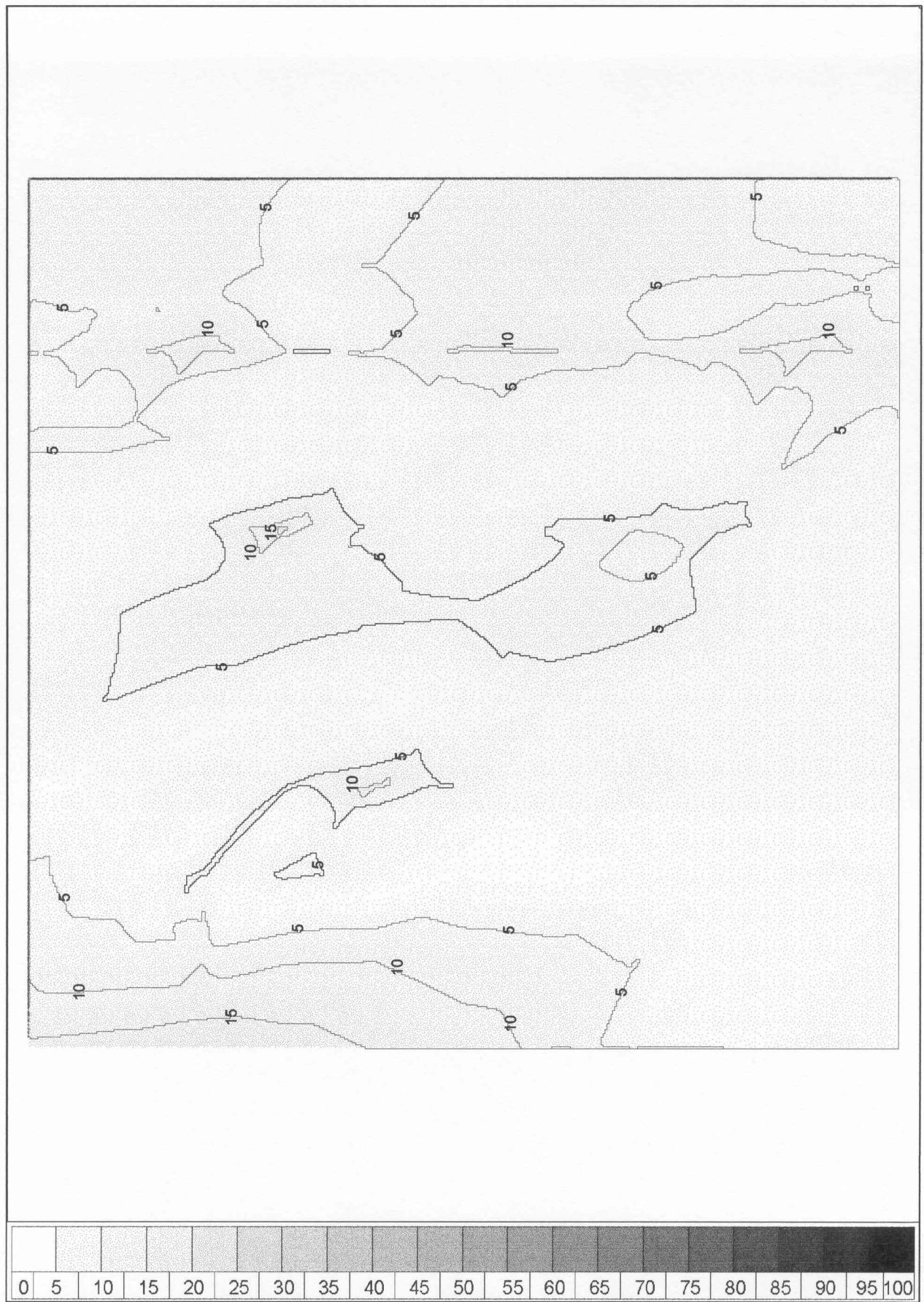




FIGURA 267: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
MODELO TOPOGRÁFICO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. PLANTA.

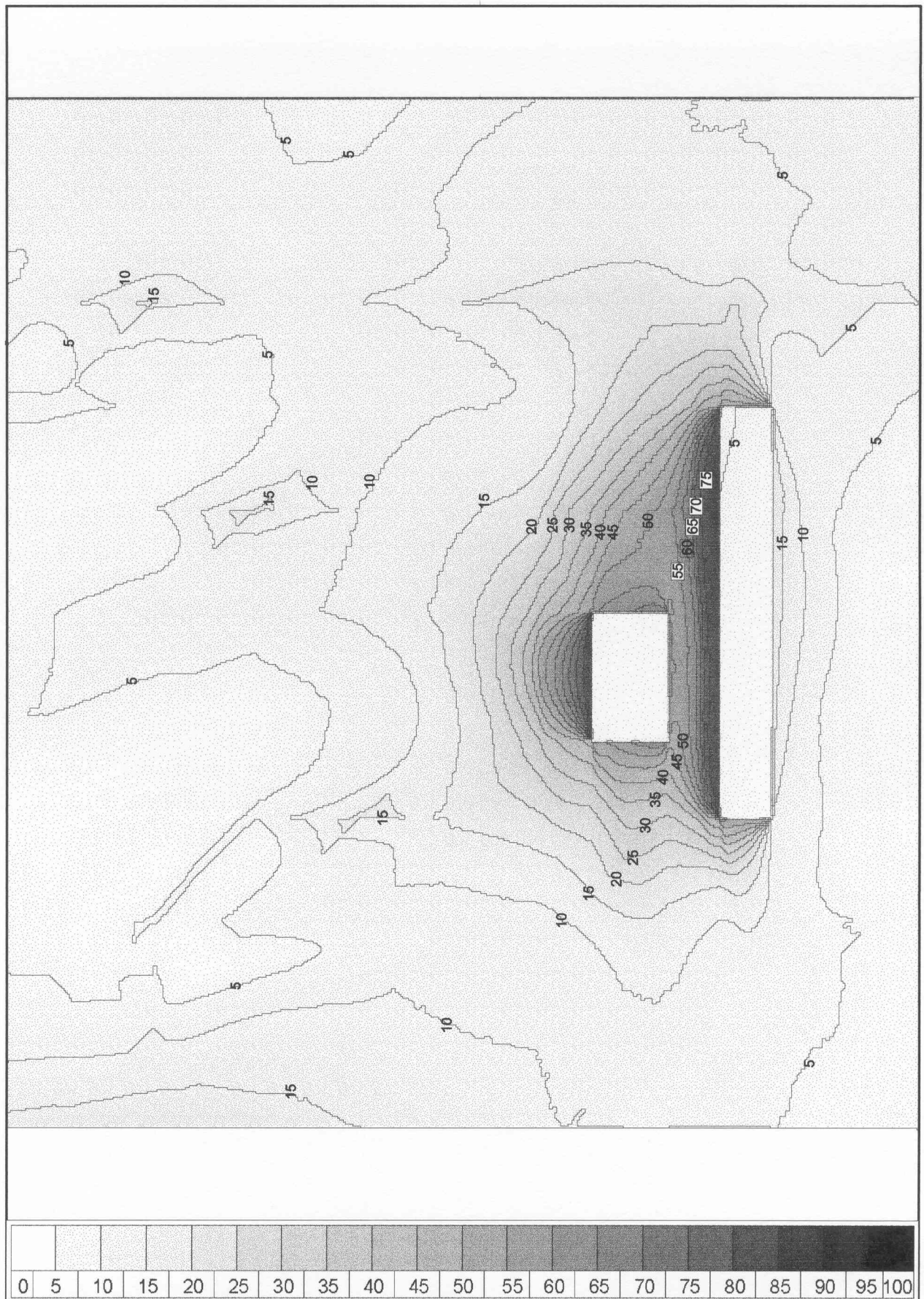






FIGURA 268: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
MODELO TOPOGRÁFICO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. ALZADO.

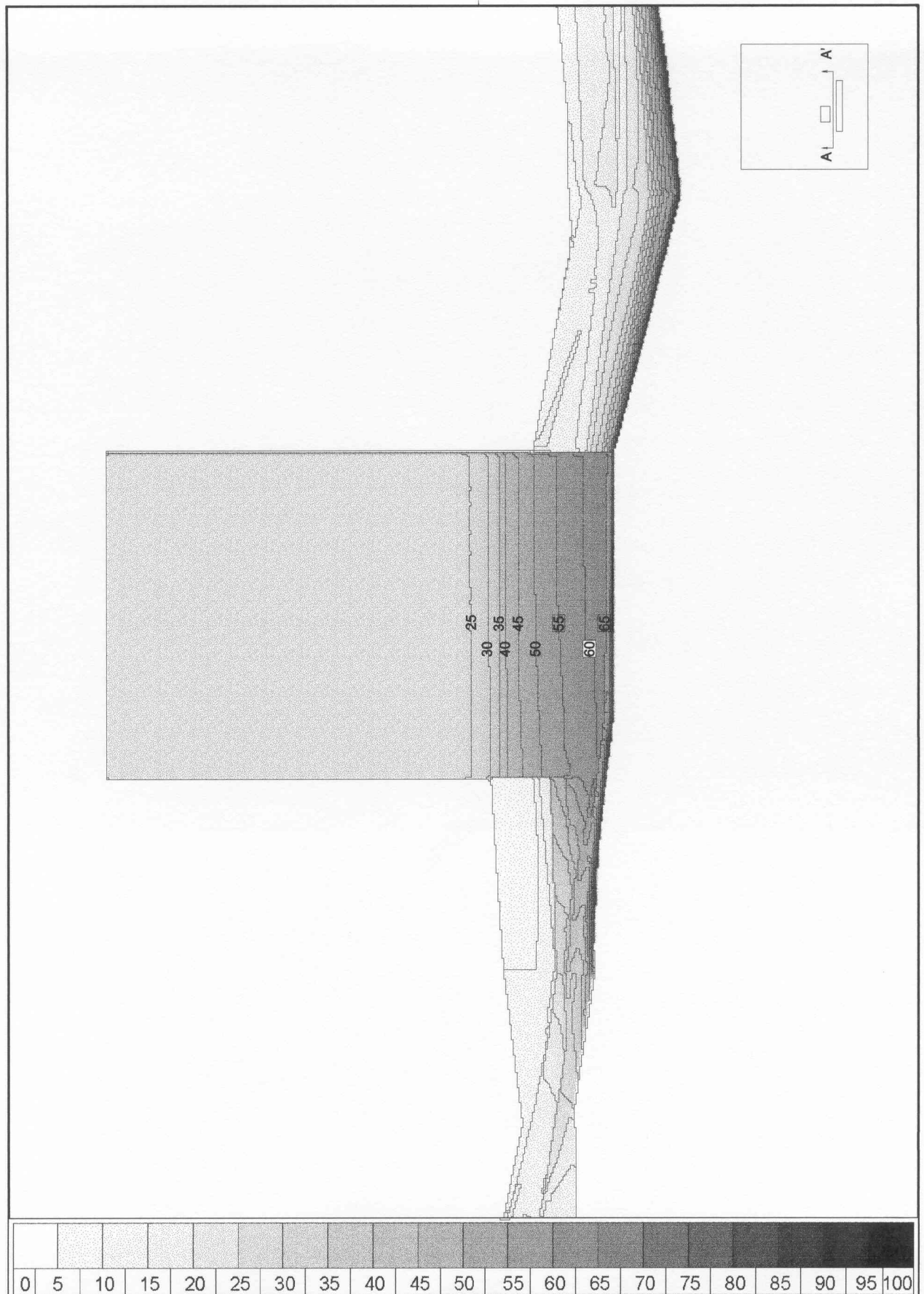
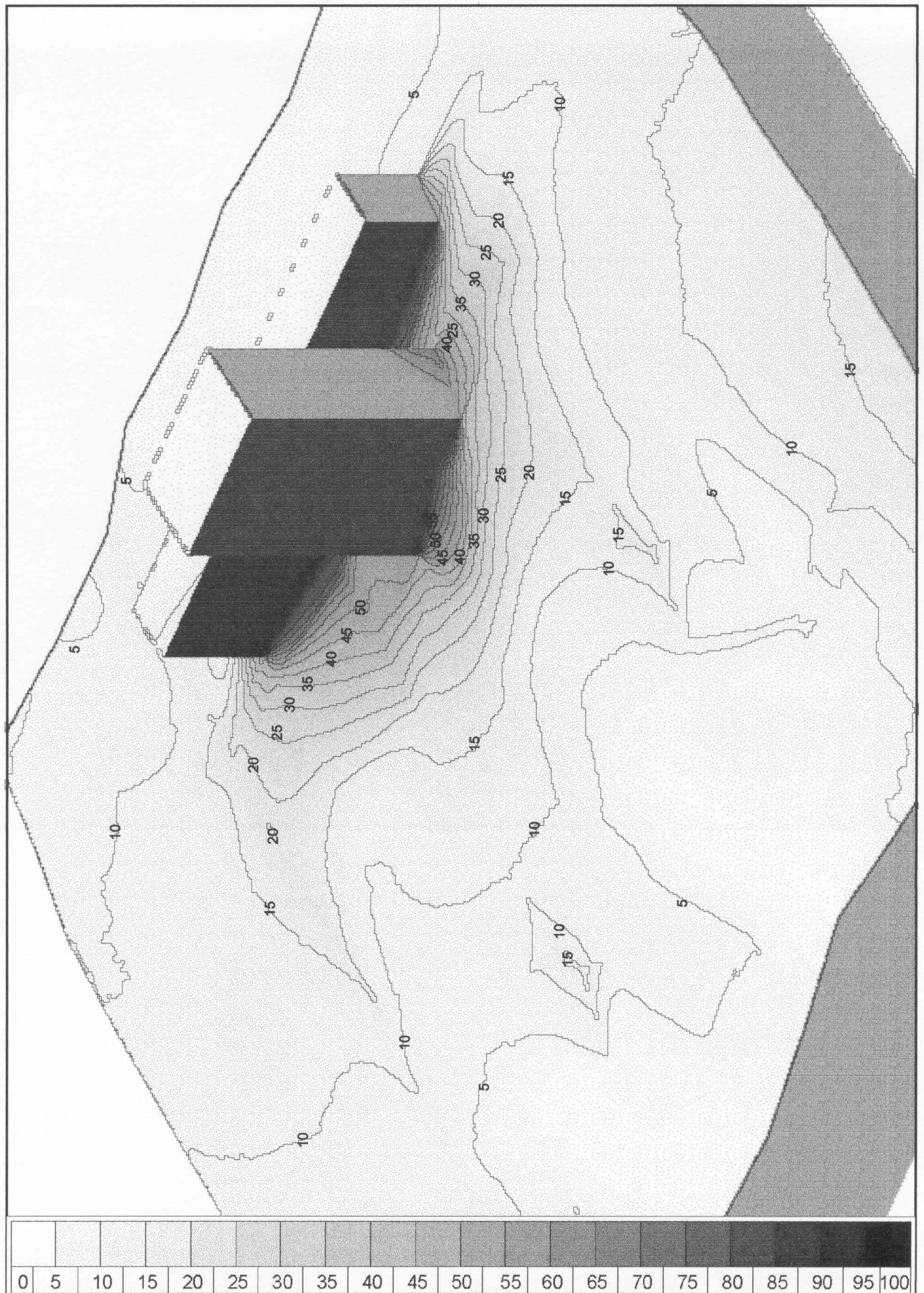






FIGURA 269: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
MODELO TOPOGRÁFICO DE PRUEBA. MAPA DE SOMBRAS. AXONOMETRÍA.





### 5.5.2. Hoja topográfica N° 76811

En el presente punto y los dos siguientes se propone el estudio de topografías reales, situadas en la provincia de Valencia. Se ha elegido como área de estudio el valle de Ayora, pues presenta accidentes orográficos con pendiente suficiente para producir sombras propias y arrojadas significativas en el periodo anual de soleamiento.

El estudio cuenta como dato de partida los archivos CAD 3D correspondientes a las doce hojas topográficas incluidas en el cuadrante N°768. Se procede al análisis de tres hojas topográficas, atendiendo a la distinta naturaleza del relieve representado.

El estudio de los mapas de sombras correspondientes a las tres hojas topográficas precisan de un reajuste en el archivo informático que reproduce el movimiento solar. Es necesario adecuar las trayectorias solares a la ubicación geográfica de las topografías objeto de estudio, distinta de la de Valencia capital.

Dado que todas las topografías que se estudian a continuación están situadas dentro del cuadrante 768, se toma para todas ellas las coordenadas geográficas correspondientes al centro del cuadrante. Las coordenadas geográficas latitud y longitud ( $\varphi, \lambda$ ) son:

A:(39°04'11.4"N, -0°51'35.5"O).

La variación en la longitud no introduce variación en la posición de las trayectorias solares, mientras que la variación de la latitud, al sur de Valencia incrementa la altura sobre el horizonte de las trayectorias solares en 23 minutos de grado.

En el caso de los mapas de sombras obtenidos sobre modelos topográficos cabe considerar el tamaño relativo del diferencial de área mínimo susceptible de análisis. Las dimensiones del área representada en las hojas topográficas son de 7200x4600 metros, mientras que la resolución de los mapas de sombras es de 640x480 píxeles.

Dado que el ajuste de imagen se produce respecto de la longitud del lado mayor de la hoja, cada píxel del mapa de sombras representa sobre la topografía analizada un cuadrado de dimensiones:

$$d = \frac{7200}{640} = 11.25m.$$

La obtención del MDT de malla triangular de cada hoja se ha generado a partir del archivo CAD 3D correspondiente. En dichos archivos, la información relativa a la topografía aparece recogida en forma de curvas de nivel, con una equidistancia de 10 m. Dichas curvas son polilíneas abiertas planas, situadas a la cota que representan.

Dado que el MDT necesita como dato de partida una nube de puntos situados sobre el terreno, se ha dispuesto sobre cada curva una serie de puntos separados entre sí 100 metros, medidos sobre la curva de nivel.

El mallado triangular se calcula a partir de la nube de puntos, de tal modo que el programa de calculo topográfico define las caras triangulares cuyos vértices coinciden con los puntos, imponiendo como condición una longitud máxima de 250 m. para los lados de las caras.

En el caso del estudio de mapas de sombras aplicados a la topografía puede resultar de interés el análisis pormenorizado de periodos de soleamiento de duración inferior al periodo anual. El interés del análisis pormenorizado de los periodos de soleamiento se justifica desde el carácter estacional de determinadas labores agrícolas o forestales.

Dado que las imágenes con las sombras de la topografía objeto de estudio están identificadas por la fecha y hora en que han sido obtenidas, pueden separarse para proceder a su análisis. A modo de ejemplo se propone la obtención de los mapas de sombras correspondientes a la división del año en dos periodos; del mismo modo que se hizo en el estudio de protecciones solares. (punto 5.2.2.)

El periodo de otoño-invierno, comienza en el equinoccio de otoño, y termina en el equinoccio de primavera. El periodo de primavera-verano comienza el equinoccio de primavera y termina el equinoccio de otoño.

El valor del factor de obstrucción obtenido en los mapas de sombras correspondientes, dado que se trata de un cociente, no se ve afectado por la modificación del periodo estudiado. En cambio, es necesario reajustar el número de horas/sol correspondiente a cada uno de los periodos. Las horas de sol correspondientes a los periodos en que ha sido dividido el año son las siguientes:

Horas de sol del periodo otoño-invierno (del 22 sep. al 21 de mar.)	1715,08 h.
Horas de sol del periodo primavera-verano (del 22 mar. al 21 de sep.)	2360,75 h.
Horas de sol anuales	4075,83 h.

Conocido el factor de obstrucción para cada pixel de la imagen, a partir del valor numérico de su gris correspondiente, pueden conocerse las horas de sol que le corresponden por aplicación de las fórmulas siguientes:

$$\text{Horas de sol/invierno:} \quad H_{si} = 1715,08 \left( \frac{G}{256} \right)$$

$$\text{Horas de sol/verano:} \quad H_{sv} = 2360,75 \left( \frac{G}{256} \right)$$

La Hoja N° 76811 muestra como accidente orográfico más significativo un macizo montañoso situado en el centro de la hoja, culminado por una meseta de altura máxima 1046 m. Al este de dicha meseta una arista de dirección norte-sur marca su límite, y produce un declive de fuerte pendiente.

El flanco sur de la meseta alterna los valles encajados de torrentera con la arista que marca la cota máxima de la meseta. Al oeste de la meseta se sitúa un valle, cuya poca pendiente permite el aprovechamiento del terreno para la agricultura. La transición entre el valle y la meseta se produce mediante valles encajados de torrentera de dirección este-oeste.

Los mapas de sombras de la Hoja topográfica N°76811 muestran pérdidas de soleamiento significativas producidas en los valles encajados de torrentera, debido a su pendiente y a su orientación, llegando en los valles orientados al norte a valores del factor de obstrucción de  $F=0,3$  en el periodo anual, equivalentes a pérdidas de soleamiento del 30%.

La arista este de la meseta, al privar al valle del sol de la tarde produce también zonas con valores del factor de obstrucción de  $F=0,3$ . Por contra el valle al oeste del macizo montañoso, dedicado a la agricultura registra valores del factor de obstrucción inferiores a  $F=0,1$ . Equivalente a pérdidas del soleamiento en el periodo anual inferiores al 10%.

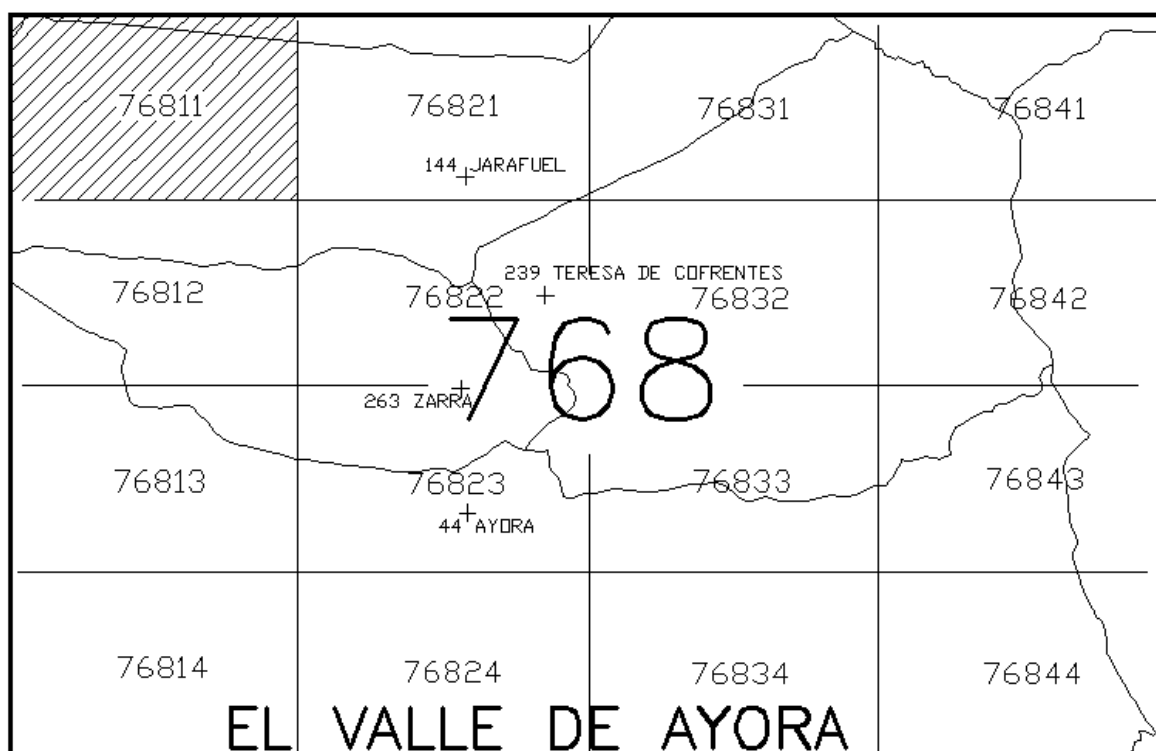


fig. 270: LOCALIZACIÓN DE LA HOJA 76811 DENTRO DEL CUADRANTE 768

Las diferencias más significativas en los mapas de sombras de los periodos otoño-invierno y primavera-verano se producen en la ladera sur de la meseta. Mientras que en invierno tiene unas buenas condiciones de soleamiento, con valores inferiores a  $F=0,1$ ;

en verano, debido a que los valores del azimut del orto y el ocaso se aproximan al norte, dejan en sombra la ladera sur durante más tiempo, lo que hace aumentar el valor del factor de obstrucción hasta  $F=0,2$  en algunos puntos.

En las imágenes siguientes se muestra, la Hoja topográfica N°76811, una planta de la malla triangular, una axonometría de la malla triangular, y los mapas de sombras correspondientes al periodo anual, y a los periodos de otoño-invierno y primavera-verano vistos en planta.

FIGURA 271: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA N° 76811

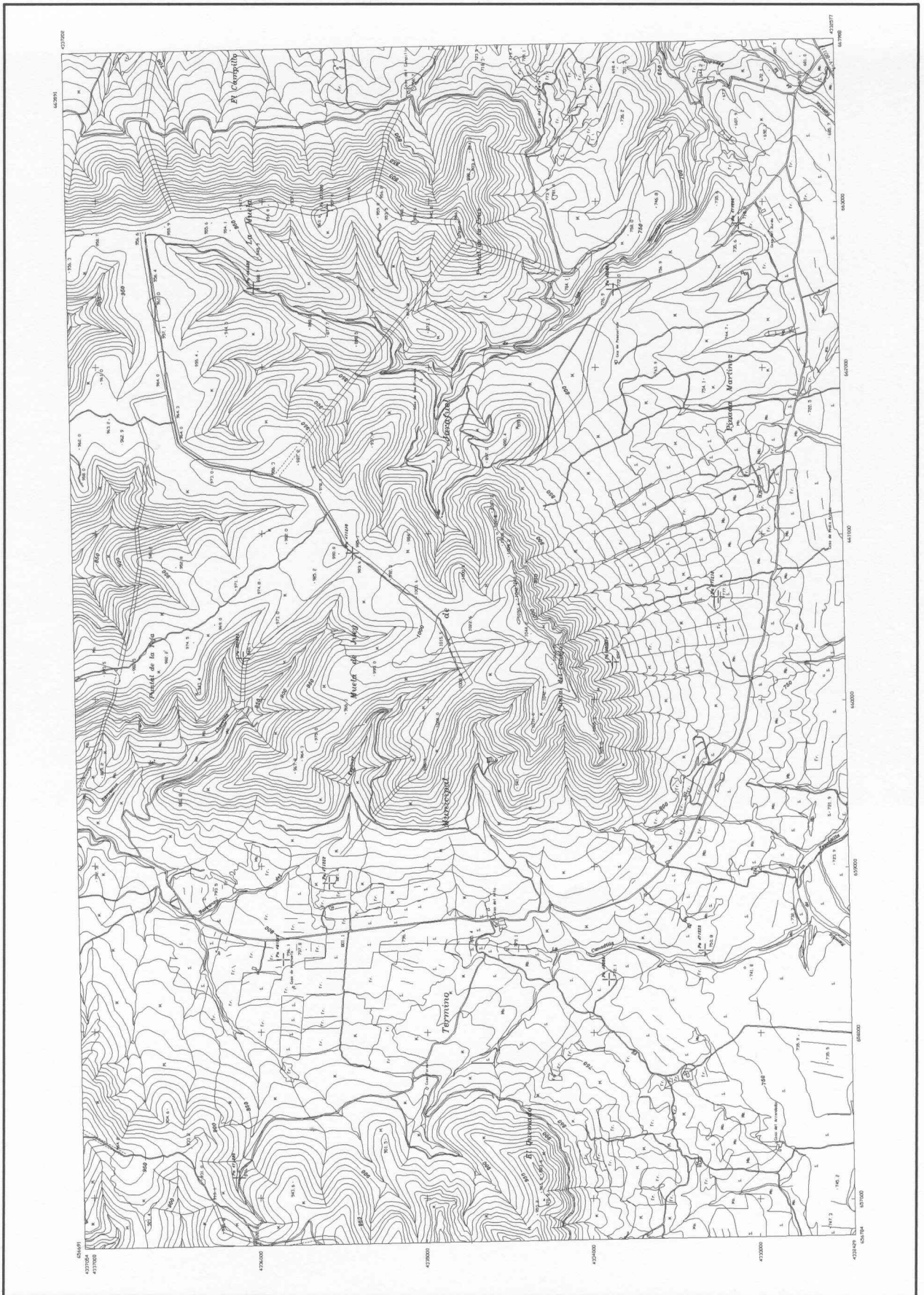






FIGURA 272: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA Nº 76811. TRIANGULACIÓN. PLANTA

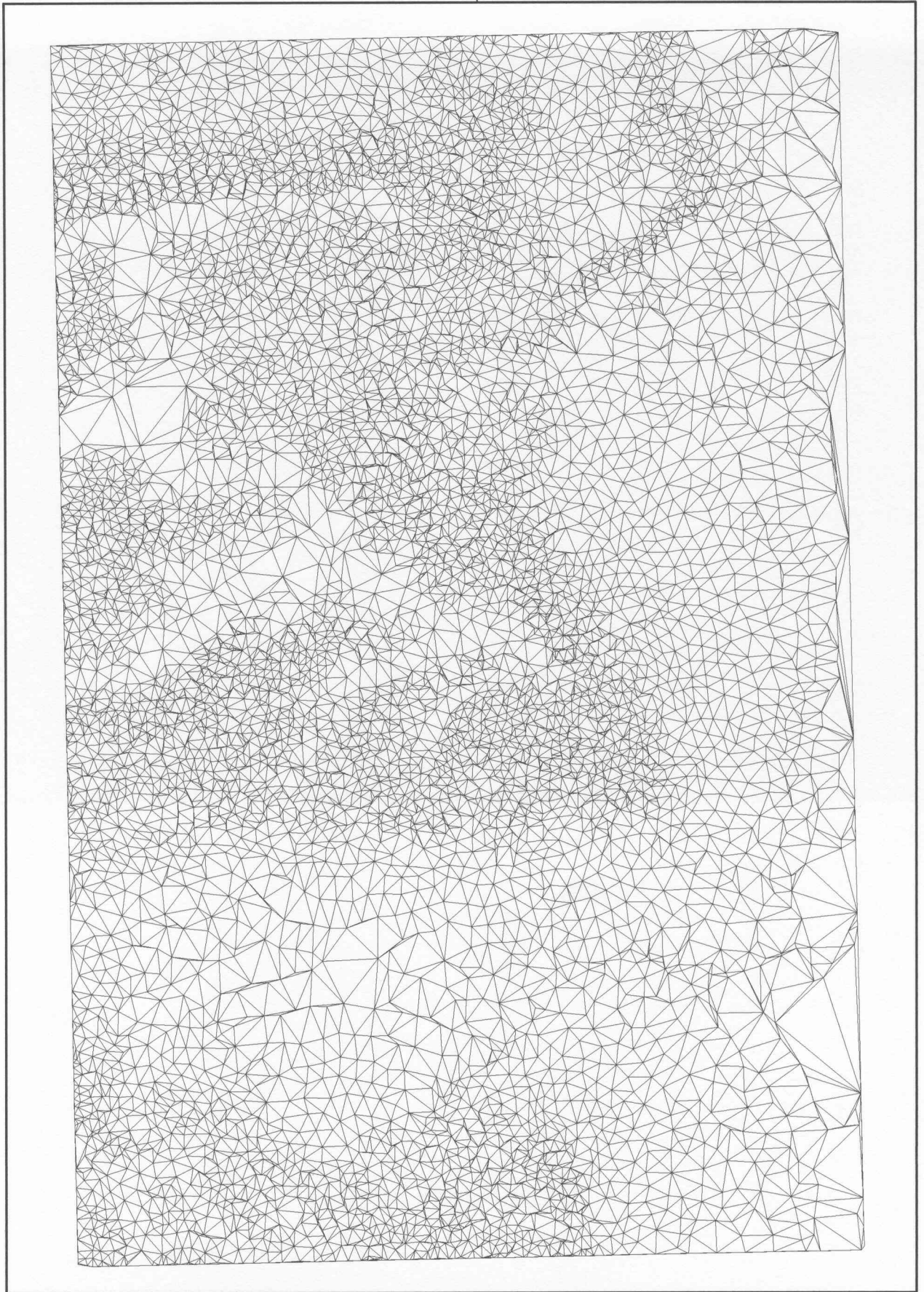




FIGURA 273: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA Nº 76811. TRIANGULACIÓN. AXONOMETRÍA.

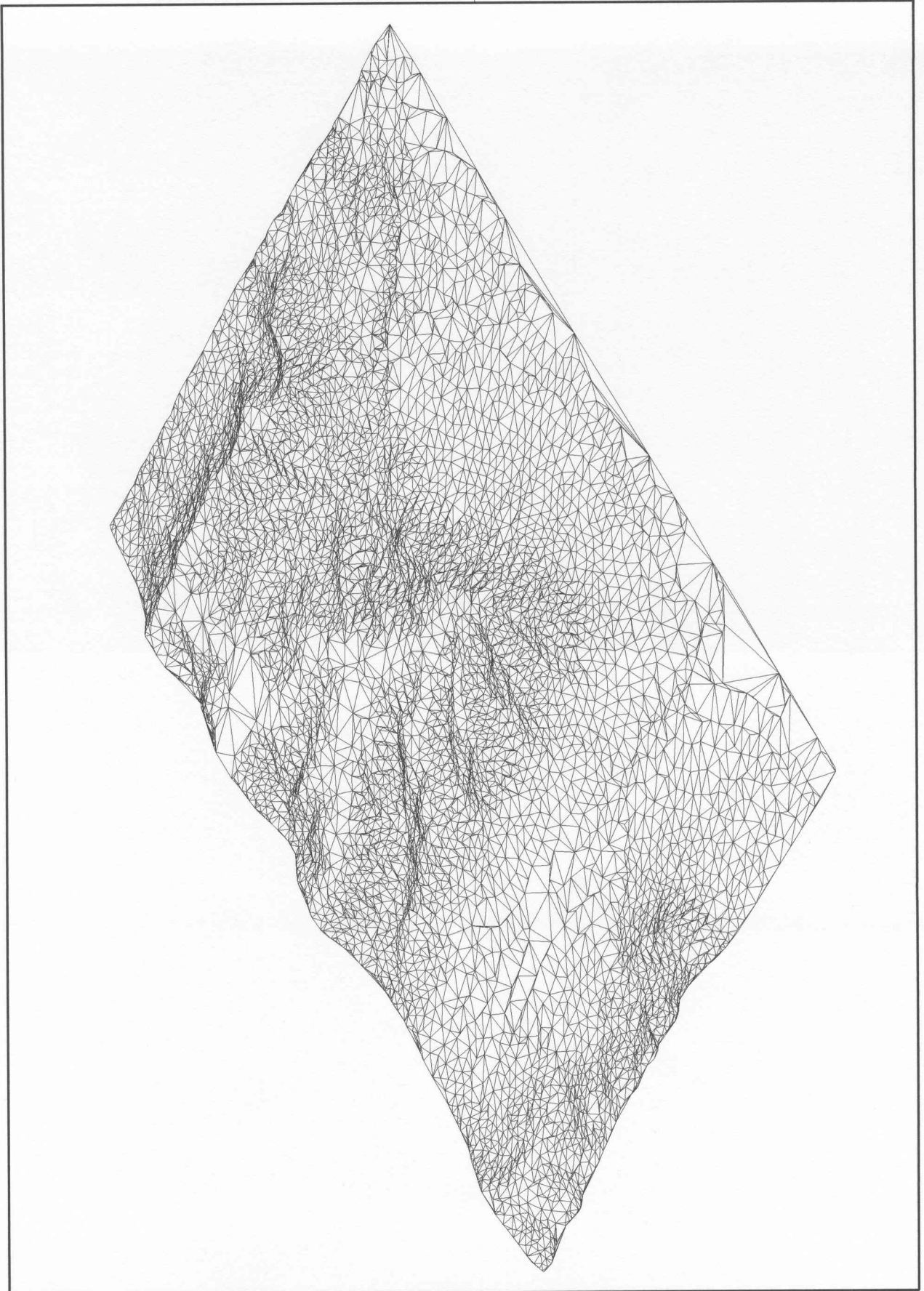






FIGURA 274: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA Nº 76811. MAPA DE SOMBRAS. PERIODO ANUAL

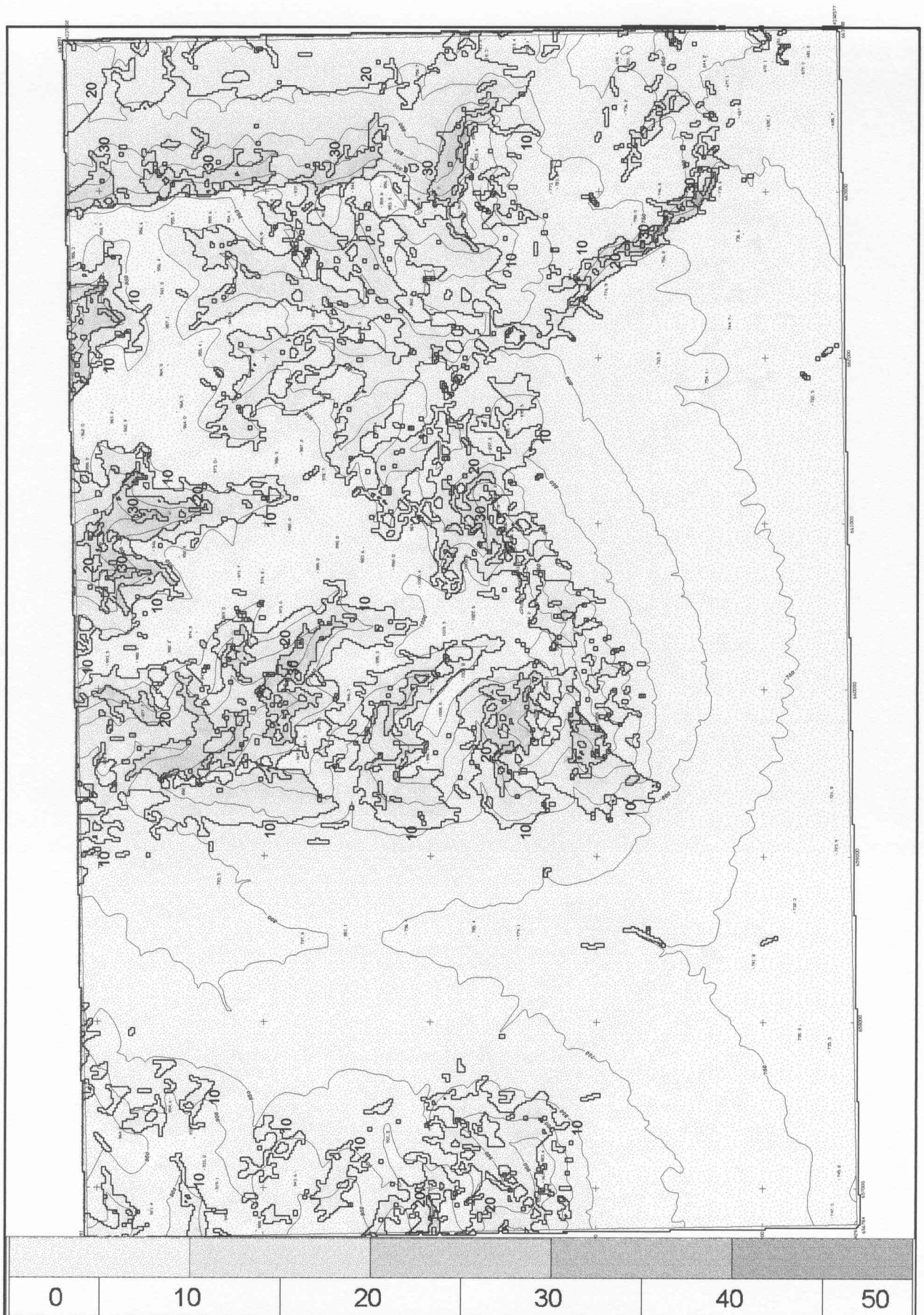




FIGURA 275: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA Nº 76811. MAPA DE SOMBRAS. INVIERNO

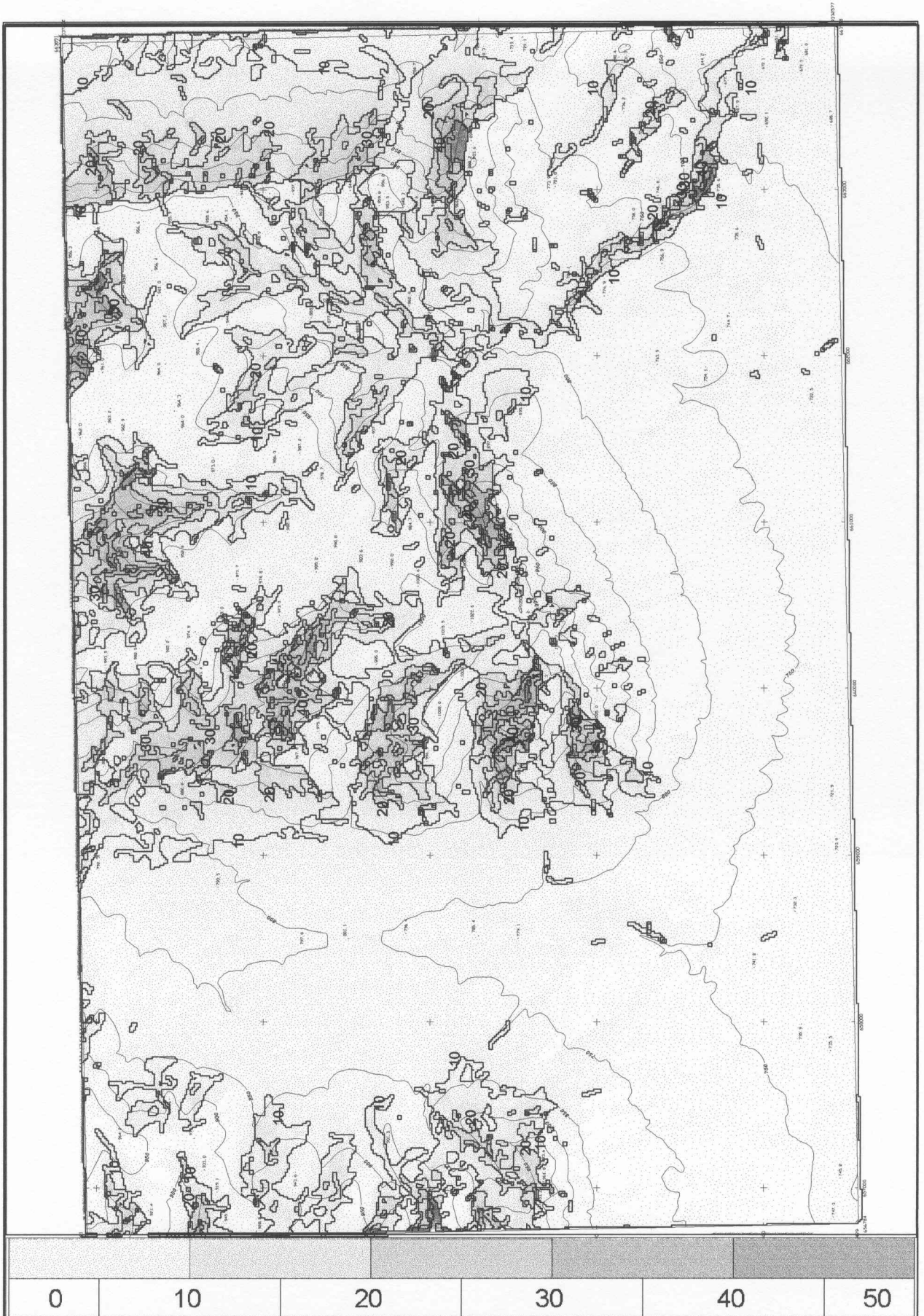
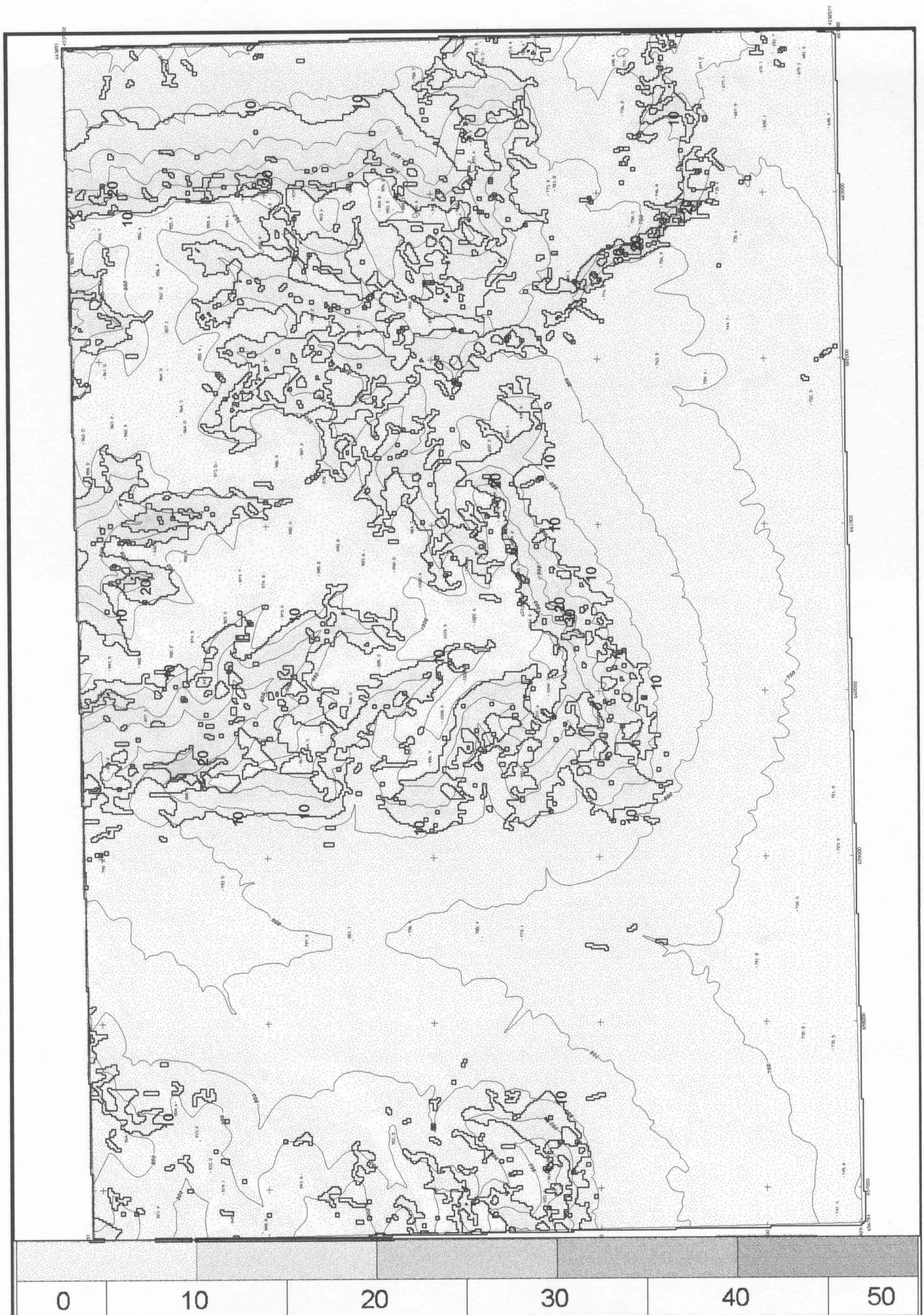






FIGURA 276: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA Nº 76811. MAPA DE SOMBRAS. VERANO.





### 5.5.3. Hoja topográfica N° 76844

La Hoja N° 76844 muestra la confluencia de los Términos municipales de Ayora, Quesa y Enguera. El accidente orográfico más significativo recogido en la misma es una arista montañosa de cota máxima 1091 m, de dirección suroeste-noreste, desde la cual, cae una ladera orientada al sureste con un desnivel de 350 m.

En el fondo de la ladera se encuentra el lecho del Río Grande, y de su afluente, el Río Ribasón. Desde esta arista se extienden en dirección norte una serie de valles encajados de torrentera, por donde discurren el Barranco del Fraile, el Barranco de Gachas, el Barranco del Pinar y El Barranco de Moquita.

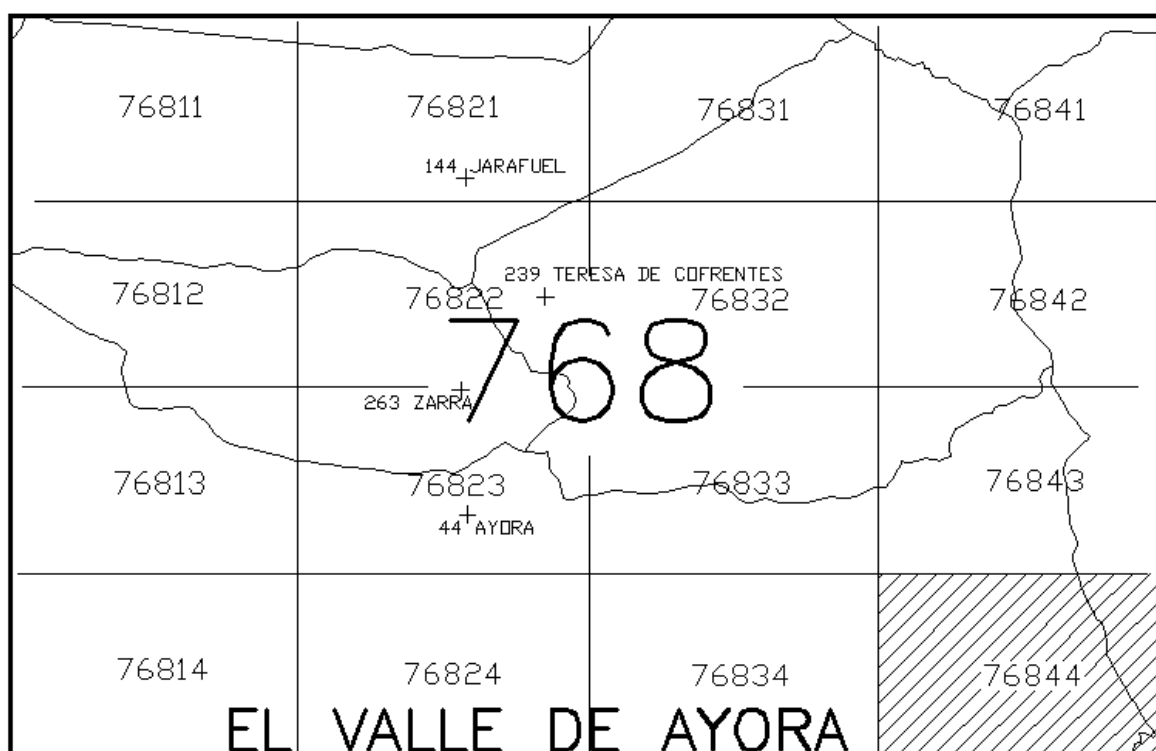


fig. 277: LOCALIZACIÓN DE LA HOJA 76844 DENTRO DEL CUADRANTE 768

El mapa de sombras de la Hoja topográfica N°76844 para el periodo anual muestra que, al igual que en el caso anterior, las pérdidas de soleamiento más significativas se producen en los valles encajados en torrentera orientados al norte, donde llegan a producirse valores del factor de obstrucción  $F= 0,3$  equivalentes a una pérdida de soleamiento del 30%. La arista de dirección suroeste-noreste, produce valores del factor de obstrucción  $F=0,2$ . La pérdida de soleamiento que produce en la ladera sureste solamente es significativa en las horas previas al ocaso, a partir del equinoccio de primavera.

La diferencia más significativa entre los mapas de sombras correspondientes a los periodos de otoño-invierno y primavera-verano se producen también en la ladera sureste. Mientras que en invierno se produce una distribución más heterogénea del soleamiento, alternando franjas bien soleadas con franjas con valores de  $F=0,2-0,3$ ; en verano la

distribución del soleamiento es más homogénea, produciéndose en toda la ladera un valor de  $F=0,1$ .

En las imágenes siguientes se muestra la Hoja topográfica N°76844, una planta de la malla triangular, una axonometría de la malla triangular y los mapas de sombras correspondientes al periodo anual, y a los periodos de otoño-invierno y primavera-verano vistos en planta.

FIGURA 278: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA Nº 76844.

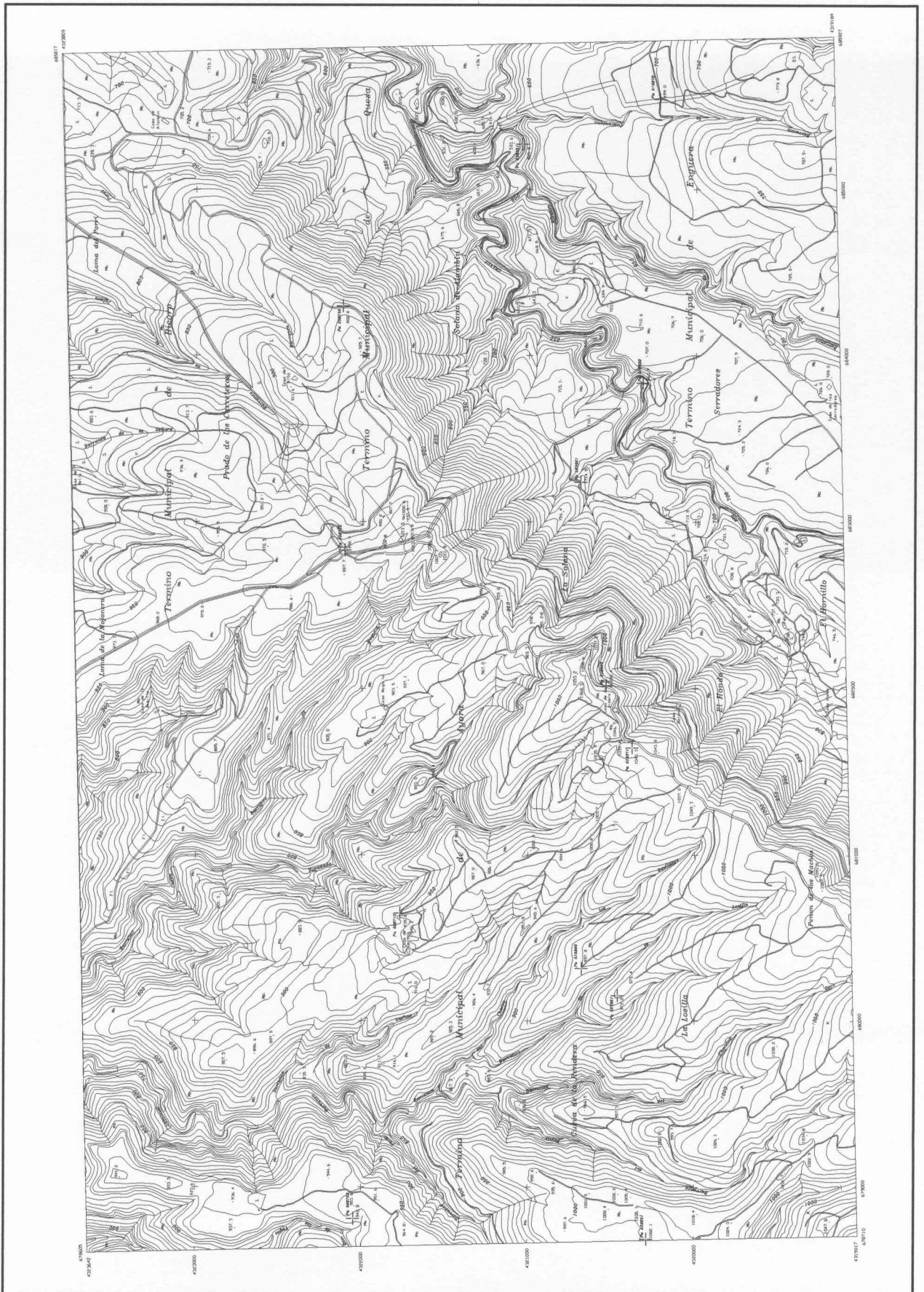






FIGURA 279: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA N° 76844. TRIANGULACIÓN. PLANTA

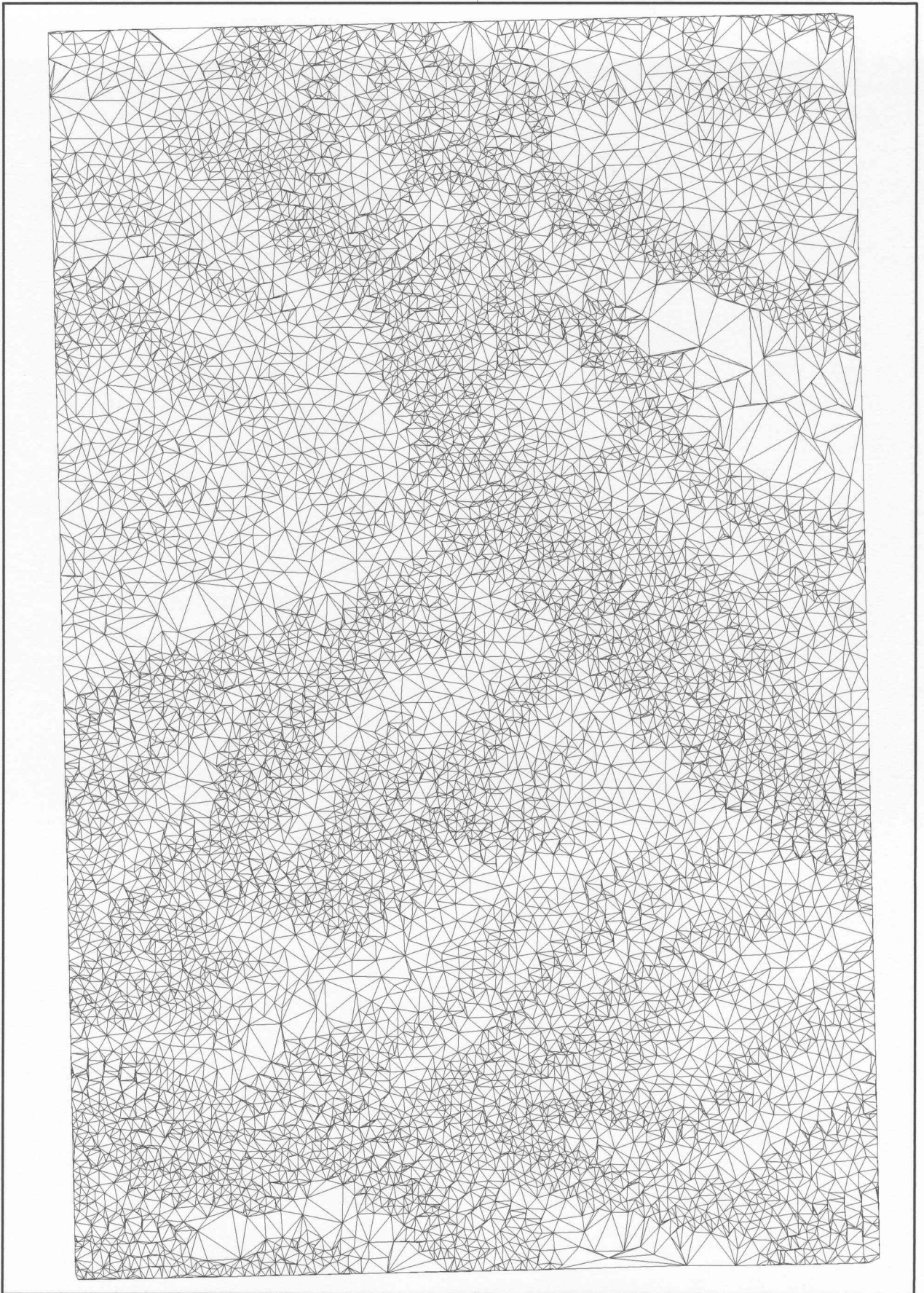






FIGURA 280: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA Nº 76844. TRIANGULACIÓN. PLANTA

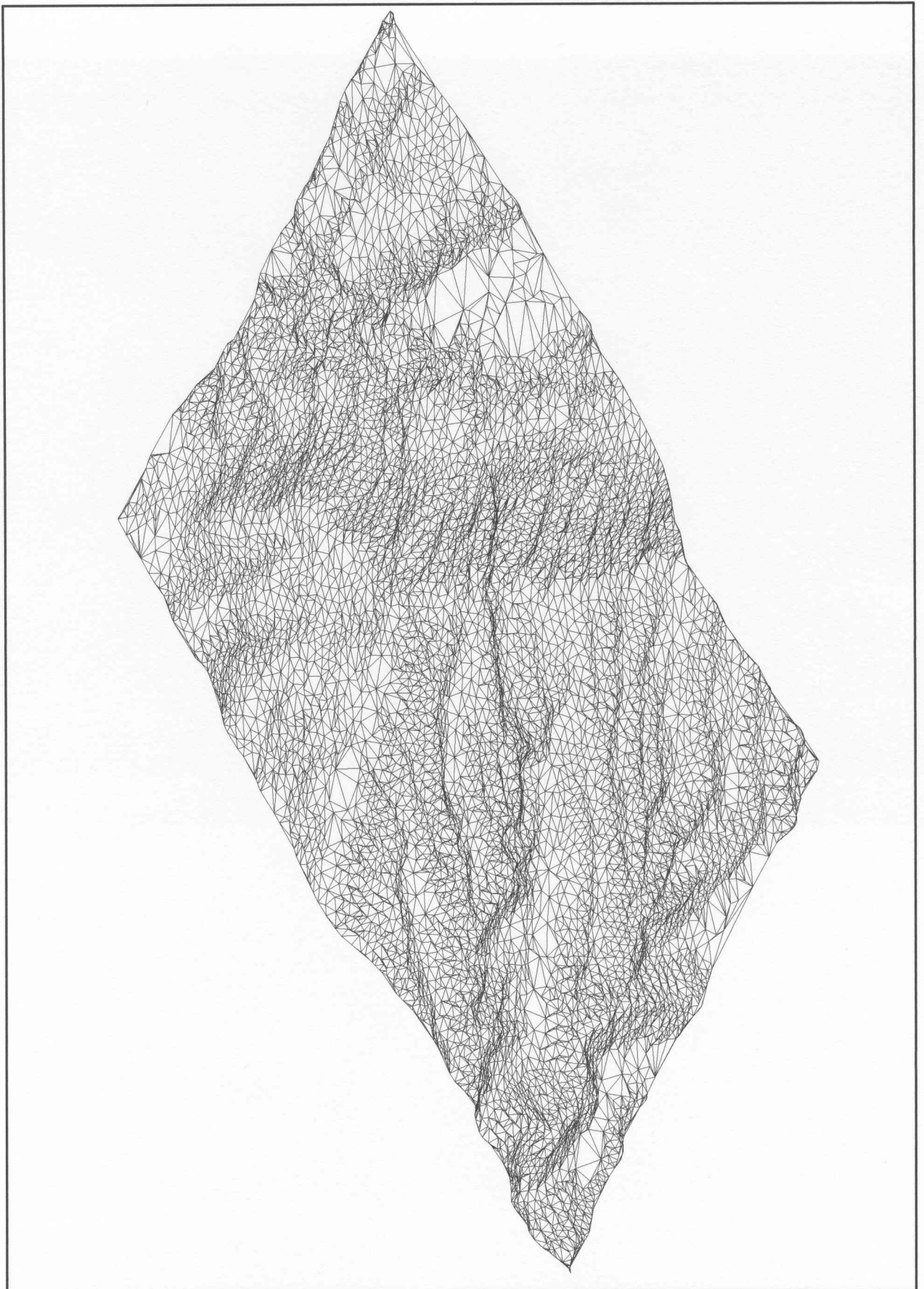




FIGURA 281: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA N° 76844. MAPA DE SOMBRAS. PERIODO ANUAL.

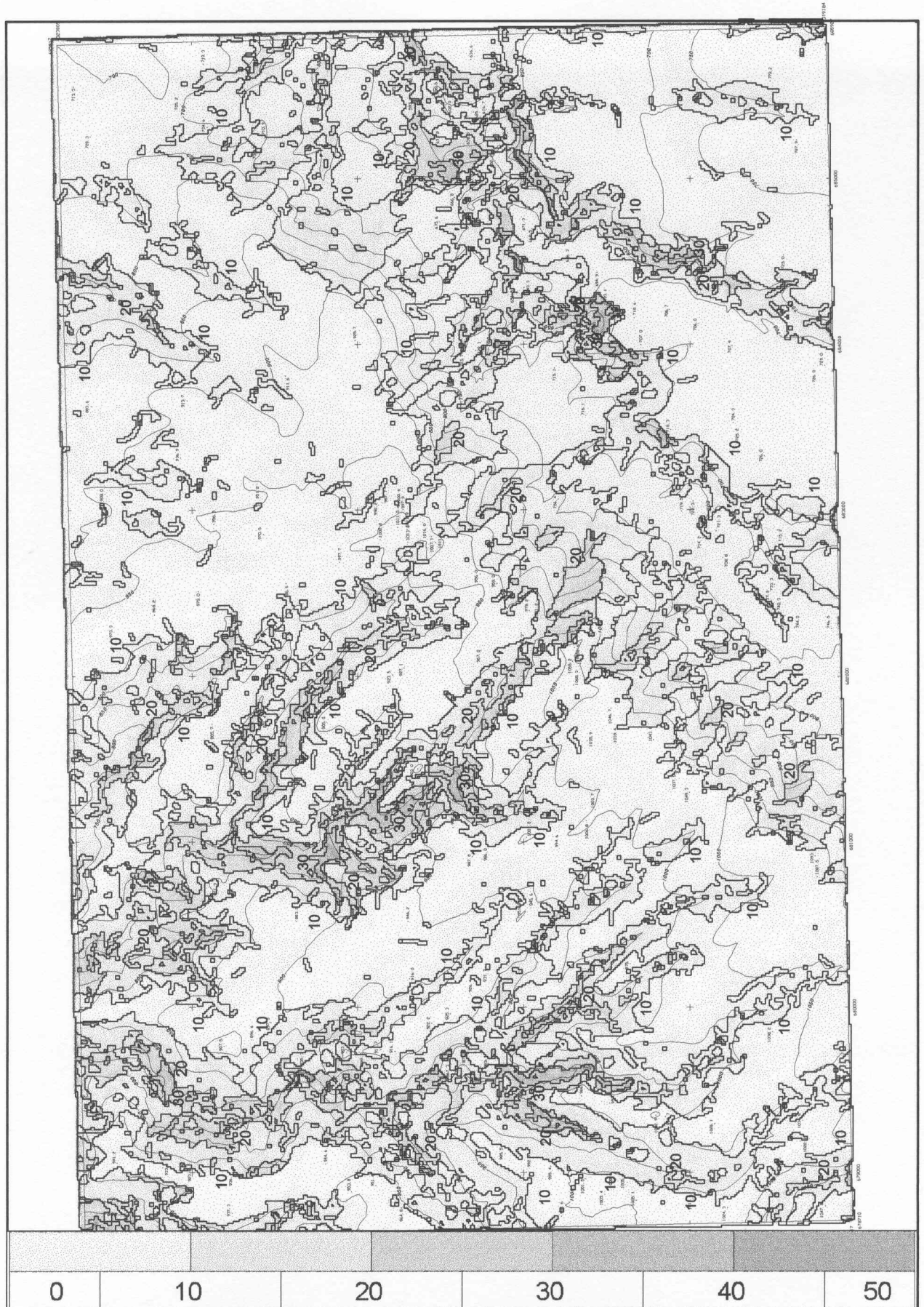






FIGURA 282: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA N° 76844. MAPA DE SOMBRAS. INVIERNO.

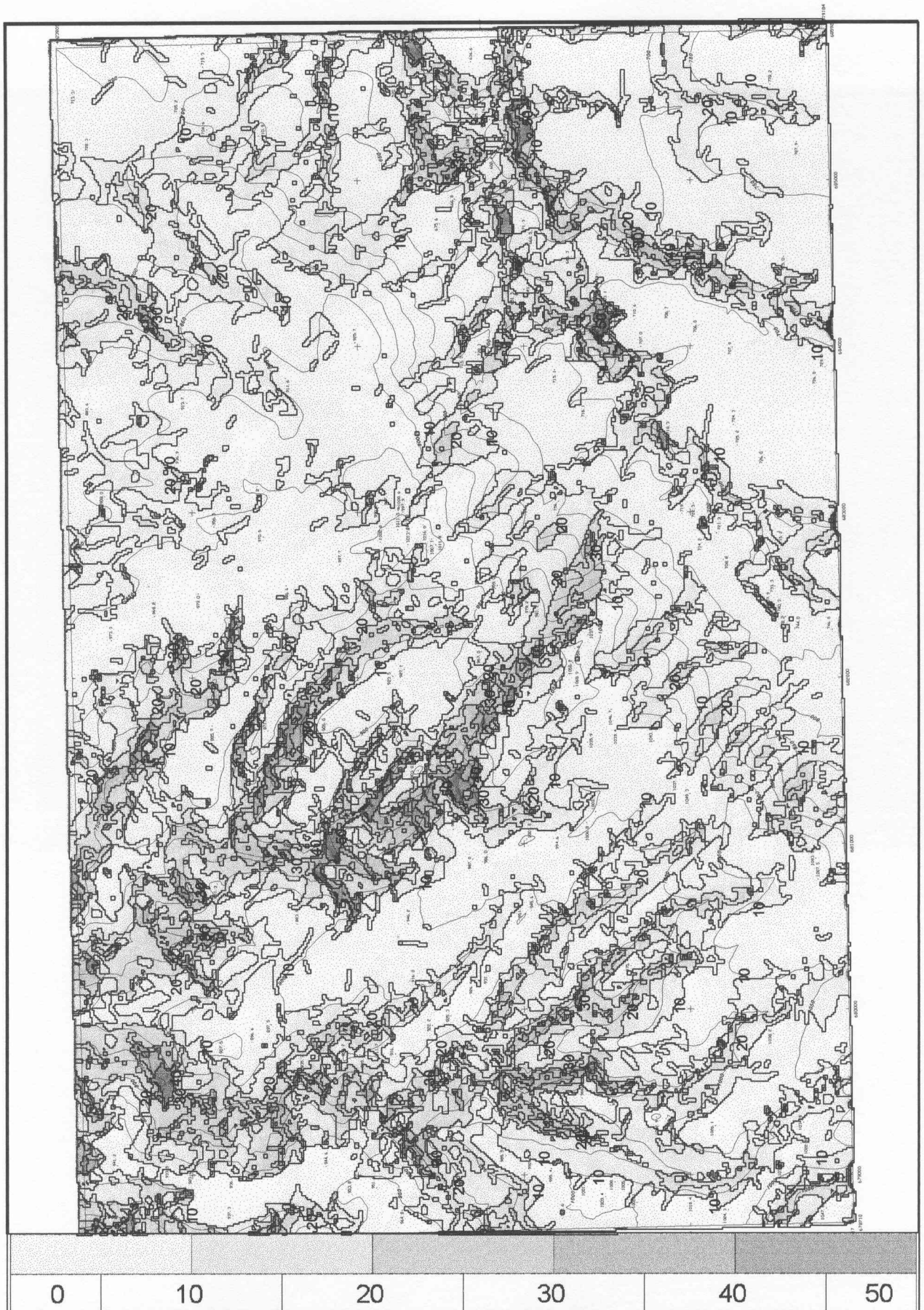
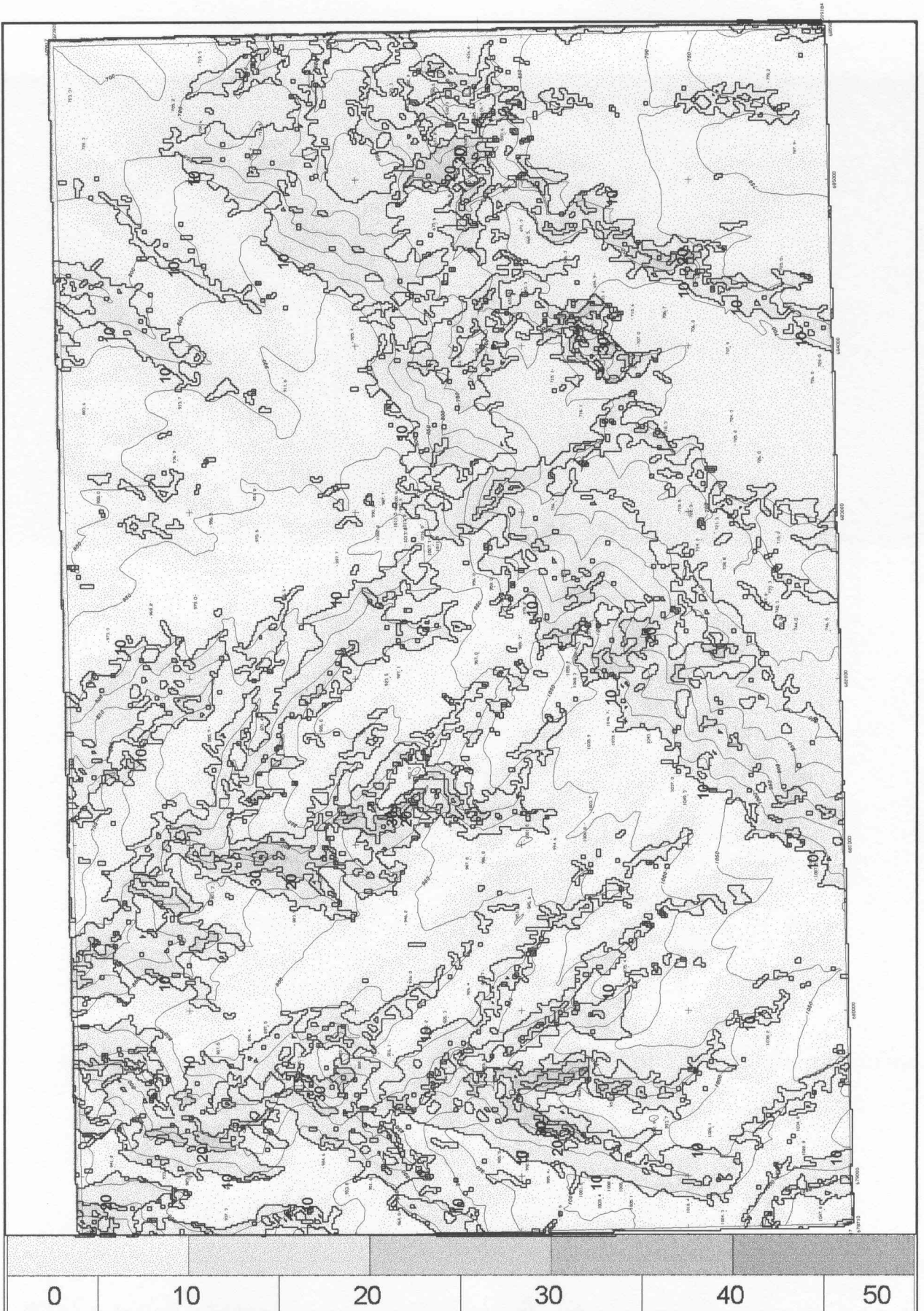




FIGURA 283: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA Nº 76844. MAPA DE SOMBRAS. VERANO.







### 5.5.4. Hoja topográfica N° 76823. Entorno del casco urbano de Ayora

La Hoja N° 76823. muestra el centro urbano del municipio de Ayora, y las zonas próximas destinadas a explotaciones agrícolas. La orografía de la zona no registra accidentes significativos, ya que el centro urbano se sitúa en una planicie a una altura media de 600 metros, donde sobresale un peñón sobre el que se sitúa el Castillo de Ayora, con una cota máxima de 692 metros. Al norte de la hoja se encuentran algunos valles encajados en torrentera, y al suroeste de la Hoja, ya incluido en la hoja N°76814 se encuentra un macizo montañoso que está rematado por una meseta de cota máxima 1050 metros.

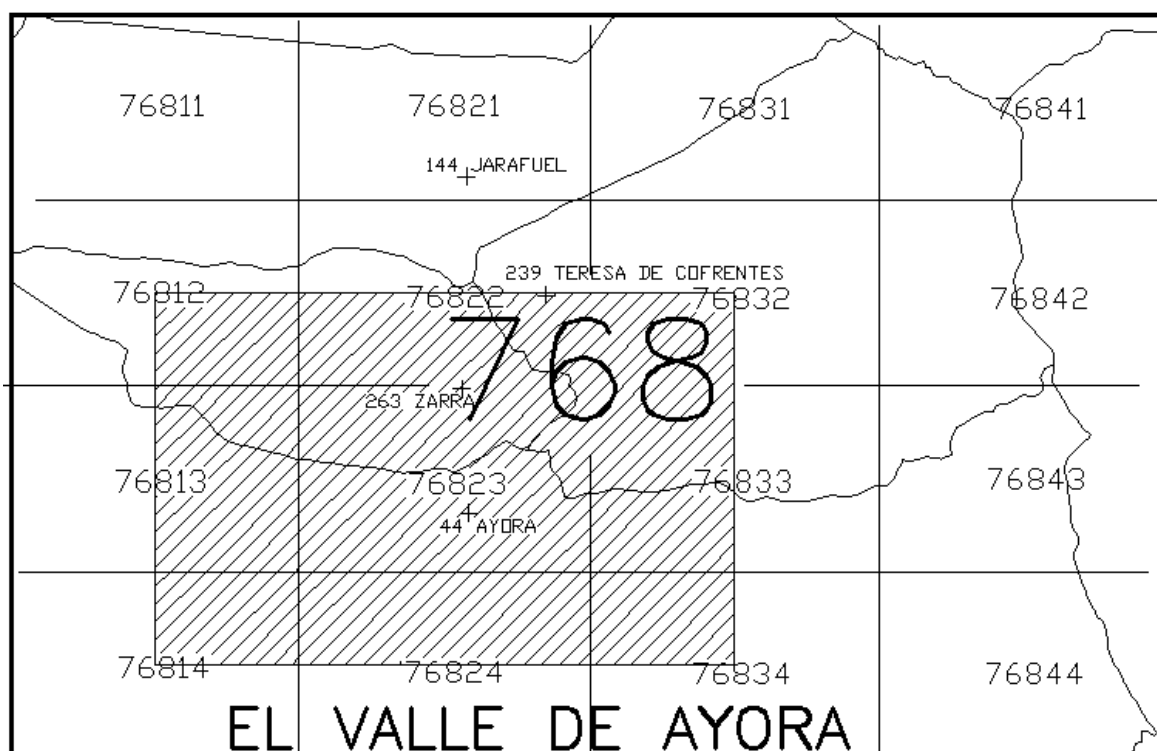


fig.284: LOCALIZACIÓN DE LA HOJA 76823 DENTRO DEL CUADRANTE 768

En este caso, la existencia de accidentes orográficos significativos en los límites suroeste y noreste de la hoja, cuyas cotas máximas se alcanzan en la hoja adyacente ha llevado a extender el MDT mas allá de los límites estrictos de la hoja. La superficie modelizada en este caso es un rectángulo de dimensiones dobles a la de la Hoja original, cuyos vértices se encuentran respectivamente en el centro de las hojas 76812, 76832, 76814 y 76834.

El mapa de sombras de la Hoja topográfica N°76823 y adyacentes correspondiente al periodo anual muestra que la elección del emplazamiento del centro urbano de Ayora, y de las áreas próximas destinadas a la explotación agrícola tiene unas condiciones muy favorables de soleamiento; el valor del factor de obstrucción en esta zona es  $F=0,1$  que supone pérdidas de soleamiento inferiores al 10% en el periodo anual.

Dentro del área del casco Urbano, una zona de reducidas dimensiones situada al norte del peñón sobre el que se sitúa el Castillo registra valores del factor de obstrucción  $F=0,2$ . En el norte de la Hoja se encuentran otras áreas con el mismo valor del factor de obstrucción, debido en este caso a valles encajados en torrentera, donde la fuerte pendiente que producen dificulta su soleamiento en invierno.

En el caso del análisis comparativo entre los periodos de otoño-invierno y primavera-verano, al no existir accidentes orográficos relevantes, la diferencia entre ambos mapas es un mayor oscurecimiento en el mapa correspondiente al otoño-invierno, con puntos con un valor de  $F=0,3$ .

En las imágenes siguientes se muestra la Hoja topográfica N°76823, una planta y una axonometría de la malla triangular correspondiente a la hoja analizada y parte de la adyacentes y los mapas de sombras correspondientes al periodo anual, y a los periodos de otoño-invierno y primavera-verano vistos en planta.

FIGURA 285: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA Nº 76823

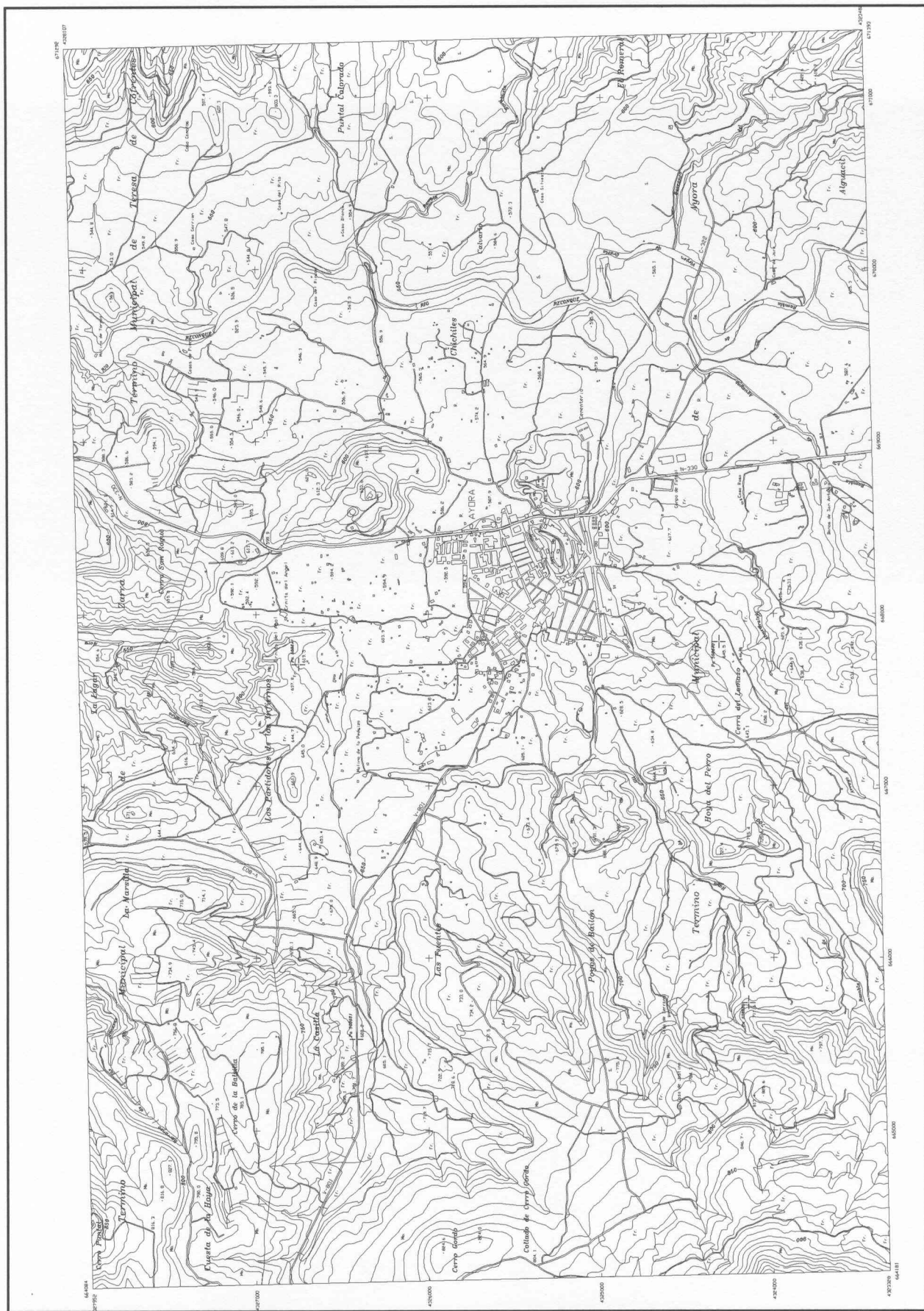




FIGURA 286: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA N° 76823 Y ADYACENTES. TRIANGULACIÓN. PLANTA

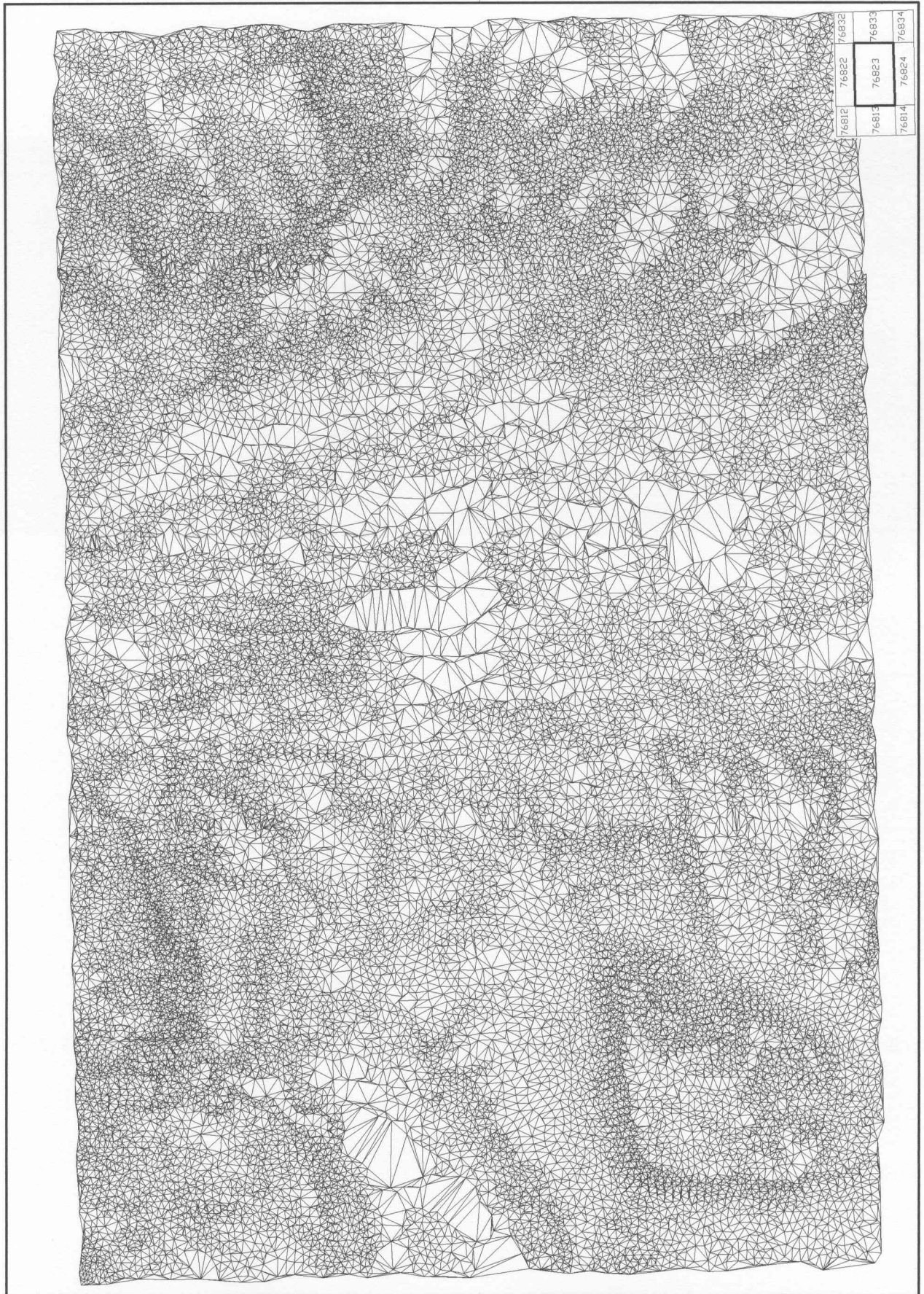






FIGURA 287: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA N° 76823 Y ADYACENTES. TRIANGULACIÓN. AXONOMETRÍA

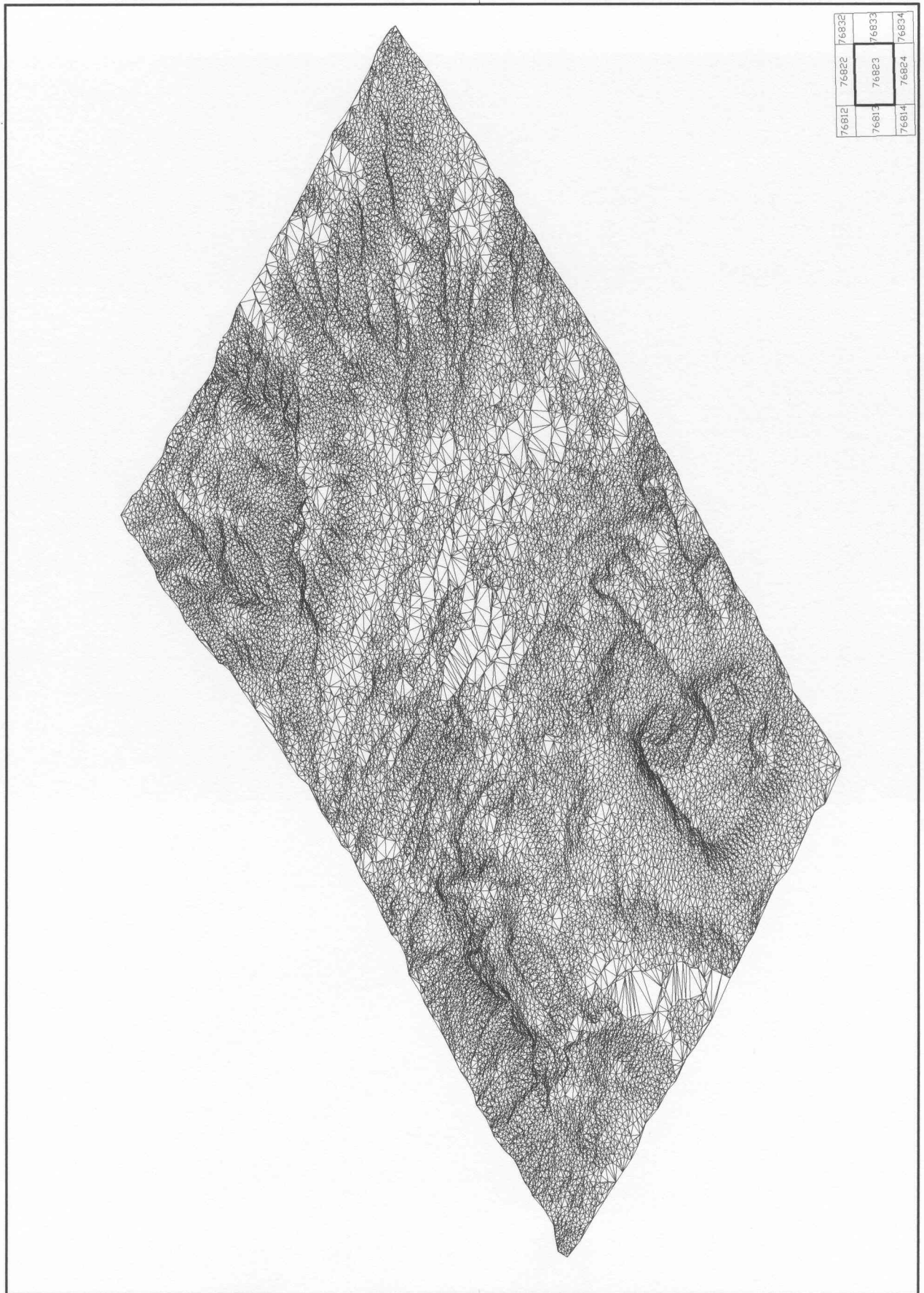






FIGURA 288: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA N° 76823 Y ADYACENTES. MAPA DE SOMBRAS. PERIODO ANUAL

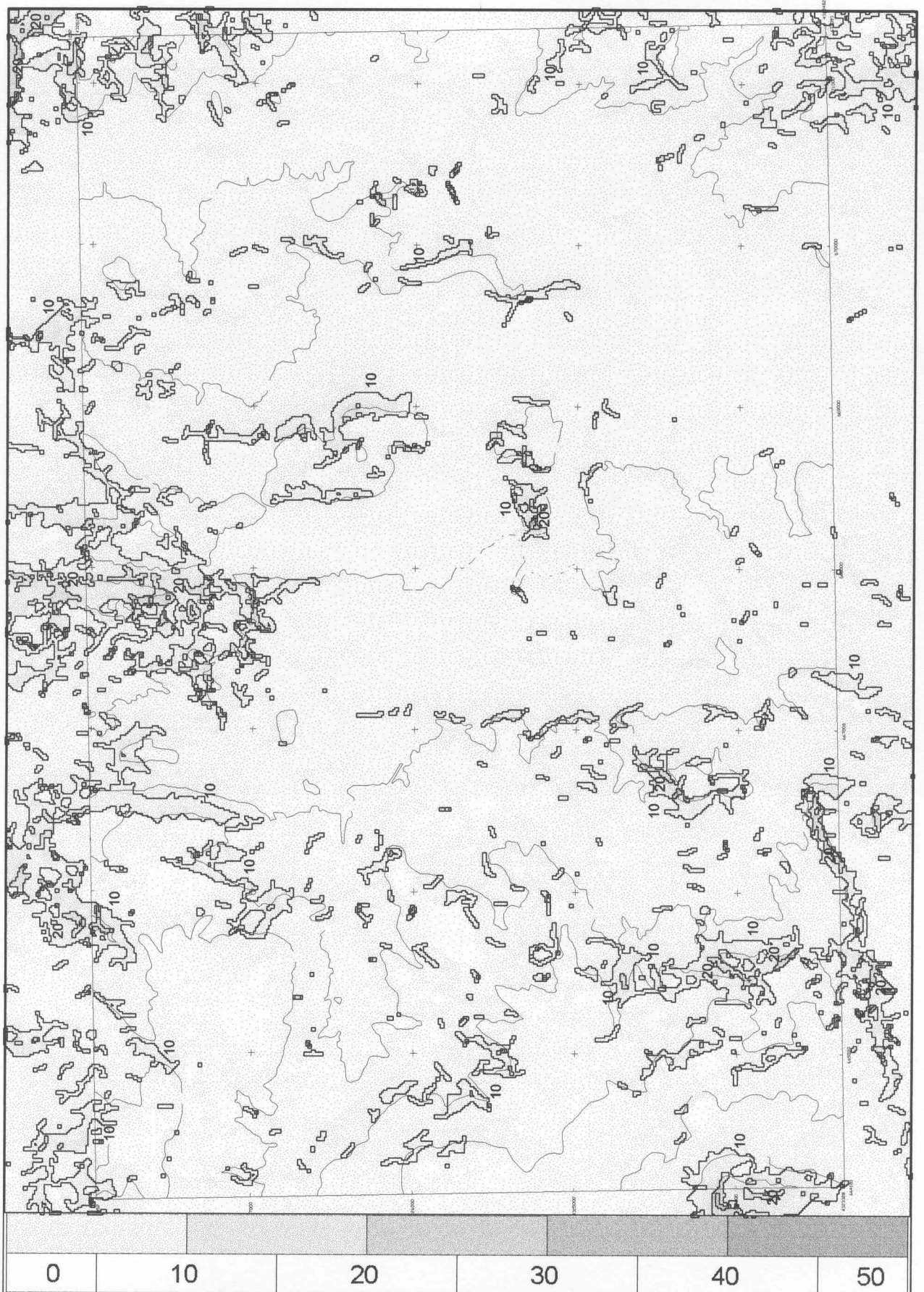




FIGURA 289: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA Nº 76823 Y ADYACENTES. MAPA DE SOMBRAS. INVIERNO.

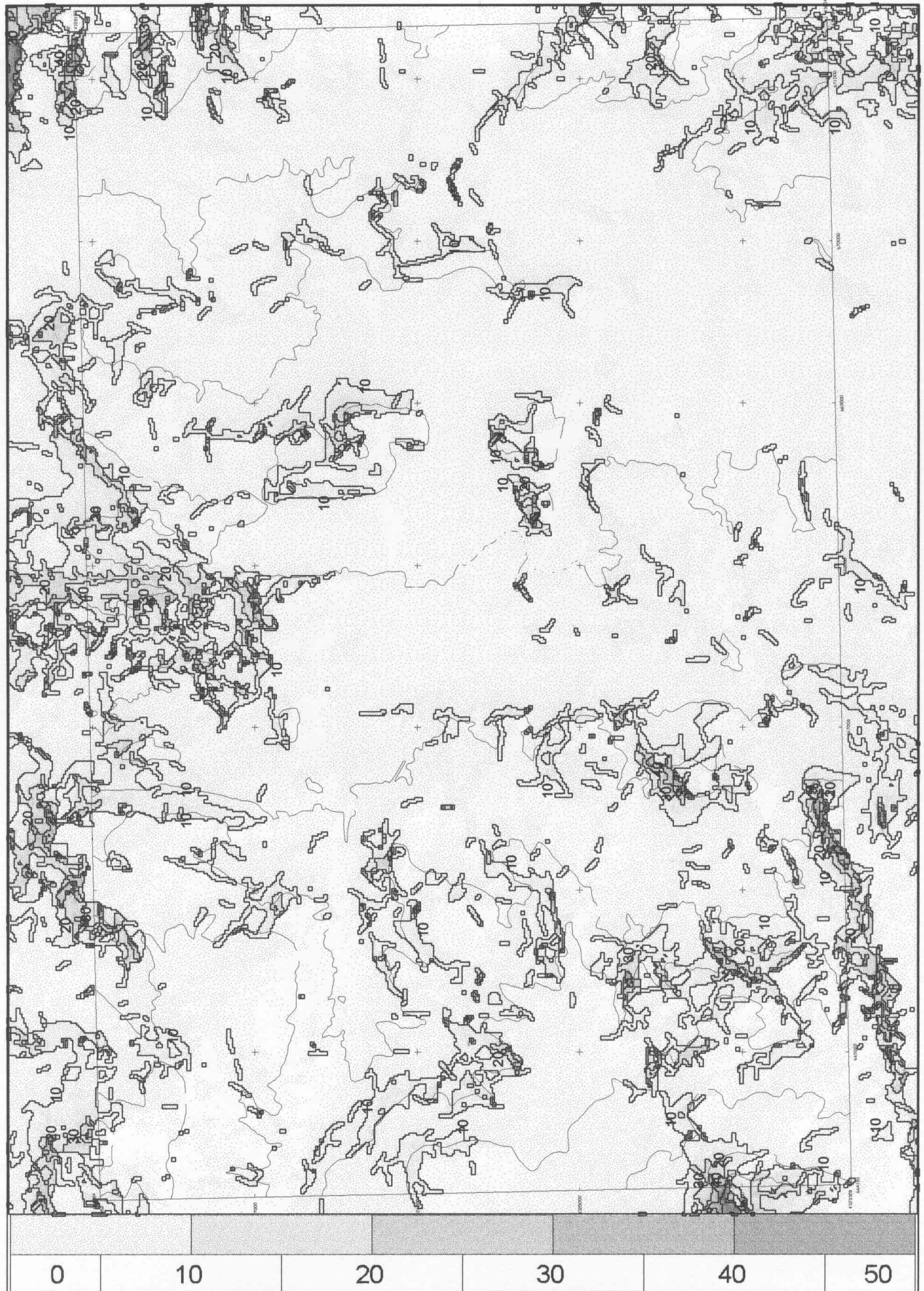
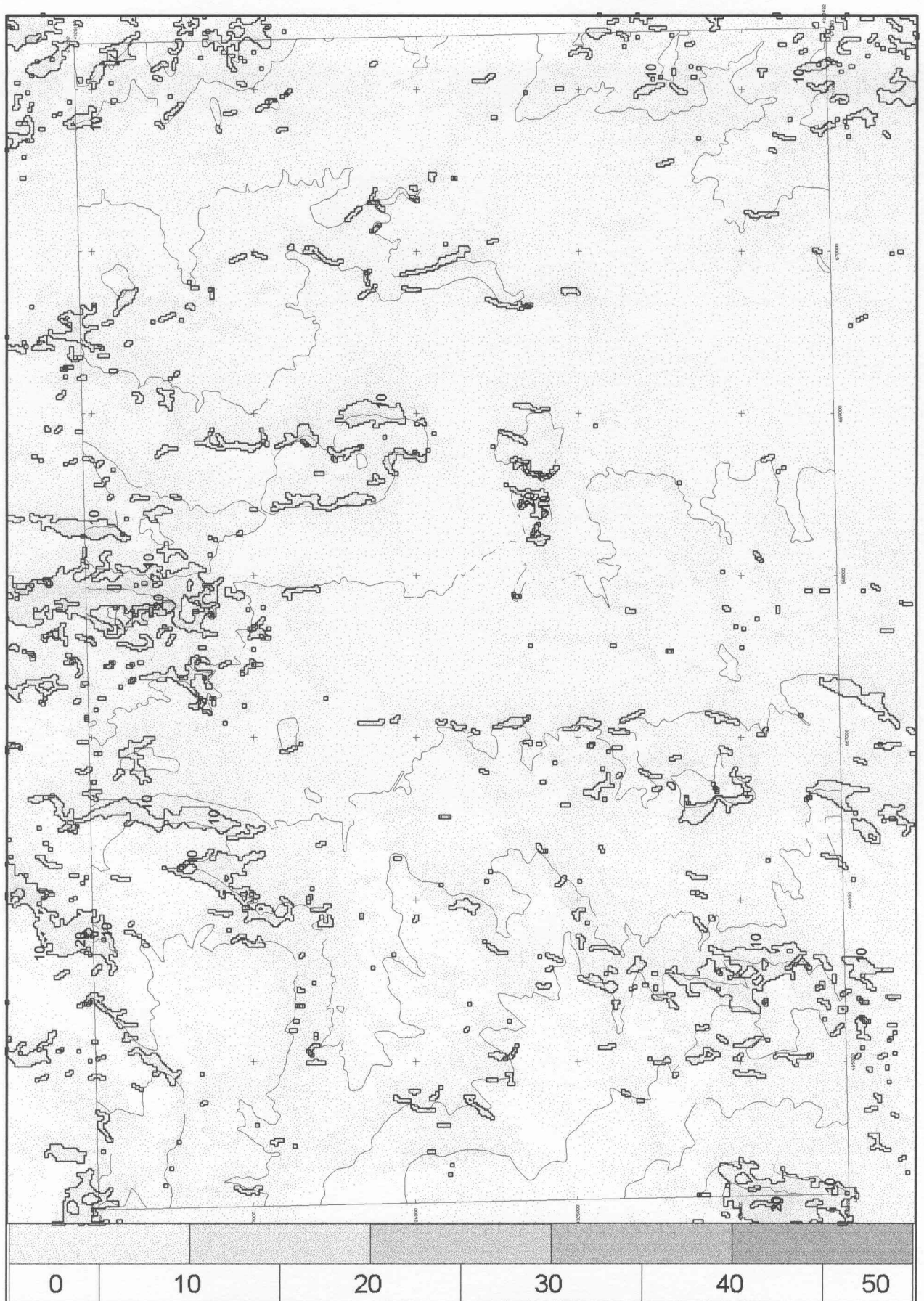






FIGURA 290: APLICACIONES AL TERRITORIO.  
HOJA N° 76823 Y ADYACENTES. MAPA DE SOMBRAS.VERANO.





## IV. Conclusiones

### 6. El cálculo del factor de obstrucción solar como herramienta para la toma de decisiones en el proceso de proyecto arquitectónico y urbanístico

Los procedimientos expuestos en el punto 2.8, plantean las posibilidades de aplicación del cálculo del vector solar. Conocer la dirección del vector solar, para una ubicación geográfica, en una fecha definida y en una hora concreta permite el cálculo de las sombras propias y arrojadas en ese instante por los objetos opacos incluidos en un entorno. Aceptando un umbral de exactitud de  $0.5^\circ$  sexagesimales en la determinación de la latitud del lugar y un umbral de precisión de 1 minuto en la determinación de la hora; los datos obtenidos para el vector solar son aplicables en un área geográfica de 21.42 km. en dirección este oeste y de 55.55 km. en dirección norte sur, para una latitud  $\varphi=39^\circ30'$  en el entorno de la ciudad de Valencia. Sin embargo, la validez del dato obtenido se limita al instante para el que ha sido calculado.

Los procedimientos expuestos en el punto 2.9, permiten en cambio la confección de diagramas de obstrucciones. Definido un entorno, con una geometría capaz de producir sombras, y localizada en una ubicación geográfica concreta; los diagramas de obstrucciones permiten conocer la duración de los intervalos en que un punto concreto incluido en el entorno se encuentra oculto a la radiación solar. El dato de la duración de los intervalos de obstrucción, respecto de la duración total de un periodo de estudio permite definir el valor del factor de obstrucción por cociente entre ambos. El diagrama de obstrucciones obtenido es válido para el periodo anual, pero lo es en exclusiva para el punto estudiado.

Como se expuso en el punto 2.10, la información suministrada por el cálculo del vector solar, y el diagrama de obstrucciones resultan complementarias respecto de sus ámbitos de aplicación. Mientras que el vector solar es válido para un área relativamente extensa, el diagrama de obstrucciones lo es en exclusiva para un punto; respecto del tiempo, el diagrama de obstrucción es válido para el periodo anual, mientras que el vector solar es válido en exclusiva para un instante. El procedimiento basado en la obtención de mapas de sombras, en cambio; es válido para áreas relativamente extensas, y la vigencia temporal de los datos obtenidos abarca la totalidad del periodo anual.

La obtención de mapas de sombras permite conocer simultáneamente el valor del factor de obstrucción para todos y cada uno de los puntos de la superficie de un entorno definido, y a partir de él, deducir la duración de los intervalos en que cada punto recibe la radiación solar. Generalizando la duración del periodo estudiado a un año completo, el valor del factor de obstrucción particularizado para cada uno de los puntos del entorno permite conocer el número total de horas de incidencia solar que recibe a lo largo del año.

Para la obtención de mapas de sombras de un entorno, es necesario conocer cual es su forma, cual es su ubicación geográfica y cual es la duración del periodo que se pretende estudiar.

La aplicación del procedimiento de obtención de mapas de sombras a un entorno real, precisa de la interpretación de la forma del mismo, para a partir de ésta, construir un modelo geométrico tridimensional con capacidad para representar su comportamiento frente a la radiación solar.

A los efectos de la definición del modelo geométrico, las superficies incluidas en el entorno cumplen una doble función; por una parte deben ser capaces de proyectar sombras, siendo opacas a la radiación solar, y por otra parte deben tener capacidad para recibir sombras, mostrando en las imágenes obtenidas un color blanco o negro.

Es conveniente simplificar la geometría del entorno, con el fin de no alargar excesivamente los cálculos informáticos de obtención de sombras; pero esta simplificación no debe hacerse a costa de una pérdida en la capacidad del modelo para representar la geometría del entorno real. En general, el modelo geométrico debe representar una superficie envolvente del modelo real, lo mas adaptada posible al mismo, y con la misma orientación respecto del norte geográfico.

Respecto de la ubicación geográfica del entorno estudiado, sus coordenadas geográficas latitud y longitud; deben conocerse con la mayor aproximación posible. La latitud del lugar es relevante a los efectos de definir la posición de las trayectorias solares sobre la bóveda celeste del lugar, que deben ser reproducidas por el archivo informático que recrea el movimiento solar.

La duración del periodo estudiado permite, por aplicación del factor de obstrucción, conocer la duración de los intervalos en que los puntos de entorno se encuentran en sombra. La identificación de los archivos informáticos que componen la secuencia, mediante un código que permite conocer el mes, el día y la hora a la que corresponden las sombras arrojadas en la imagen, permite la selección parcial de archivos, con el fin de estudiar periodos de soleamiento distintos de periodo anual. estas posibilidades de selección son:

- Periodo anual: El análisis de la secuencia estudiada incluye todos los archivos que componen la secuencia.
- Periodos de invierno o verano: Las secuencias analizadas incluyen los archivos comprendidos entre dos equinoccios consecutivos. Si entre los archivos seleccionados se incluye el solsticio de invierno, la secuencia corresponde al periodo invernal; en cambio, si la selección incluye al solsticio de verano, la secuencia será representativa del periodo de verano.
- Periodos diarios: Basta con seleccionar para su análisis la secuencia de imágenes pertenecientes a un día concreto.
- Estudios horarios: pueden seleccionarse los archivos correspondientes a una misma franja horaria, pertenecientes a un intervalo acotado de días sucesivos.



Si el periodo estudiado es el anual, el dato de la longitud geográfica de la ubicación del entorno estudiado no es relevante; pero si el periodo de estudio es inferior a un día, es necesario considerar las correcciones entre la hora solar, y la hora civil, o tiempo oficial. Dicho dato está condicionado por el huso horario en que se encuentra ubicado el entorno, y por la longitud geográfica del lugar.

El resultado del proceso de cálculo del factor de obstrucción sobre un entorno es una imagen. Dicha imagen, (cuyas condiciones de tipo de proyección y dirección de vista han sido establecidas de antemano), está formada por pixeles ordenados en 480 filas y 640 columnas.

El plano del cuadro sobre el que se obtiene la imagen queda discretizado en 307200 pixeles. Cada pixel representa la proyección sobre el plano del cuadro de un elemento diferencial de las superficies del modelo, y el valor del gris que le corresponde puede interpretarse en términos numéricos como factor de obstrucción.

La obtención de otros mapas de sombras del mismo modelo, en direcciones distintas donde se proyectan los mismos puntos que en el mapa de sombras inicial, permite asegurar que a un elemento diferencial de las superficies del modelo le corresponde un valor de gris con independencia de cual sea el tipo de proyección que ha generado la imagen. Por ello, sobre las superficies de los modelos estudiados, la duración de los periodos de radiación solar incidente genera un campo escalar de valores comprendidos en el intervalo  $[0,1]$  asignable a cada punto de la superficie del modelo estudiado.

El campo escalar de valores del factor de obstrucción es de naturaleza tridimensional. Su valor en un punto del espacio puede apreciarse solamente si el punto se encuentra sobre las superficies del modelo del entorno analizado, y por tanto, es opaco a la radiación solar. En caso contrario, si el punto incluido en el entorno del que se quiere conocer el valor del factor de obstrucción no pertenece a las superficies del modelo, resultará transparente a la radiación solar y por tanto resultará imposible revelar el valor del campo para dicho punto, aunque dicho valor exista; a menos que éste punto se incluya en una superficie opaca a la radiación solar.

Los valores del campo escalar tridimensional definido por el modelo de un entorno, expuesto a la radiación solar durante el periodo anual, desde el punto de vista matemático presentan una variación continua; dado que las líneas que encierran puntos con igual valor del factor de obstrucción son cerradas, y aunque en algunos puntos pueden superponerse, nunca se cortan. Este comportamiento se debe a que el campo escalar sobre las superficies del modelo, y las líneas que encierran puntos de igual factor de obstrucción se generan como la intersección de las superficies del modelo con el campo tridimensional del factor de obstrucción.

Aunque en todos los modelos analizados en el apartado 5 del presente estudio puede constatarse este hecho, en el punto 5.2.1, *estudio del soleamiento de una habitación* resulta mucho más evidente; dado que las líneas que cierran puntos de igual factor de

obstrucción, al cortar a los planos que definen el triedro de la habitación, tienen continuidad en el plano contiguo. Este hecho revela al mismo tiempo la continuidad del campo escalar y su naturaleza tridimensional.

La definición completa del campo tridimensional de valores del factor de obstrucción generado por un modelo expuesto a la radiación solar durante el periodo anual, con independencia de que en un punto concreto del espacio se encuentre una superficie opaca o no, queda abierto para futuros desarrollos del presente estudio.

El carácter gráfico de los datos suministrados por los mapas de sombras, al informar simultáneamente de la duración de los intervalos de soleamiento recibidos por todos los puntos de las superficies del entorno permite, además del análisis particularizado para un punto concreto, la comprensión global del soleamiento recibido por todo el entorno estudiado. De este modo pueden detectarse por interpretación visual de la intensidad de los grises contenidos en los mapas de sombras, cuáles son las condiciones generales de soleamiento de las zonas dentro del área objeto de estudio, detectando aquellas que gozan de unas mejores condiciones de soleamiento, por aparecer en la imagen más próximas al blanco. Además de la distribución de grises sobre la imagen, los mapas de sombras cuentan con líneas que encierran puntos de igual factor de obstrucción, con el valor numérico correspondiente a cada línea expresado en tanto por cien; con lo que la lectura de valores puede ser numérica o visual.

Los mapas de sombras obtenidos a partir de modelos que representan entornos arquitectónicos o urbanísticos permiten conocer simultáneamente para cada punto del entorno analizado, la duración de los intervalos de incidencia solar. De este modo, la información sobre el soleamiento del entorno analizado adquiere un carácter cuantitativo, lo que permite establecer comparaciones objetivas; bien entre distintos periodos de estudio para un mismo modelo, bien entre modelos similares para un mismo periodo.

La cuantificación del soleamiento recibido, aunque solamente sea en términos de la duración de los intervalos de incidencia solar en cada punto del modelo analizado, permite extrapolar a los casos reales que han sido modelizados las condiciones de soleamiento que registran, sancionando así la idoneidad de su comportamiento al sol.

En el caso de los detalles arquitectónicos estudiados en el apartado 5.2, y del elemento de mobiliario urbano estudiado en el apartado 5.3, los mapas de sombras obtenidos en distintas vistas, permiten conocer de un modo cuantitativo la respuesta al soleamiento de los modelos propuestos. Quedará a criterio del proyectista aceptar dichos comportamientos como idóneos, o bien; modificar la forma de los modelos analizados para conseguir unos objetivos concretos y previamente establecidos.

En el caso del análisis del comportamiento al sol de edificaciones y espacios insertos en una trama urbana, estudiados en el apartado 5.4; más allá de la obligación por parte de los proyectistas de dotar a sus obras de las mejores condiciones de soleamiento, dentro de lo que permita el entorno consolidado, puede existir una exigencia normativa de requisitos mínimos, que deben ser cumplidos por los edificios y espacios proyectados.

En el ámbito de la Comunidad Valenciana se encuentran en vigor cuatro Normativas de obligado cumplimiento con referencia expresa a las cuestiones de soleamiento, tres de estas de carácter autonómico y una municipal. A continuación se cita el título de la ley, su fecha de publicación y se reproduce textualmente la mención expresa que hace la misma a las cuestiones de soleamiento:

- *ORDEN de 22 de Abril de 1991, del Conseller de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, por la que se aprueba la modificación y el texto refundido que desarrolla las normas de habitabilidad y diseño de viviendas en el ámbito de la Comunidad Valenciana. (D.O.G.V. de 22 de mayo de 1991).*

#### CONDICIONES DE SALUBRIDAD:

Aquellas que hacen el espacio habitable adecuado sensorialmente a la vida humana, con unos niveles de confort referidos a iluminación y soleamiento, aireación y ventilación, atenuación acústica y condiciones higrotérmicas.

#### EXIGENCIAS DE SALUBRIDAD

Iluminación y soleamiento:

Se atenderá a que la iluminación sea fundamentalmente solar en los espacios interiores de la vivienda, alcanzando en el período diurno niveles suficientes de duración, conforme a las funciones humanas que en ellos se desarrollen.

- *DECRETO 201/1998, de 15 de diciembre, del Gobierno Valenciano, por el que se aprueba el Reglamento de Planeamiento de la Comunidad Valenciana. [1998/L11384]*

Artículo 35. Condiciones de calidad exigibles de las zonas verdes.

*Las Zonas Verdes y espacios libres públicos deberán:*

B. Tener garantizado su posible soleamiento en relación con la edificación circundante.

- *LEY de la Generalitat Valenciana 5/1988, De 24 de Junio, por la que se regulan los Parajes Naturales de la Comunidad Valenciana. (88/2033)*

Artículo 15. 1. Tendrá la consideración de infracción administrativa cualquier acción u omisión que, afectando a los parajes naturales, consista en:

j) Realización de medidas que obstaculicen la accesibilidad, permeabilidad y soleamiento de las playas.

- *ORDENANZA MUNICIPAL de Parques y Jardines de Valencia. Aprobada por acuerdo de fecha: 29.11.02. (Publicación B.O.P.: 10.06.2003).*

Artículo 5. 1.- En cuanto a plantación, las nuevas zonas verdes deberán cumplir las siguientes normas:

e) Cuando las plantaciones hayan de estar próximas a edificaciones, se elegirán aquellas que no puedan producir por su tamaño o porte una pérdida de iluminación o soleamiento en aquéllas, daños en la infraestructuras o levantamiento de pavimentos o aceras.

En otras Comunidades Autónomas también pueden encontrarse Normativas de obligado cumplimiento que recogen determinadas exigencias encaminadas a garantizar unas condiciones mínimas de soleamiento. Estas son:

- *LEY 9/2002, de 30 de diciembre, de Ordenación Urbanística y Protección del Medio Rural de Galicia. (BOE de 21 de enero de 2003)*

Artículo 48. 5. Normas de calidad urbana:

El planeamiento urbanístico deberá fijar la altura máxima de las edificaciones en proporción al ancho de las vías y espacios libres, de modo que queden garantizadas las mejores condiciones posibles de soleamiento y ventilación natural de las viviendas.

- *LEY 12/1985, de 13 de junio. Comunidad Autónoma de Cataluña (DO: Generalitat de Catalunya 28-6-1985). Ley de espacios naturales protegidos. (Modificado, art. 37.2 y 37.3, por Decreto Legislativo 26-7-1994.)*

Artículo 11. 3. El planeamiento urbanístico de las áreas que en el futuro sean destinadas a acoger asentamientos urbanos, que afecten o puedan afectar la faja de 100 metros adyacentes a la zona de dominio público litoral, deberá garantizar la permeabilidad y accesibilidad de las playas, el soleamiento y la preservación del paisaje consolidado desde los núcleos tradicionales.

En todos los casos reseñados, la Normativa exige garantizar unas mínimas condiciones de soleamiento, bien sea en playas, espacios naturales, sobre edificaciones o en zonas verdes urbanas, o bien se pretende evitar que el crecimiento de plantaciones en zonas verdes dificulte el soleamiento de las edificaciones próximas, pero las normas no cuantifican cual es el umbral mínimo que sanciona como aceptable una solución determinada y qué supone una transgresión de la norma, con lo que la vigilancia sobre su cumplimiento por parte de los órganos competentes se dificulta, al no contar con criterios de decisión.

Con el procedimiento que se propone es posible la cuantificación de la duración de los periodos de soleamiento, lo que puede permitir, establecidos unos mínimos por la normativa, calificar determinadas soluciones urbanísticas como aptas o no aptas en su comportamiento al sol.

Por otra parte, como ha quedado demostrado en el apartado 5.4.4, la obtención de mapas de sombras de espacios urbanos, y la posibilidad de cuantificar las pérdidas de soleamiento producidas por la introducción de nuevas edificaciones en entornos consolidados se configura como una herramienta para dirimir litigios relacionados con el derecho al sol; en el caso de que un propietario se sienta perjudicado por la construcción de nuevas edificaciones en las proximidades de su propiedad, que dificulten o impidan la recepción de la radiación solar.

En el caso de las topografías estudiadas en el apartado 5.5, la obtención de mapas de sombras del territorio permite conocer la duración de los intervalos de soleamiento para todos los puntos del modelo analizado.

Si el relieve topográfico estudiado no cuenta con accidentes significativos, los mapas de sombras que se obtendrán a partir del modelo de éste presentará un valor de gris homogéneo, próximo al blanco, y con valores del factor de obstrucción muy bajos. En cambio, si existen accidentes topográficos de relevancia, con capacidad para arrojar sombras durante intervalos de duración significativa a lo largo del día, el mapa de sombras del modelo correspondiente presentará una gradación de grises que permitirá identificar las áreas donde se producen pérdidas de soleamiento debidas a las sombras arrojadas por los accidentes topográficos existentes.

El conocimiento de los periodos de soleamiento en el territorio, y la delimitación de las áreas con peores condiciones de soleamiento puede resultar de interés para la programación de labores agrícolas y forestales de carácter estacional, como es el caso de las reforestaciones. También puede permitir la localización de áreas con mayor sensibilidad al ataque de determinadas plagas, que proliferan en ausencia de la radiación solar.

En las zonas agrícolas donde el precio del suelo sea muy elevado, las necesidades de aprovechamiento del suelo pueden obligar al aterrazamiento de terrenos con el fin de utilizar las laderas para la plantación de cultivos. Si las plantaciones se disponen en zonas con mucha pendiente, sus condiciones de soleamiento pueden verse afectadas por las sombras arrojadas por unas laderas sobre otras. Si además el tipo de cultivo necesita de la instalación de invernaderos, la eficiencia de los mismos está condicionada por la adecuada recepción de la radiación solar.

La obtención de mapas de sombra del territorio puede resultar también de interés para el trazado y mantenimiento de infraestructuras viarias. Si el mapa de sombras obtenido corresponde al periodo de invierno, puede permitir la localización de tramos viarios con hielos persistentes (umbrías), si no reciben radiación solar durante el día. A partir de este dato pueden tomarse las medidas oportunas, referidas tanto al diseño de la vía como a su señalización.

En general, se puede concluir que el procedimiento de obtención de mapas de sombras de modelos tridimensionales, con capacidad de representar el comportamiento real de un entorno, sea este natural, arquitectónico o urbanístico; permite conocer la duración de los intervalos de recepción de radiación solar sobre todos y cada uno de los puntos de la superficie del modelo de un modo simultáneo.

La información así obtenida es de carácter gráfico, por tratarse de una imagen, pero tiene también un carácter numérico si se particulariza para cada punto de la superficie representada en el modelo, como valor del factor de obstrucción para dicho punto. La introducción en la imagen de líneas de igual factor de obstrucción, acompañadas del valor escalar correspondiente permite la lectura del mapa de sombras como si se tratase de una representación en sistema acotado, sustituyendo en este caso el valor de la cota por el valor del factor de obstrucción.

## 7. Incorporación de datos de carácter meteorológico. El Tanto por ciento de cobertura nubosa

Todos los estudios de carácter teórico sobre las cuestiones de soleamiento tienen un cierto grado de incertidumbre debido a las condiciones meteorológicas del entorno geográfico estudiado. La atmósfera, como una auténtica máquina térmica registra presencia de vapor de agua en movimiento cuya densidad, en forma de nubes, condiciona la recepción de la radiación solar sobre la superficie terrestre.

La demanda de una mayor exactitud en el cálculo del soleamiento efectivo recibido en una ubicación geográfica concreta obliga a tener en cuenta los factores de carácter meteorológico. La evaluación de los intervalos de cielo cubierto o despejado dentro de un periodo de estudio, y para una ubicación geográfica concreta tienen que ser determinados necesariamente por procedimientos estadísticos, cuya validez, permita extrapolarlo a periodos futuros. Aun considerando periodos de estudio relativamente extensos, los datos obtenidos pueden presentar desviaciones respecto de los calculados, dado su carácter estadístico.

En el ámbito de los estudios de carácter meteorológico existen multitud de modelos de previsión que permiten establecer la evolución meteorológica para un intervalo concreto, siendo tanto menos fiables los datos obtenidos cuanto más a largo plazo sea la predicción. El cálculo del porcentaje de cobertura nubosa para un periodo futuro presenta el mismo inconveniente, por lo que sus métodos de cálculo están basados en el estudio de lo acontecido al respecto durante los años anteriores.

A continuación se reseña un artículo recogido en la página web del DSRS (Dundee Satellite Receiving Station), de la Universidad de Dundee; Gran Bretaña, bajo el título "Europe Sunnines Computation Method", donde se propone un procedimiento estadístico para el cálculo del tanto por ciento de cobertura nubosa para Europa durante el año 2001. El método, de gran simplicidad, está basado en un concepto análogo al utilizado para el cálculo informático del valor del factor de obstrucción: la capacidad que tiene un pixel dentro de una imagen resultado de procesar una secuencia de representar el valor medio de lo sucedido en el punto representado por dicho pixel.

Europe Sunniness Computation Method<sup>27</sup>

A partir de las imágenes en la banda visible a alta resolución obtenidas por el satélite meteorológico europeo METEOSAT, a las 12:00h UT. todos los días es posible calcular la cobertura nubosa media para Europa. El cálculo se aborda a partir de una imagen de toda Europa, en la que por métodos iterativos han sido eliminadas todas las nubes. Esta imagen a efectos de los procesos de cálculo recibe el nombre de fondo.

---

<sup>27</sup> <http://www.sat.dundee.ac.uk/>



fig. 291: IMAGEN DE EUROPA SIN NUBES.

Tomando una imagen individual de las obtenidas por el METEOSAT, (En el ejemplo, una imagen del Golfo de León), se sustrae de ella aquellos pixeles que coinciden en tonalidad con los correspondientes de la imagen fondo. La imagen obtenida por diferencia, tras ser aumentado su contraste, muestra aquellos pixeles en donde la interposición de nubes produce por reflexión un cambio en la tonalidad del pixel respecto de su valor en la imagen fondo.

Dicha imagen es posteriormente transformada valores de blanco y negro de un bit, asignando el color blanco (255) a aquellos pixeles que representan una zona nubosa, y el color negro (00) a aquellos pixeles donde el cielo está despejado.

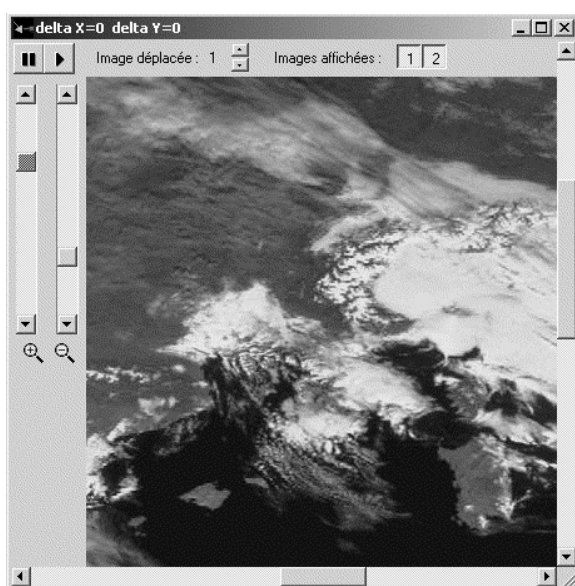


fig. 292: IMAGEN CON FONDO.

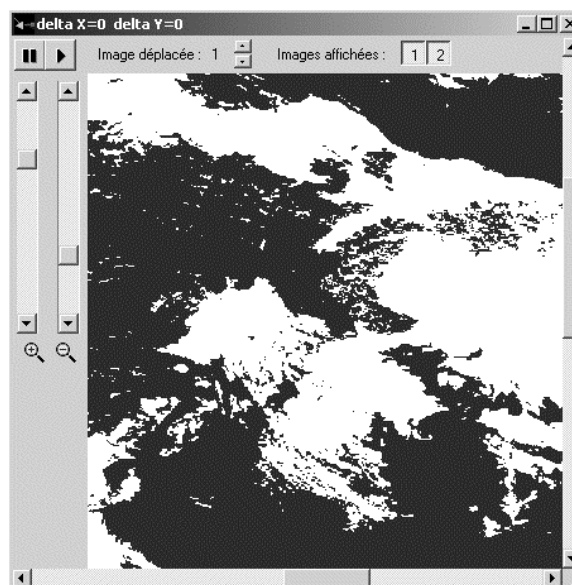


fig. 293: IMAGEN SIN FONDO.

Aplicada la operación anterior a una secuencia de imágenes correspondientes a días consecutivos, y calculando la media aritmética del valor numérico de cada pixel, se obtiene una imagen donde el valor numérico correspondiente al gris que contiene cada pixel proporciona un índice de la Cobertura Nubosa que el área geográfica representada por el pixel ha registrado durante el periodo objeto de estudio. En el ejemplo que se ilustra se han procesado las imágenes correspondientes a las 12:00h de los días comprendidos entre el 14 de diciembre de 2000 al 15 de enero de 2001.

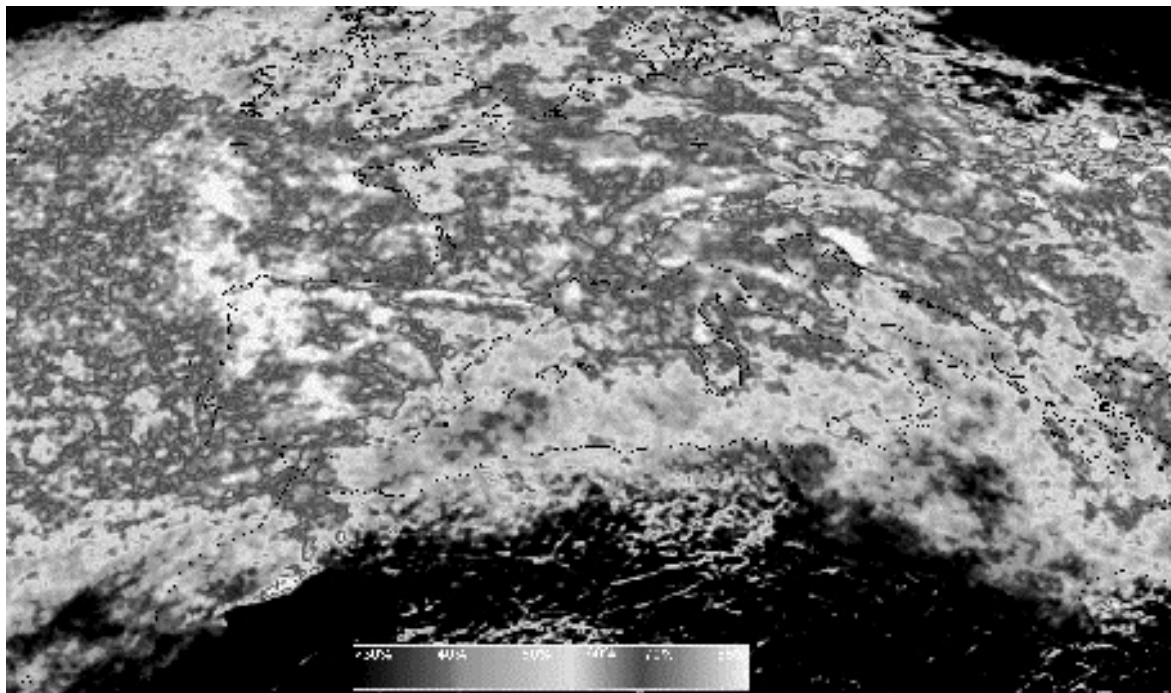


fig. 294: MAPA DE COBERTURA NUBOSA EN % A LAS 12 UT, PERIODO. DEL 13 DE DICIEMBRE DE 2000 AL 14 DE ENERO DE 2001.

El presente método para el Calculo de la Cobertura Nubosa, en su desarrollo y aplicación presenta las siguientes limitaciones:

1. Las imágenes en bruto están contenidas en archivos de formato JPG, y para ser procesadas por el programa PRISM V4 deben ser transformadas al formato CPA o FITS, lo que produce ligeras pérdidas en la calidad de la imagen.
2. La Tierra no está uniformemente iluminada, debido a su curvatura, las nubes no presentan necesariamente una reflexión de tipo lambertiano y presentan distinta densidad en función de su altura y su naturaleza (desde neblinas hasta alto-estratos). No se ha realizado ninguna corrección al respecto, pero el hecho de contrastar fuertemente las imágenes permite soslayar el problema.
3. Las imágenes que pueden obtenerse de la página Web del METEOSAT están obtenidas con un intervalo de 6 horas. Durante el invierno gran parte de las imágenes obtenidas a las 6:00h UT y a las 18:00h UT se encuentra en sombra, debido a la corta duración del día. Queda solo la imagen correspondiente a las 12:00h UT. El valor calculado corresponde pues a un único dato para cada día, y siendo posibles importantes variaciones en la cobertura nubosa dentro de cada día; es necesario aceptar la cobertura nubosa correspondiente a las 12:00h UT como representativa del día completo.



4. Las zonas nevadas no pueden ser discriminadas de las nubes, lo que en las zonas montañosas puede falsear los resultados.
5. Debido a que la imagen Fondo no contiene sombras de nubes, las imágenes que han sido obtenidas en invierno, debido a que la altura del sol sobre el horizonte es bastante baja, producen sombras muy marcadas sobre el suelo en el contorno de las nubes. Estas sombras, no recogidas en la imagen fondo alteran levemente el contorno de las nubes.

El presente método para el Cálculo de la Cobertura Nubosa puede ser aplicado también a las imágenes obtenidas en la banda infrarroja.

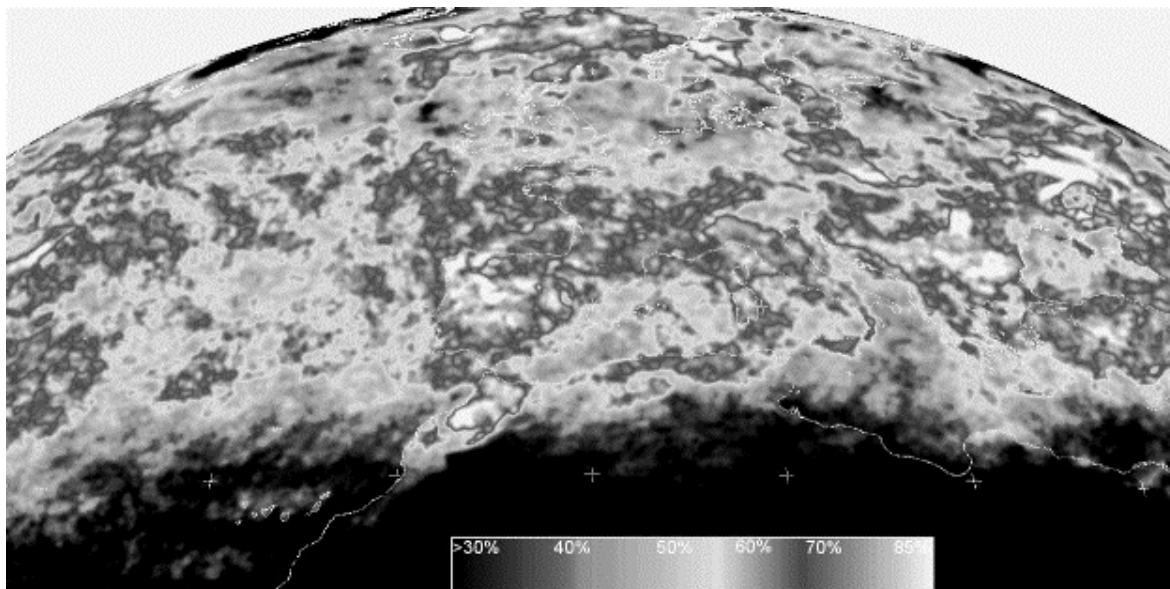


fig. 295: MAPA DE COBERTURA NUBOSA EN LA BANDA INFRARROJA EN % A LAS 12 UT, PERIODO DEL 14 DE DICIEMBRE DE 2000 AL 15 DE ENERO DE 2001.

En el caso de utilizar las imágenes en la banda infrarroja, la imagen obtenida por proceso de una secuencia presenta las siguientes particularidades:

1. Las imágenes obtenidas están liberadas de los efectos del soleamiento (Alternancia día-noche) y de la inclinación de la radiación solar sobre la superficie de la Tierra.
2. Los efectos de las zonas nevadas son despreciables.
3. Por el contrario, dado el carácter térmico de la radiación infrarroja, las nubes muy frías son acentuadas, y las neblinas pueden no ser evaluadas correctamente. En este caso en aumento del contraste de la imagen puede atenuar las diferencias.
4. La resolución espacial de la imagen infrarroja es más débil que la obtenida en la banda visible.

Para el cálculo del valor del porcentaje de cobertura nubosa correspondiente a cada mes, y del correspondiente al año 2001 se ha optado por procesar las imágenes correspondientes a la radiación de la banda visible, debido fundamentalmente a que las imágenes de la banda infrarroja, como se ha dicho anteriormente poseen una resolución espacial más débil. Las imágenes obtenidas para cada mes del año 2001 son las siguientes:

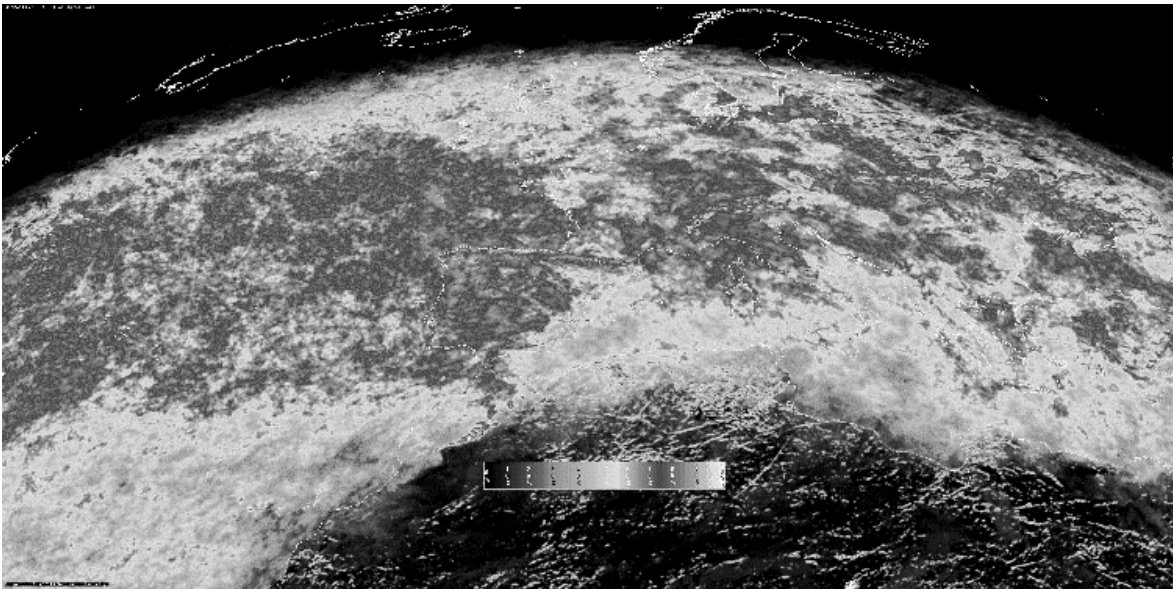


fig. 296: PERIODO DEL 15 DE DICIEMBRE DE 2000 AL 14 DE ENERO DE 2001.

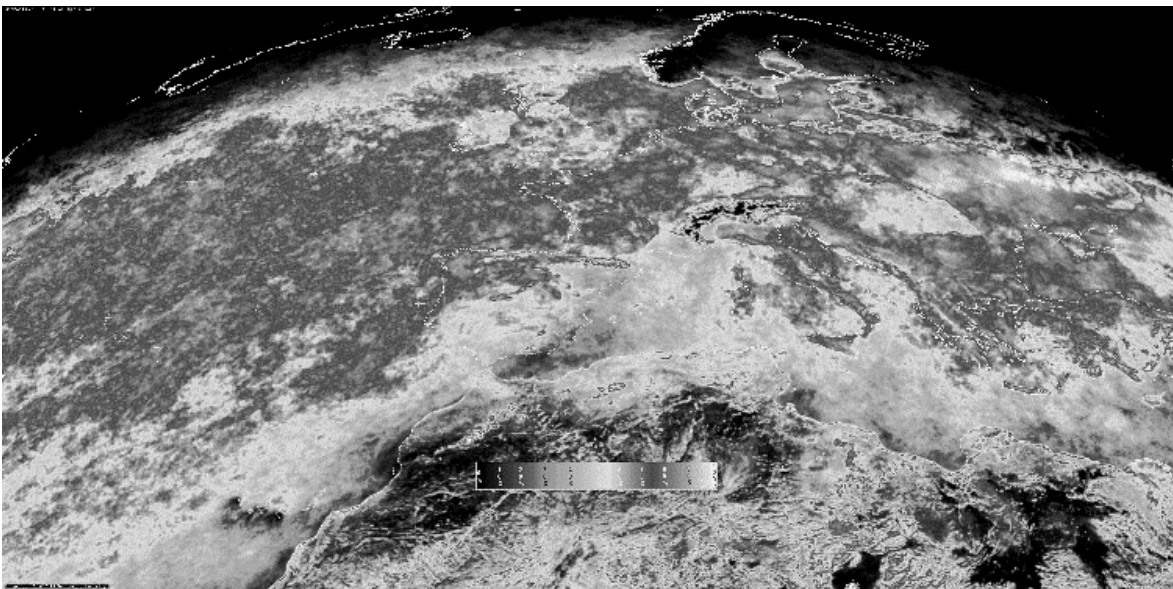


fig. 297: PERIODO DEL 15 DE ENERO AL 14 DE FEBRERO DE 2001.

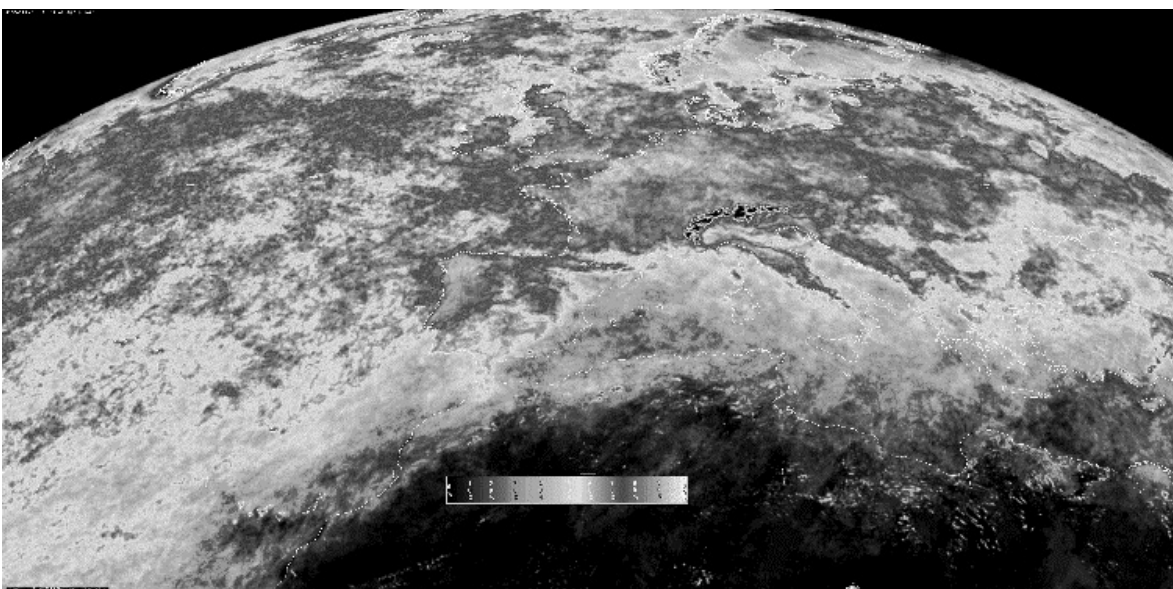


fig. 298: PERIODO DEL 15 DE FEBRERO AL 14 DE MARZO DE 2001.

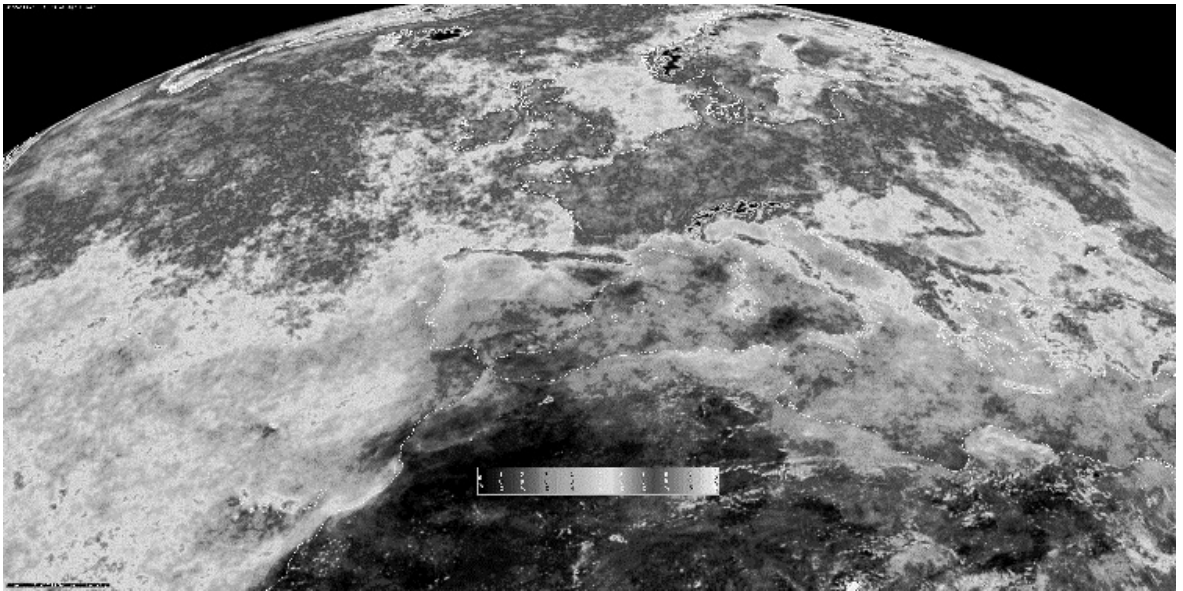


fig. 299: PERIODO DEL 15 DE MARZO AL 14 DE ABRIL DE 2001.

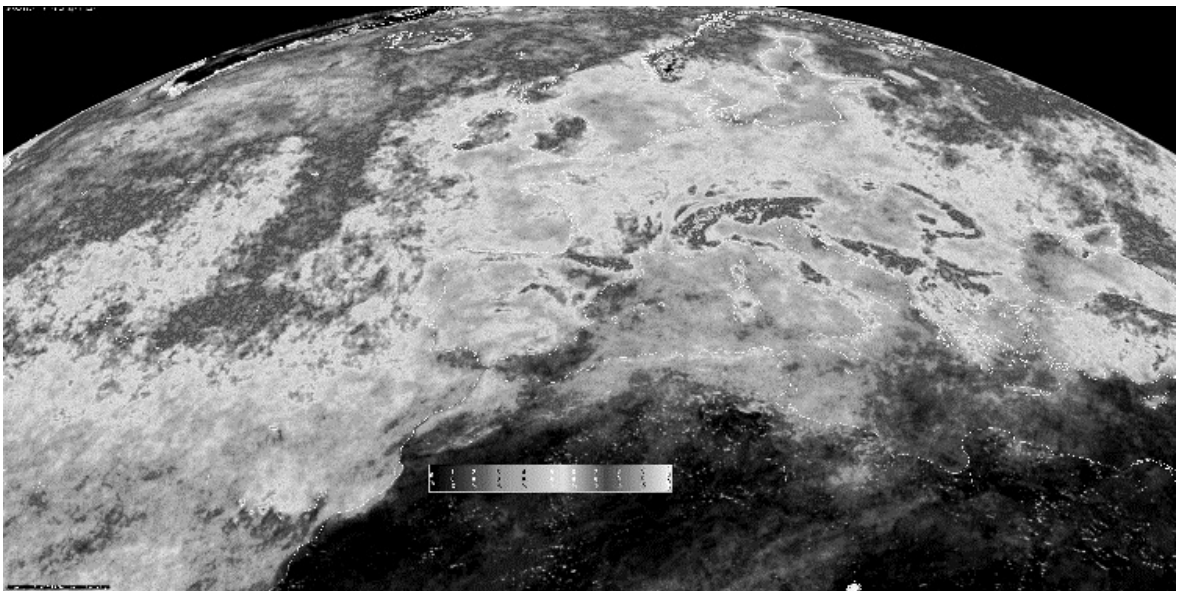


fig. 300: PERIODO DEL 15 DE ABRIL AL 14 DE MAYO DE 2001.

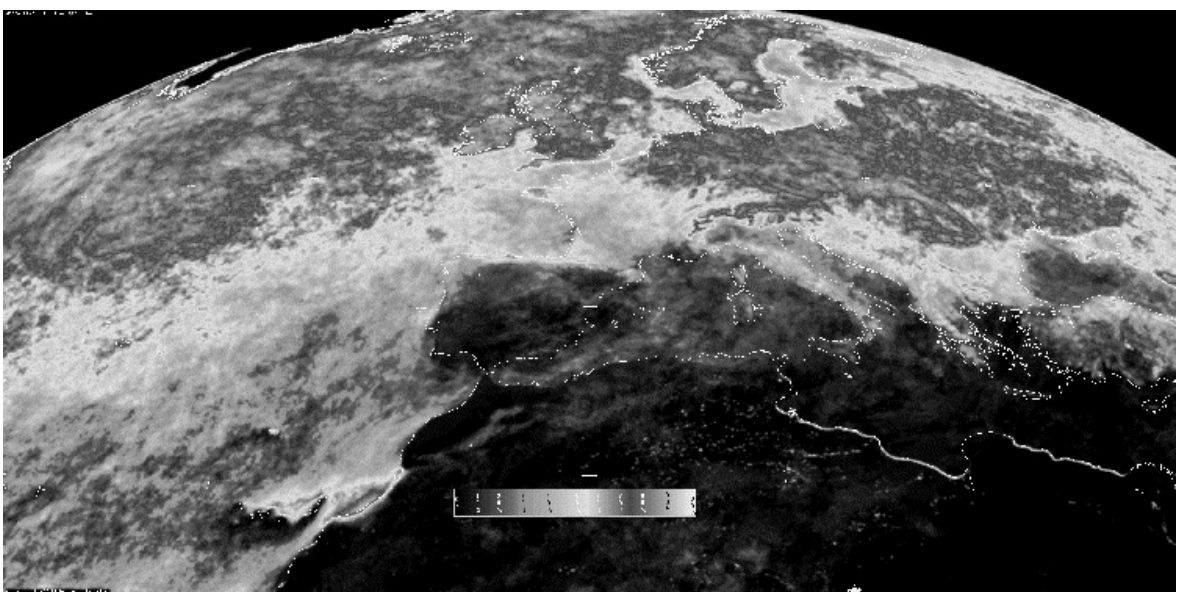


fig. 301: PERIODO DEL 15 DE MAYO AL 14 DE JUNIO DE 2001.



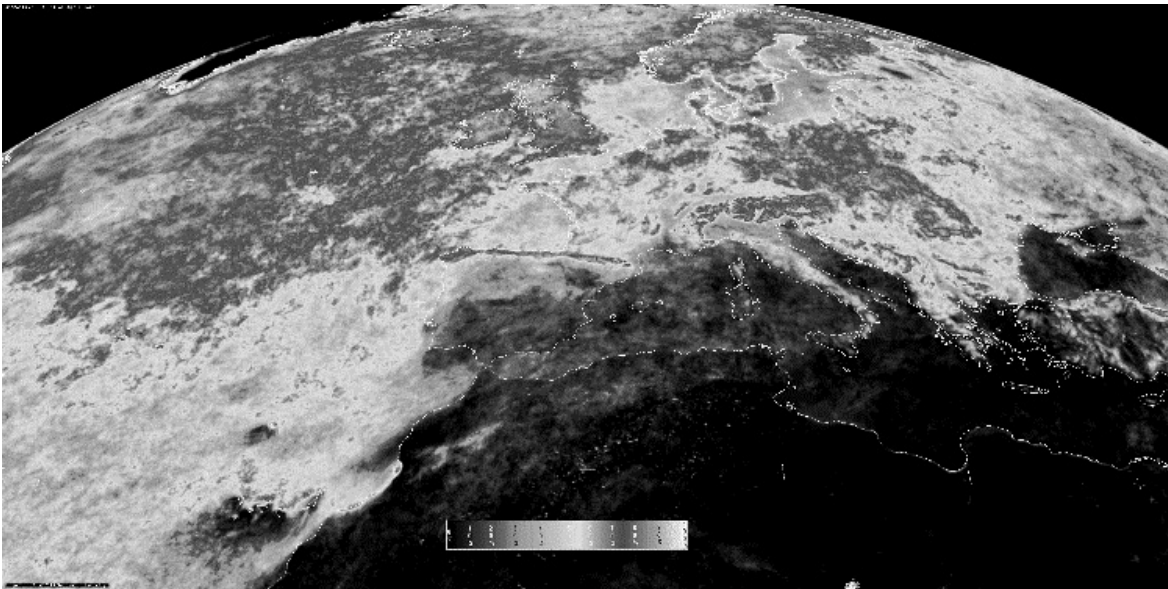


fig. 302: PERIODO DEL 15 DE JUNIO AL 14 DE JULIO DE 2001.

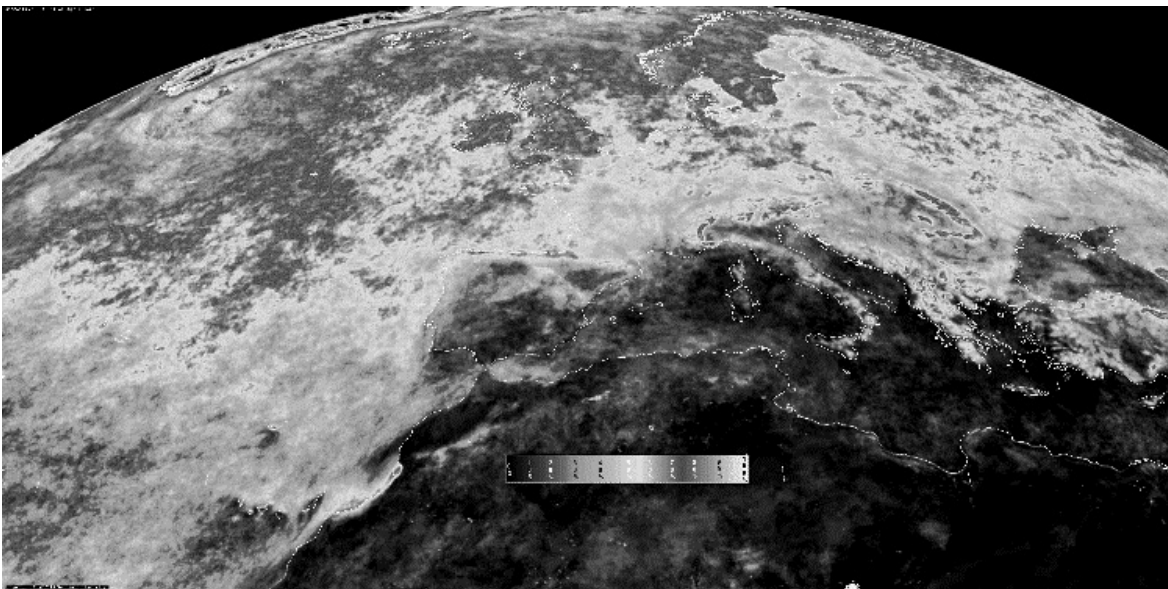


fig. 303: PERIODO DEL 15 DE JULIO AL 14 DE AGOSTO DE 2001.

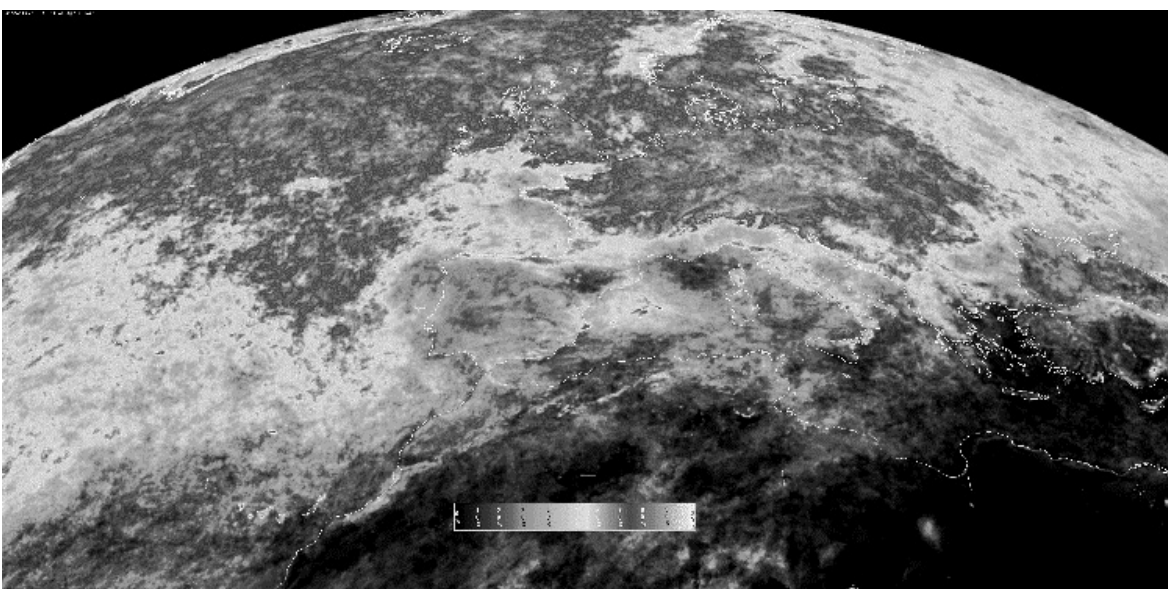


fig. 304: PERIODO DEL 15 DE AGOSTO AL 14 DE SEPTIEMBRE DE 2001.

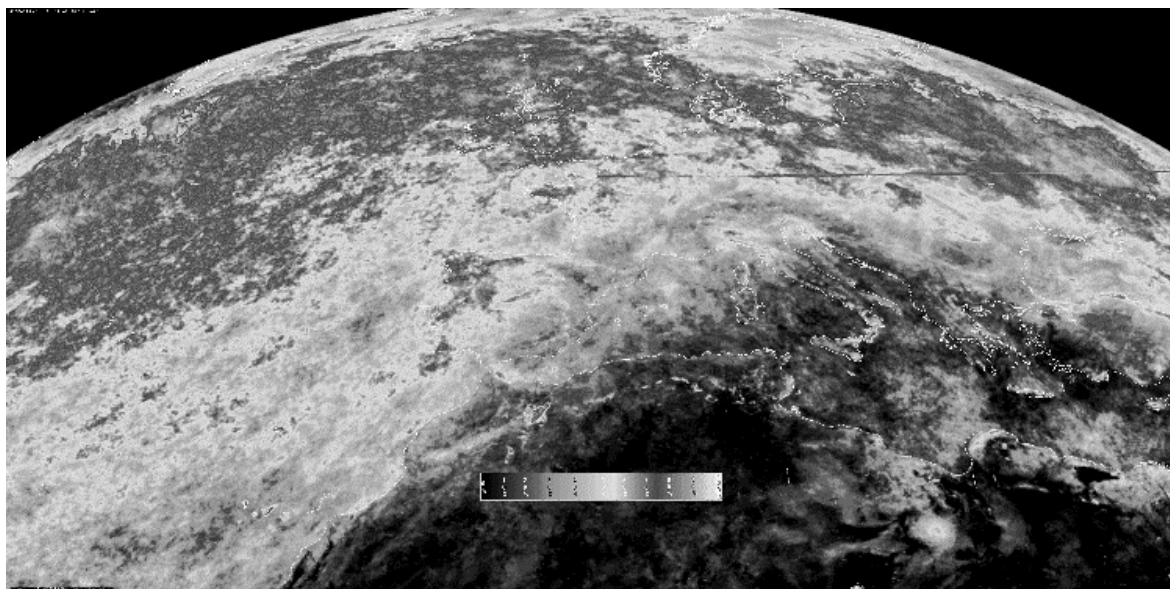


fig. 305: PERIODO DEL 15 DE SEPTIEMBRE AL 14 DE OCTUBRE DE 2001.

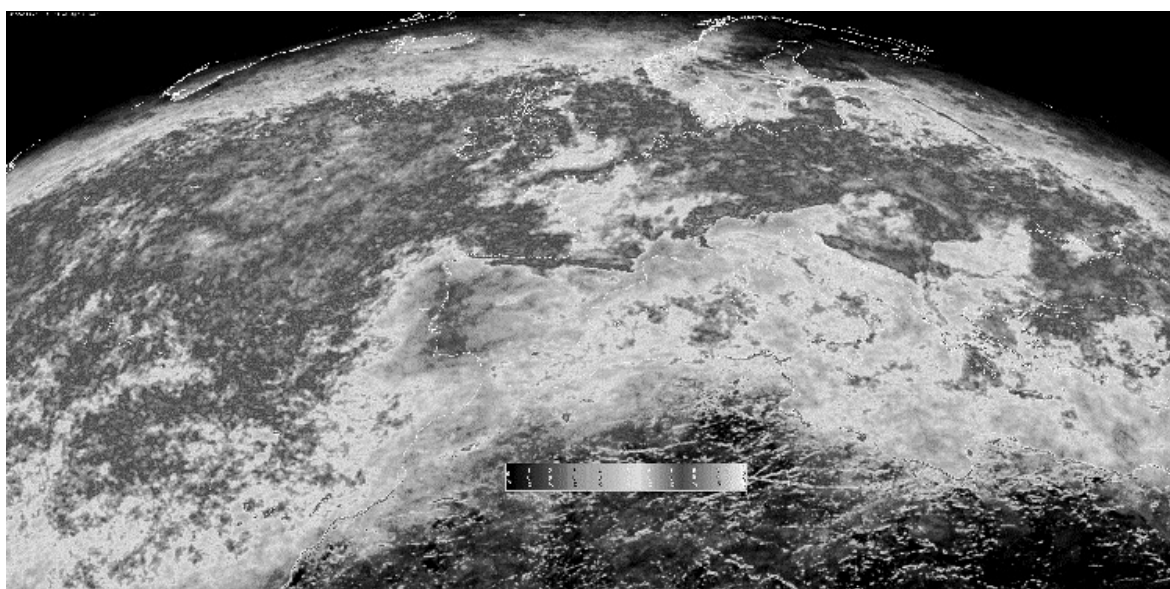


fig. 306: PERIODO DEL 15 DE OCTUBRE AL 14 DE NOVIEMBRE DE 2001.

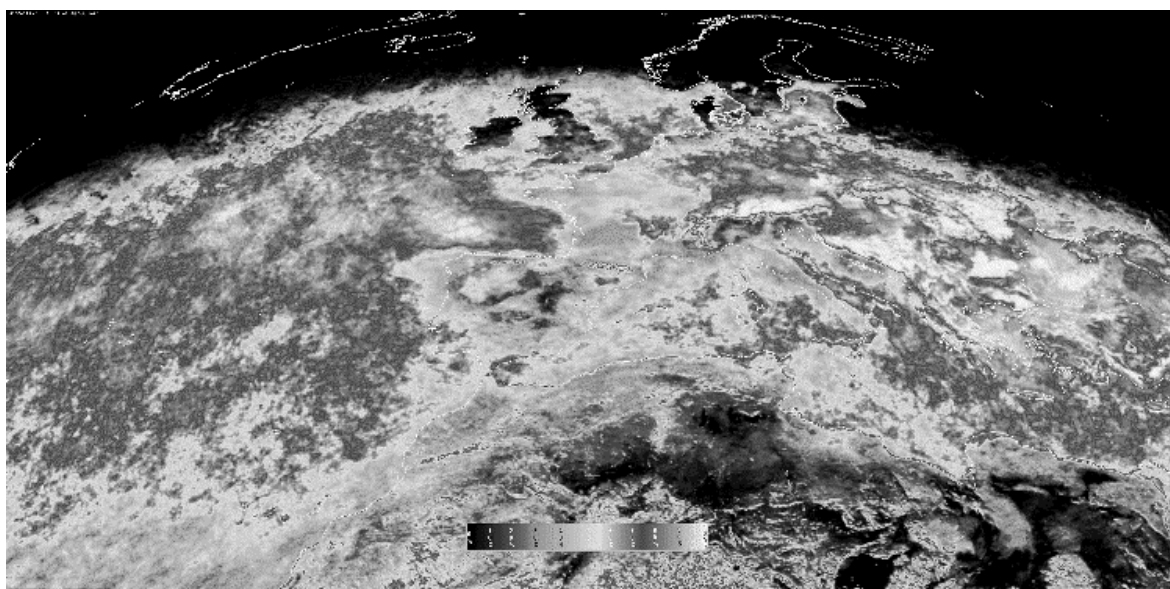


fig. 307: PERIODO DEL 15 DE NOVIEMBRE AL 14 DE DICIEMBRE DE 2001.

Por proceso de las imágenes correspondientes a cada mes, se ha obtenido el mapa correspondiente a la totalidad del año 2001.

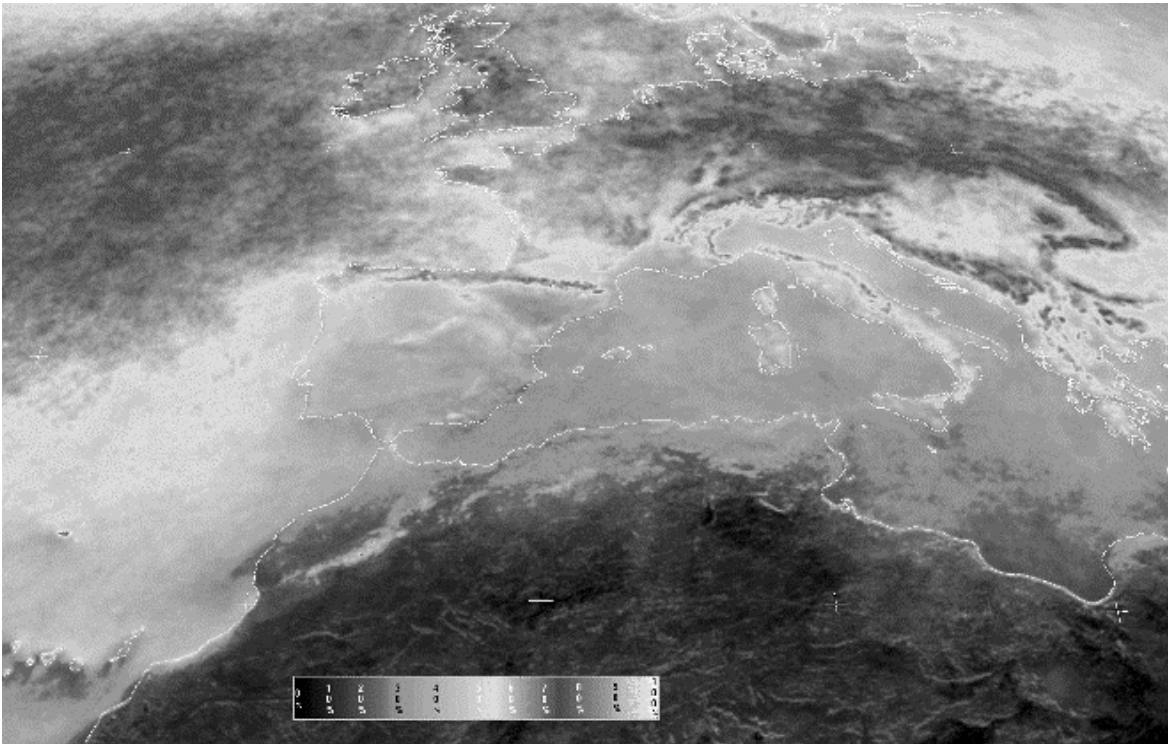


fig. 308: MAPA DE COBERTURA NUBOSA EN % A LAS 12 UT, AÑO 2001.

El procedimiento anteriormente reseñado, y desarrollado por el DSRS, presenta las limitaciones propias de los procedimientos estadísticos, dado que aun contando con los datos acumulados para el año 2001, un periodo anual puede no ser representativo de una tendencia general climática.

Otro inconveniente añadido es el hecho de que las imágenes obtenidas reflejan la cobertura nubosa correspondiente a un solo instante a lo largo de día, y ésta puede presentar importantes variaciones en el periodo diario.

Considerado los valores obtenidos lo suficientemente aproximados, y procediendo a la lectura directa del valor de gris correspondiente al entorno geográfico de Valencia, la Cobertura Nubosa en tanto por ciento que le corresponde es de:

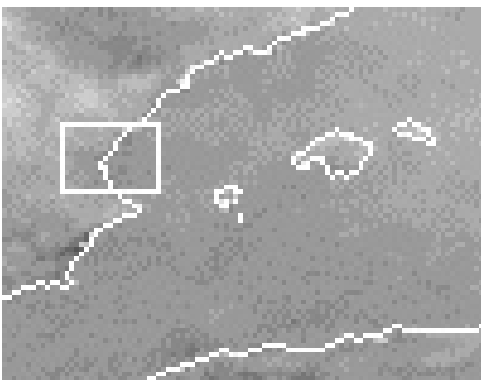


fig.309: MAPA DE COBERTURA NUBOSA EN % A LAS 12 UT, AÑO 2001 EN EL ENTORNO DE VALENCIA.

- 32.5% de cobertura nubosa.

Este dato implica que el 32.5% del tiempo de soleamiento disponible para Valencia durante el año 2001, el cielo se encontró cubierto de nubes, o bien, que el 67.5% del tiempo de soleamiento el cielo se encontró despejado, lo que permite a la radiación solar incidir sobre la superficie terrestre.

Dicho factor permite redefinir la tabla de horas sol/año calculada en el punto 4.3, introduciendo en este caso los factores meteorológicos debidos a la presencia de nubosidad durante el año 2001

Horas de sol/año en función del factor de obstrucción considerando una cobertura nubosa del 32.5% para Valencia durante el año 2001.

Valor del Factor de obstrucción	Horas sol/año	Horas sol/año efectivas
0,00	4075,83	2751,16
0,05	3872,03	2613,60
0,10	3668,24	2476,04
0,15	3464,45	2338,49
0,20	3260,66	2200,93
0,25	3056,87	2063,37
0,30	2853,08	1925,81
0,35	2649,28	1788,25
0,40	2445,49	1650,69
0,45	2241,70	1513,14
0,50	2037,91	1375,58
0,55	1834,12	1238,02
0,60	1630,33	1100,46
0,65	1426,54	962,90
0,70	1222,74	825,34
0,75	1018,95	687,79
0,80	815,16	550,23
0,85	611,37	412,67
0,90	407,58	275,11
0,95	203,79	137,55
1,00	0,00	0,00





## Parte V: Anejos

Los puntos 4.1 y 4.2 del presente estudio están dedicados al cálculo extensivo del factor de obstrucción sobre un mismo modelo geométrico por aplicación de dos procedimientos distintos, con un resultado convergente.

Mientras que el primer procedimiento está basado en el cálculo de obstrucciones solares mediante la carta estereográfica, aplicada a un conjunto finito de puntos, el segundo procedimiento está basado en la obtención de una secuencia de imágenes donde se muestran las sombras arrojadas por el modelo.

El gran volumen de la información gráfica generada en el proceso de cálculo extensivo del factor de obstrucción en ambos procedimientos desaconseja su inclusión en los puntos reseñados, con el fin de no interferir en el desarrollo de los mismos, aunque la información en sí resulta de interés para la comprensión global de los procedimientos utilizados. Por este motivo, se recoge a continuación en tres anejos una parte de la información procesada en cada uno de los procedimientos, acompañada de las imágenes utilizadas en el segundo procedimiento, montadas como animación de vídeo.

## **8. ANEJO I: Cálculo del valor del factor de obstrucción mediante un procedimiento analógico. Proyección estereográfica del entorno desde los puntos de la matriz de control**

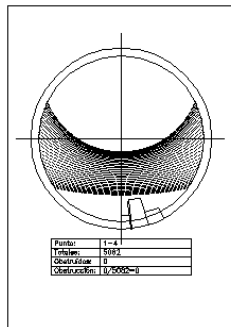
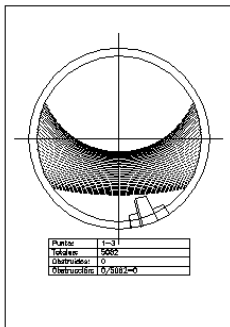
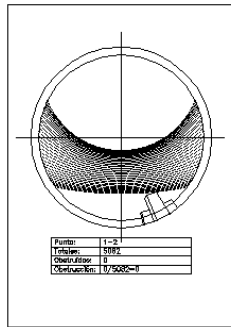
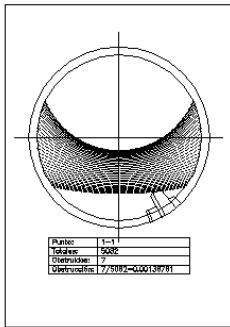
El cálculo extensivo del valor del factor de obstrucción mediante un procedimiento analógico está basado en la obtención dicho valor para un conjunto finito de puntos, dispuestos sobre el plano horizontal, con el fin de interpolar los resultados obtenidos a toda la superficie interior al contorno definido por dichos puntos. Se establece una matriz de control, formada por 11 filas y 11 columnas, que definen en su intersección 121 puntos de control.

El cálculo de la proyección estereográfica del entorno superpuesto a una proyección estereográfica de las trayectorias solares, sobre las que se han distribuido un total de 5082 puntos permite cuantificar los intervalos de luz y sombra para el periodo anual.

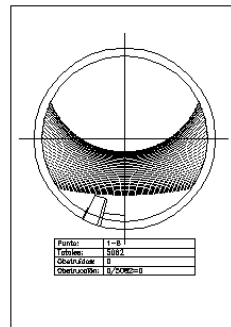
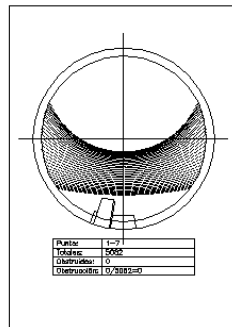
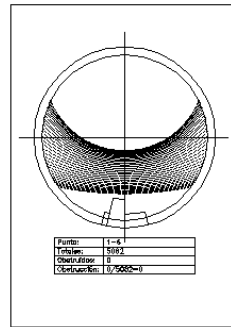
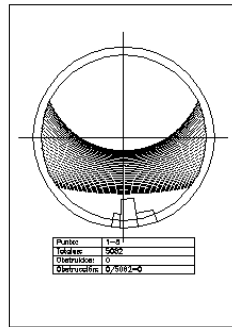
El modo en que se procede a la cuantificación resulta de contar el número de puntos que quedan encerrados por el contorno aparente de la proyección del entorno, valiéndose para ello de los comandos propios del programa CAD utilizado.

A continuación se muestran las 121 imágenes resultado de la superposición, indicando en cada imagen las coordenadas del punto desde donde está obtenida, el número total de puntos obstruidos, y a partir de esta cantidad el valor del factor de obstrucción que le corresponde por cociente respecto del número total de puntos. Los valores numéricos obtenidos están recogidos en la tabla del punto 4.1.3.: Obtención analítica del valor del factor de obstrucción para cada punto de la matriz.

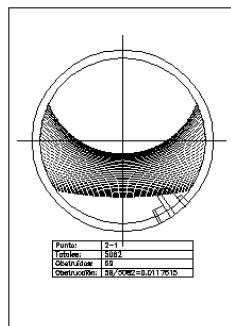
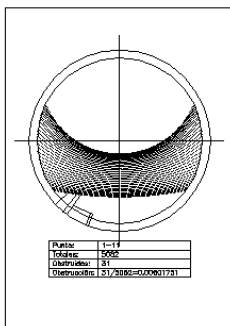
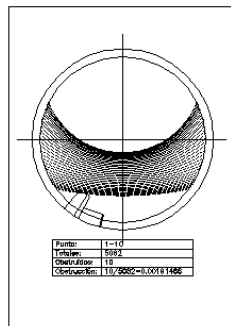
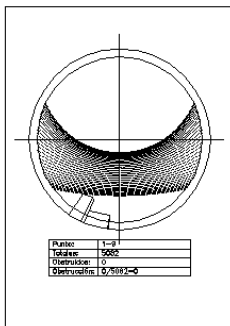
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (1,1)-(1,4)



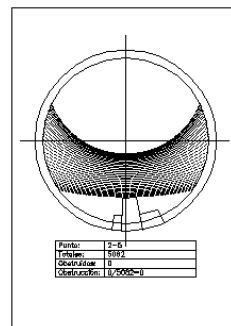
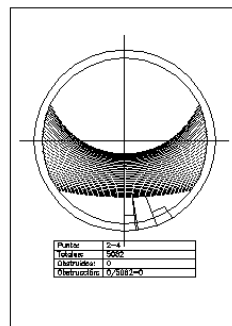
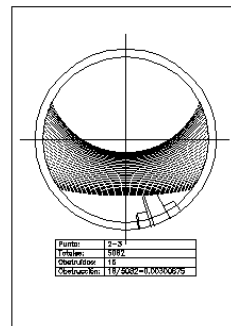
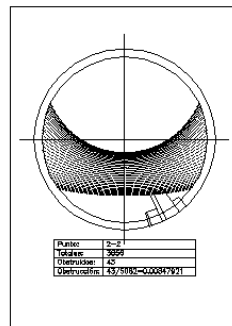
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (1,5)-(1,8)



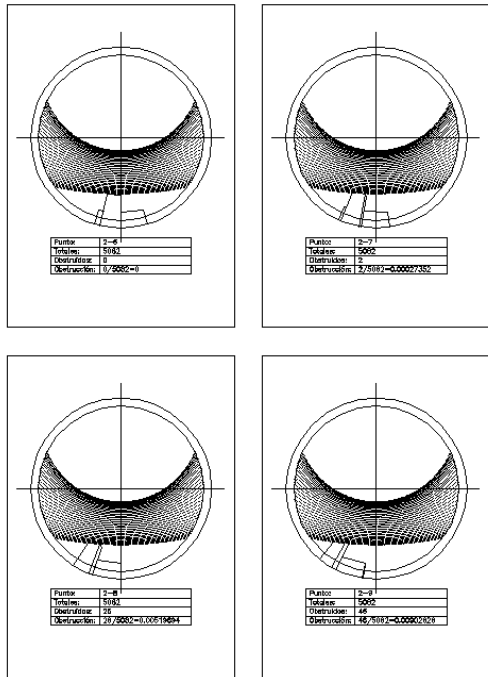
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (1,9)-(2,1)



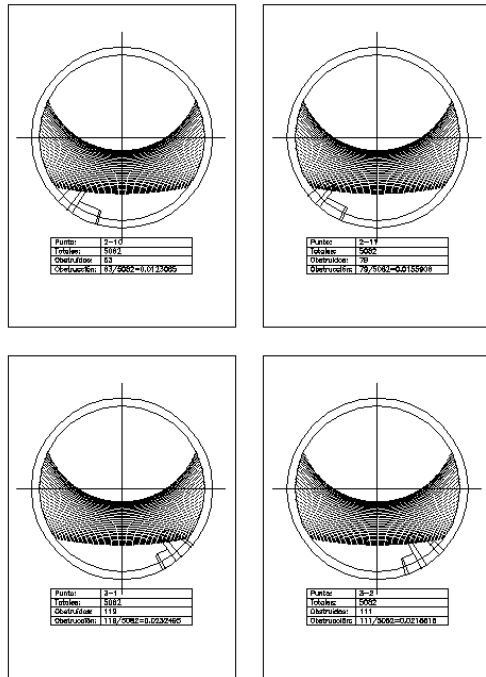
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (2,2)-(2,6)



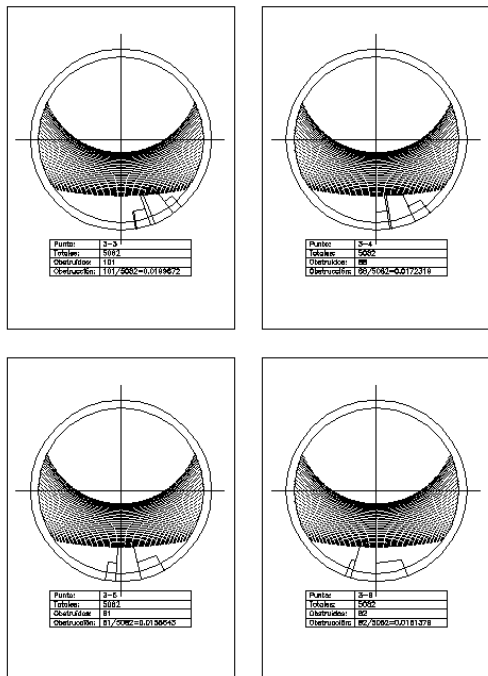
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (2,6)-(2,9)



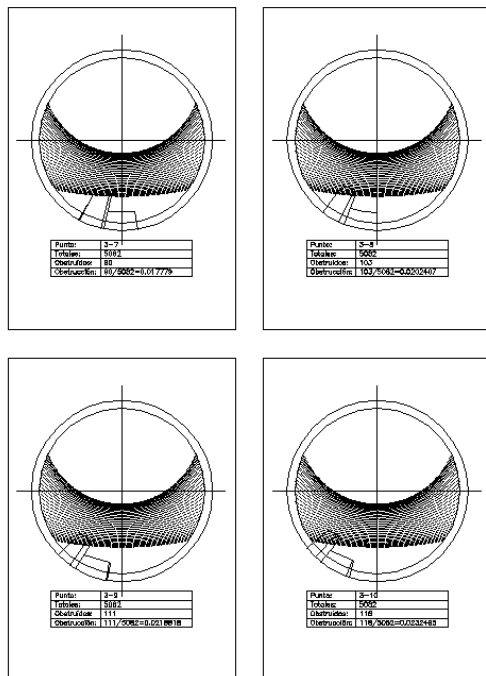
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (2,10)-(3,2)



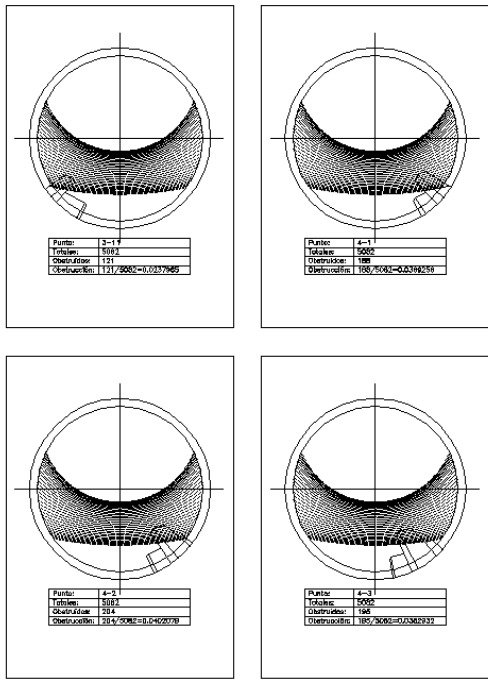
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (3,3)-(3,6)



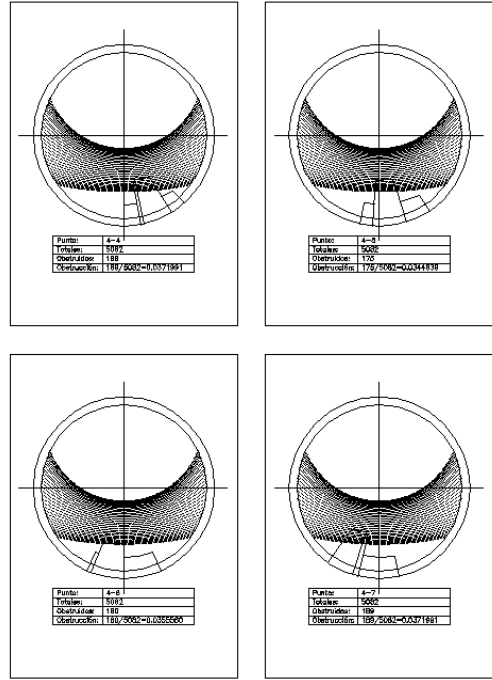
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (3,7)-(3,10)



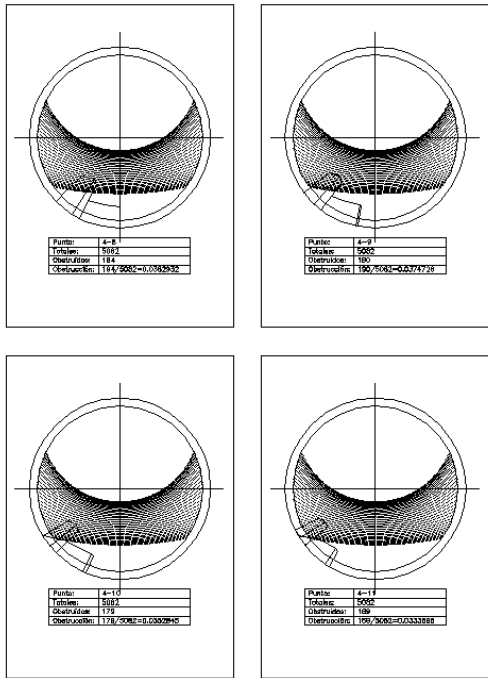
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (3,11)-(4,3)



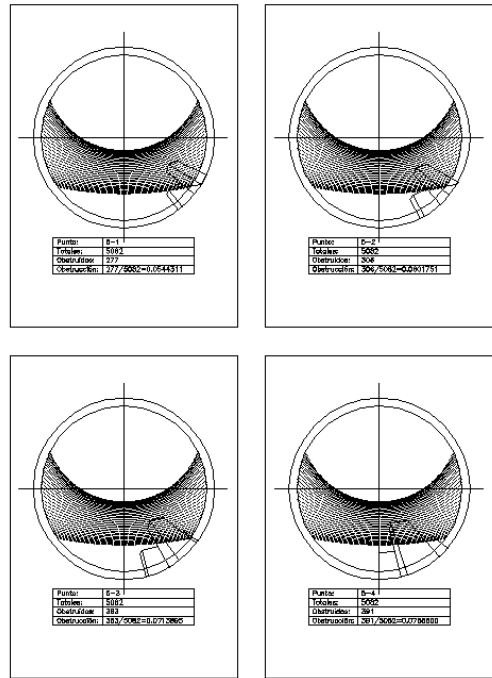
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (4,4)-(4,7)



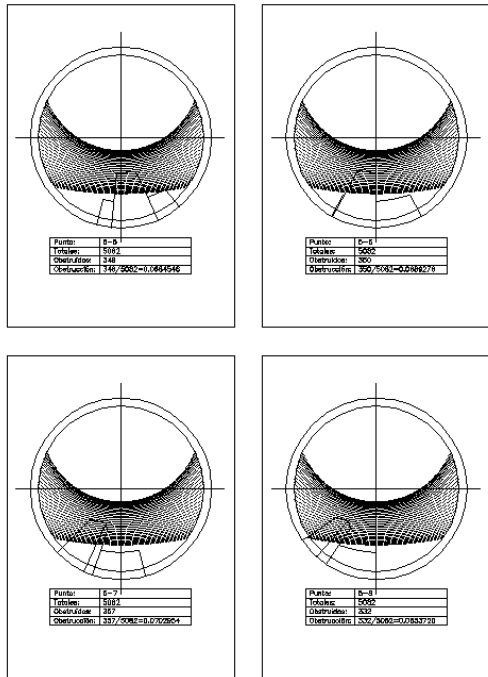
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (4,8)-(4,11)



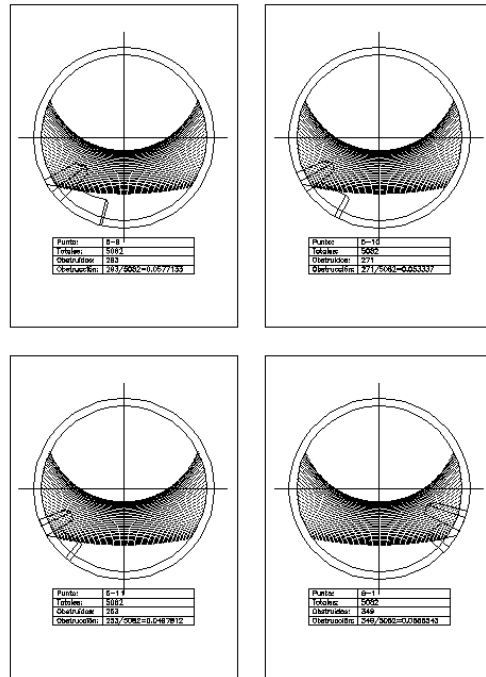
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (5,1)-(5,4)



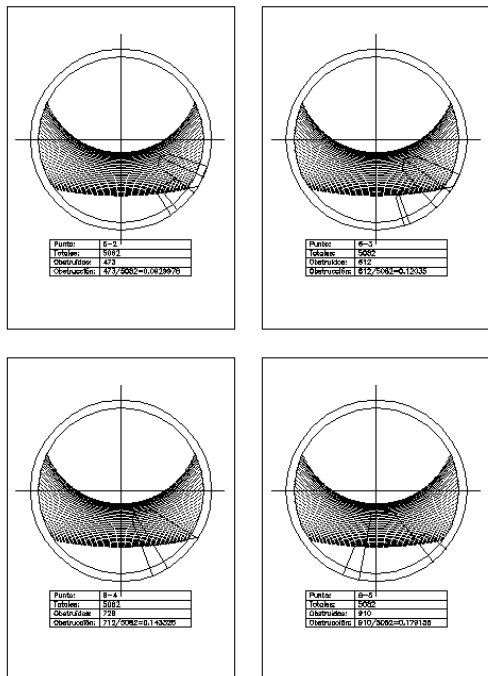
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (5,5)-(5,8)



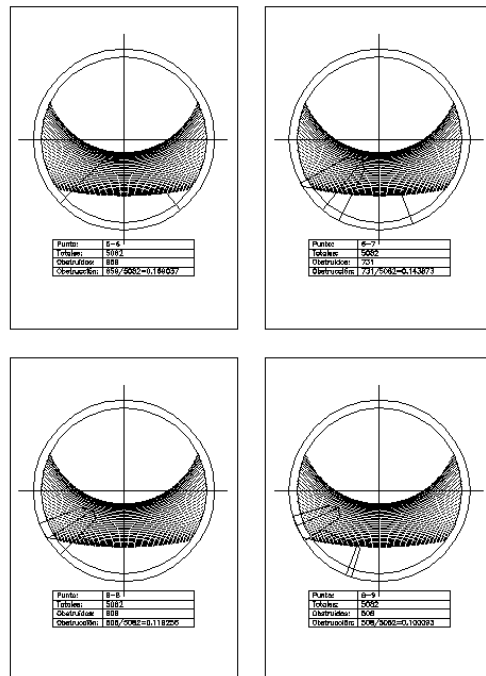
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (5,9)-(6,1)



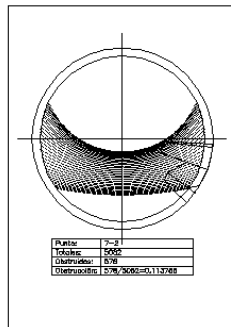
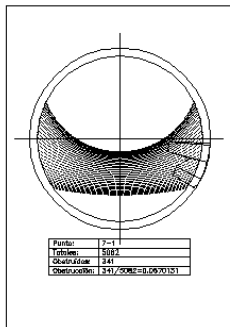
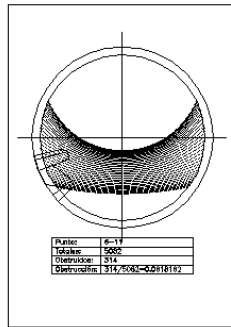
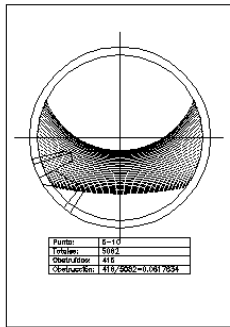
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (6,2)-(6,5)



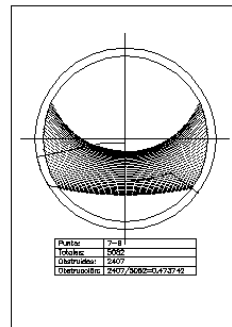
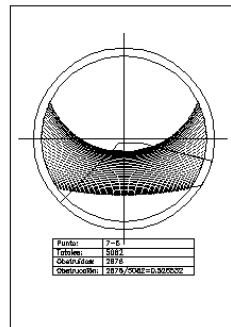
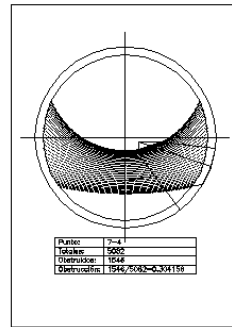
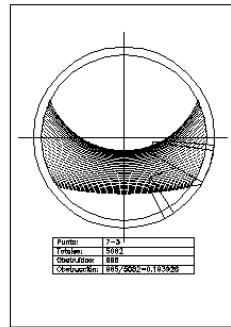
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (6,6)-(6,9)



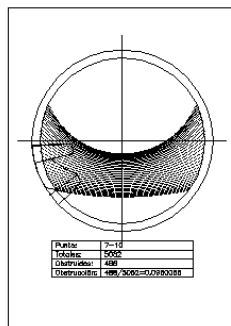
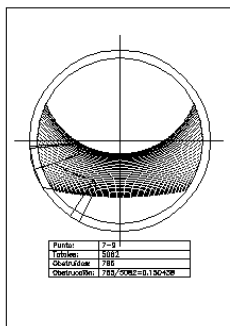
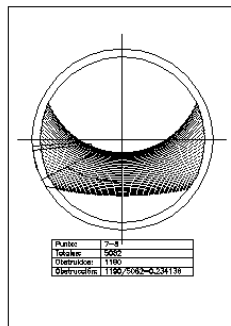
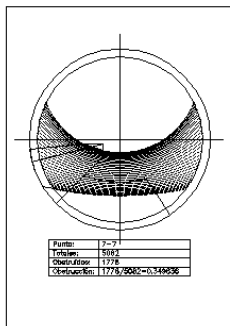
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (6,10)-(7,2)



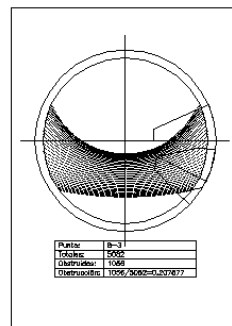
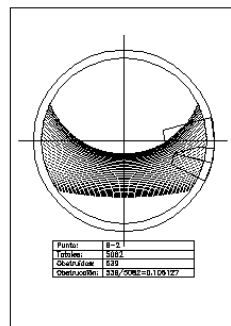
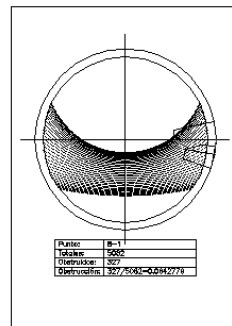
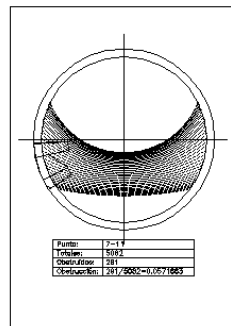
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (7,3)-(7,6)



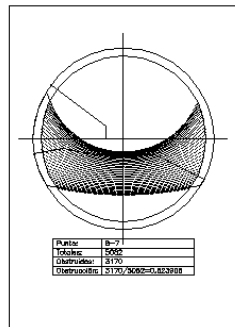
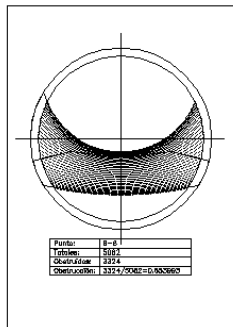
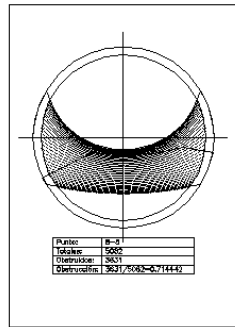
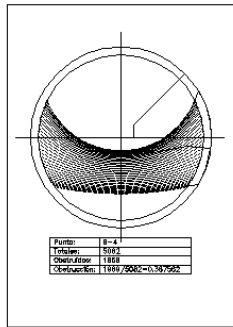
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (7,7)-(7,10)



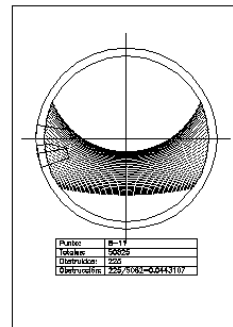
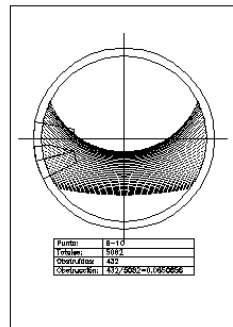
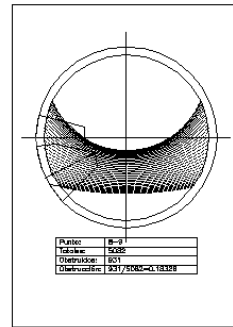
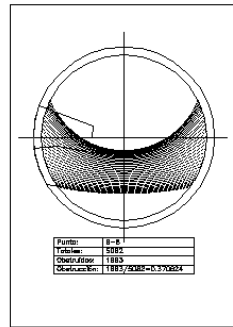
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (7,11)-(8,3)



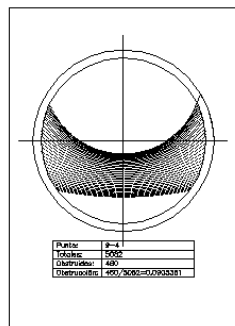
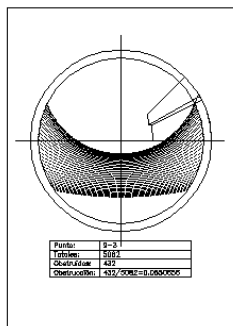
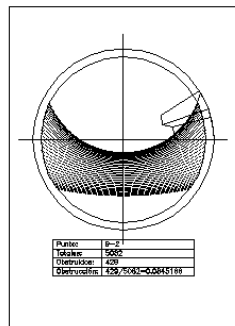
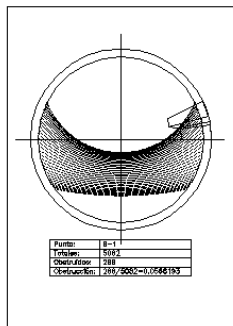
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (8,4)-(8,7)



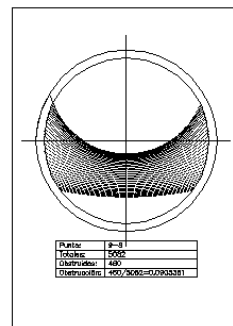
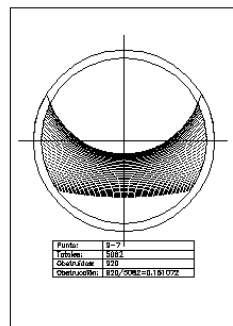
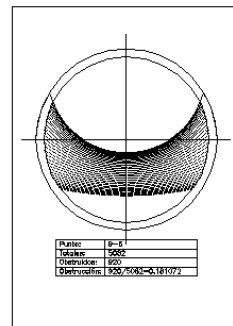
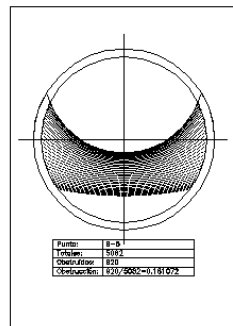
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (8,8)-(8,11)



CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (9,1)-(9,4)

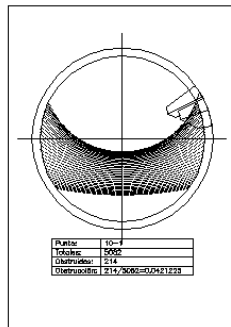
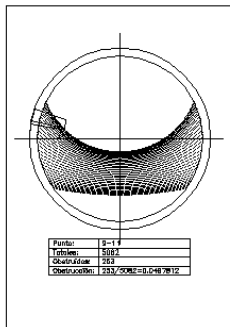
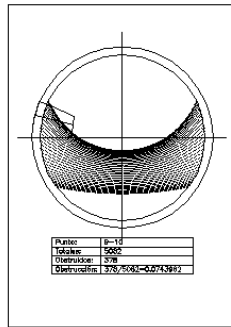
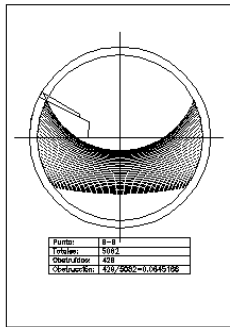


CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (9,5)-(9,8)

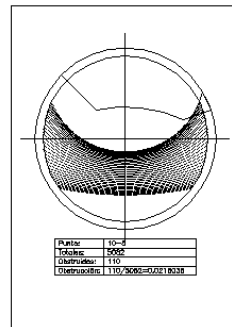
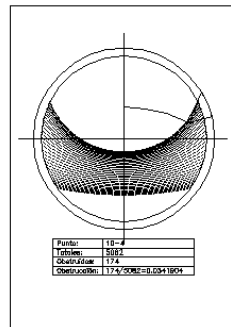
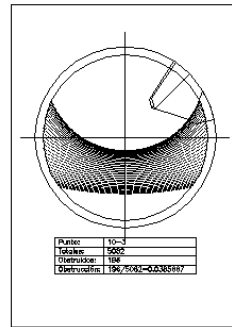
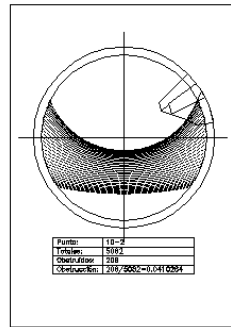




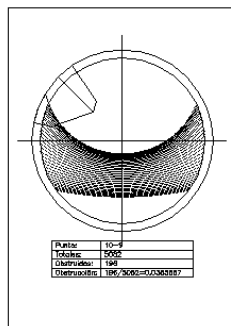
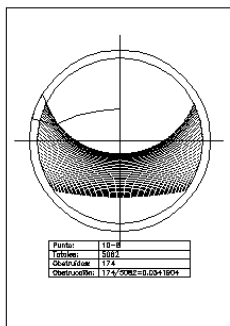
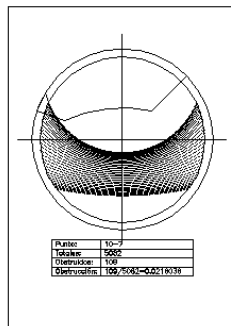
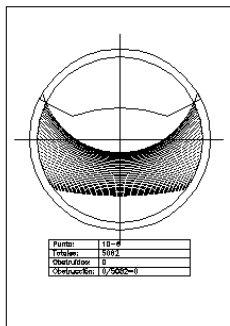
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (9,9)-(10,1)



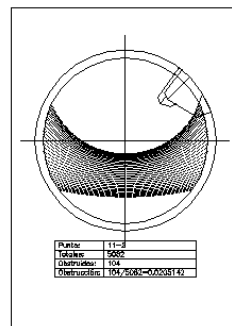
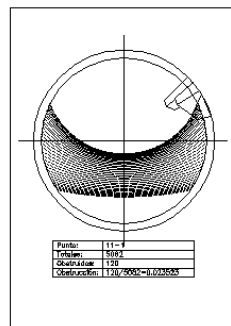
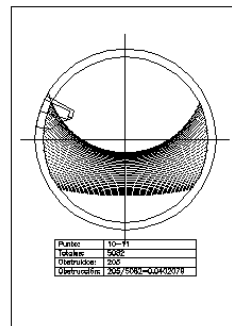
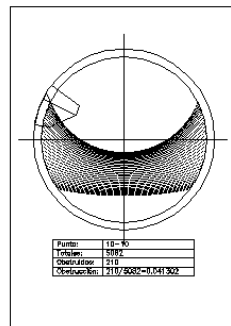
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (10,2)-(10,5)



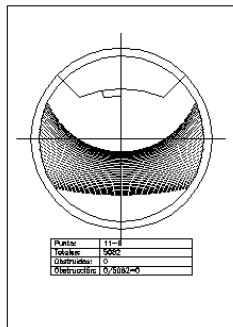
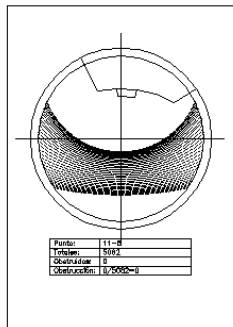
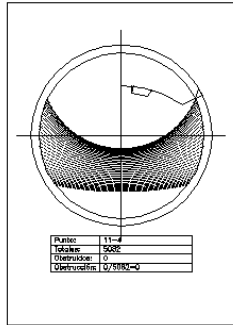
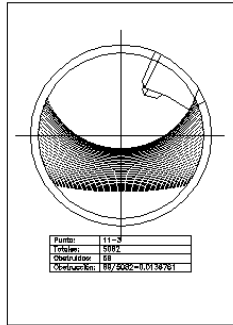
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (10,6)-(10,9)



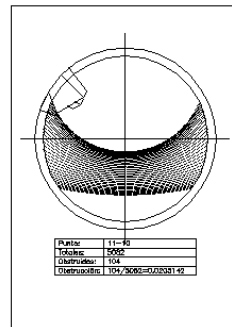
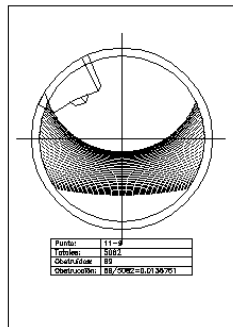
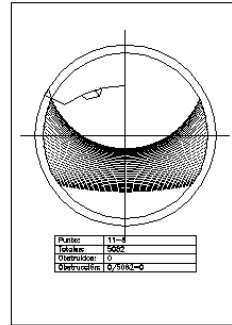
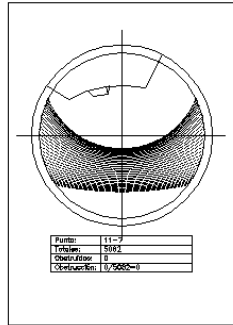
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (10,10)-(11,2)



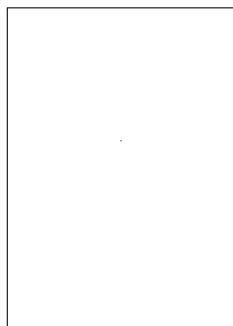
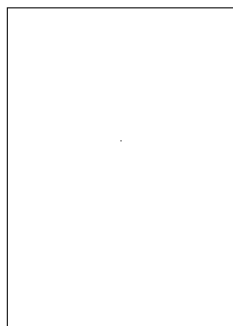
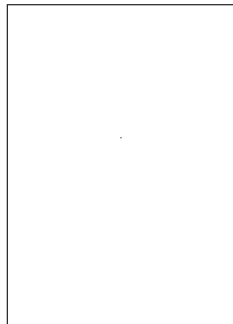
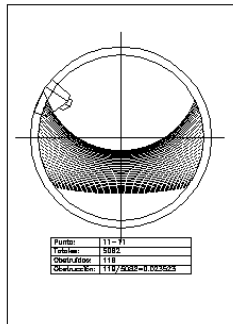
CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (11,3)-(11,6)



CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA LOS PUNTOS DE LA MATRIZ (11,7)-(11,10)



CALCULO DE TIEMPO DE OBSTRUCCION  
PARA EL PUNTO DE LA MATRIZ (11,11)



## 9. ANEJO II: Calculo del factor de obstrucción mediante un procedimiento Informático. Secuencia de imágenes obtenidas de sombras arrojadas

La aplicación del procedimiento informático adoptado para el cálculo del valor del factor de obstrucción precisa de la obtención de una secuencia de imágenes, cuyo proceso da por resultado una imagen final, donde el valor numérico del gris de cada pixel puede ser interpretado como valor del factor de obstrucción mediante la formula:

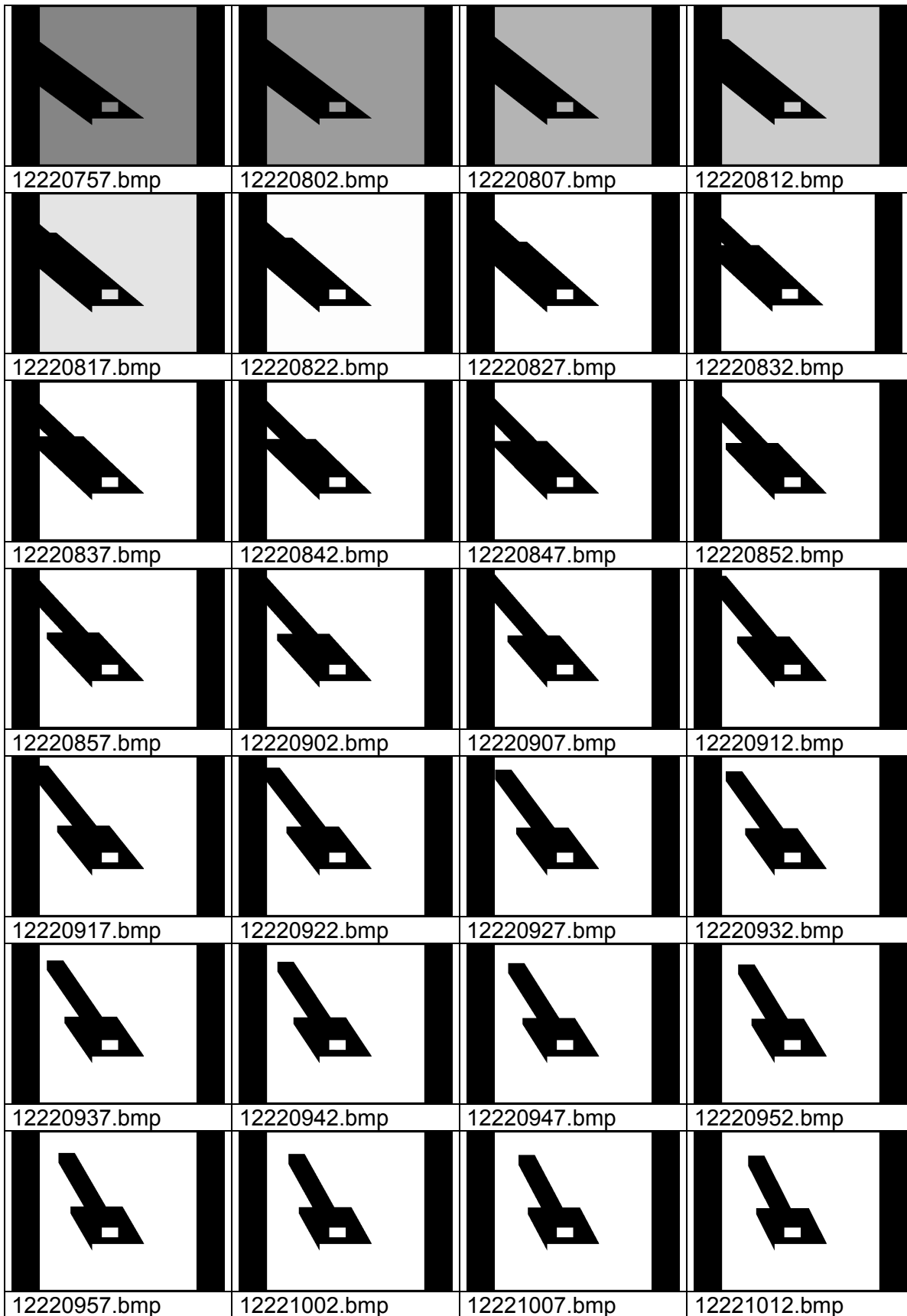
$$\text{Valor del factor de obstrucción: } F = 1 - \left( \frac{G}{256} \right)$$

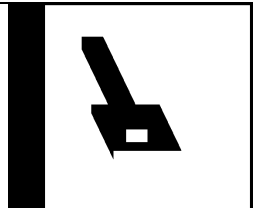
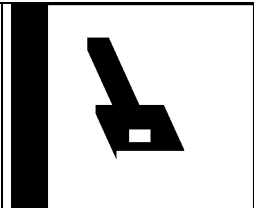
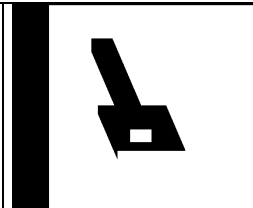
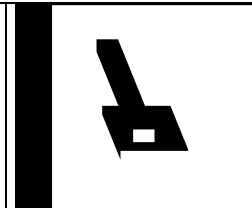
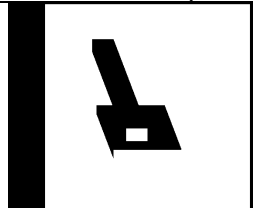
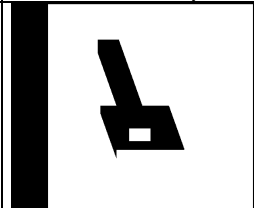
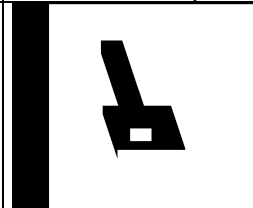
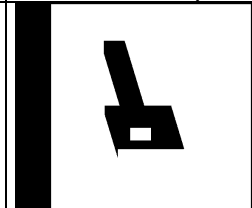
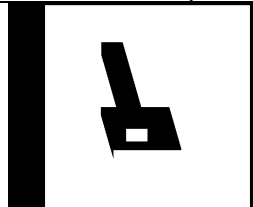
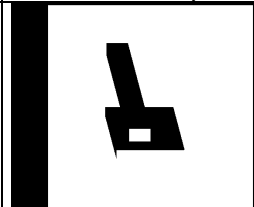
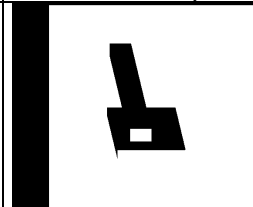
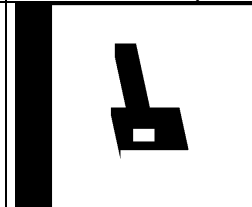
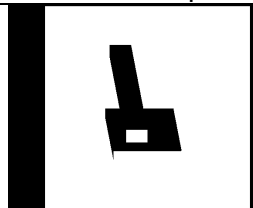
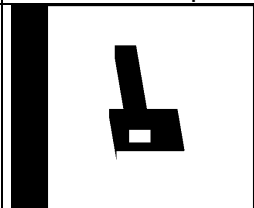
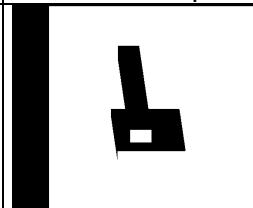
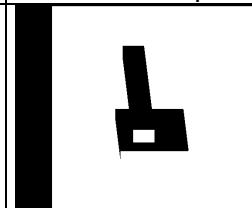
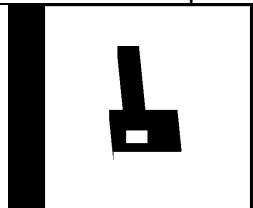
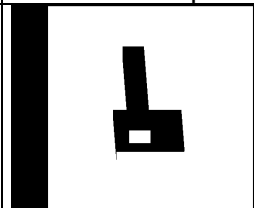
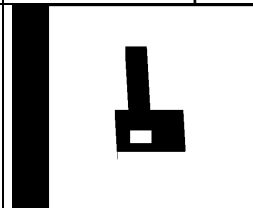
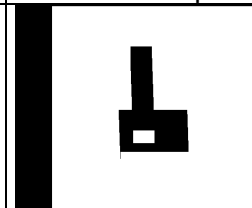
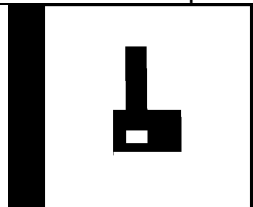
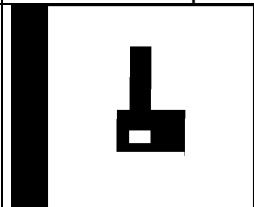
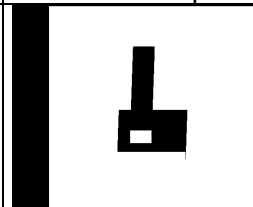
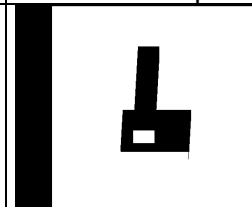
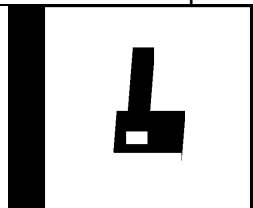
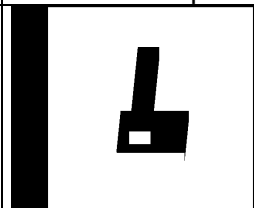
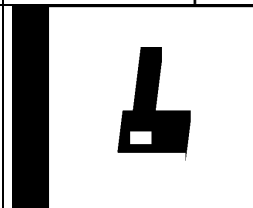
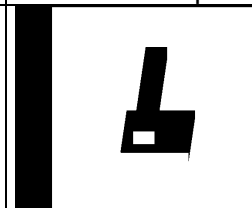
La secuencia completa se genera obteniendo un conjunto de imágenes que muestran las sombras arrojadas por el modelo geométrico propuesto durante un periodo que comienza el solsticio de invierno, el día 22 de diciembre y termina dos días después del solsticio de verano, el 25 de junio. Dentro de este intervalo se ha tomado un día de cada cinco, completando un total de 38 días, obteniendo para cada día una imagen cada cinco minutos. La secuencia completa cuenta con un total de 5082 imágenes, ordenadas e identificadas por un código de 8 cifras correspondientes al mes, día, hora y minuto en que se ha obtenido la imagen.





























La muestra completa de las 5082 imágenes resulta prolija por repetitiva, pero a modo de ejemplo se muestran a continuación las imágenes correspondientes a tres días de la secuencia; los correspondientes al Solsticio de invierno, Equinoccio de primavera, y Solsticio de verano. Dicha información está contenida también en el anejo III, en forma de archivo informático; pero en caso de no disponer de un ordenador que permita reproducir la secuencia, las imágenes del presente anejo permiten observar la evolución de las sombras arrojadas durante los tres días propuestos.

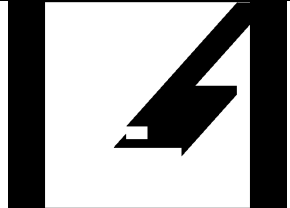
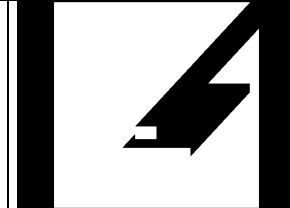
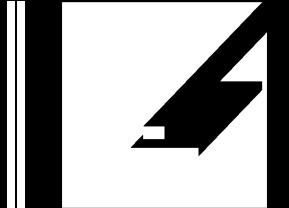
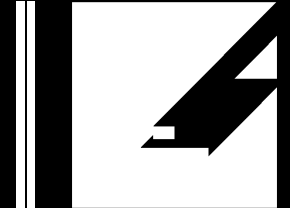
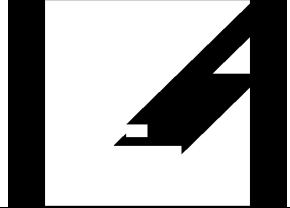
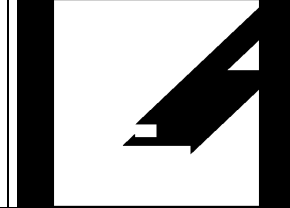
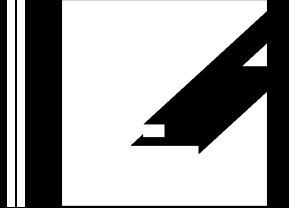
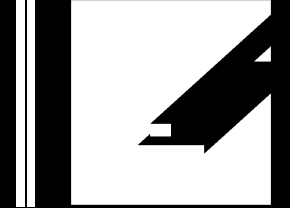
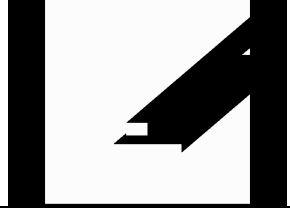
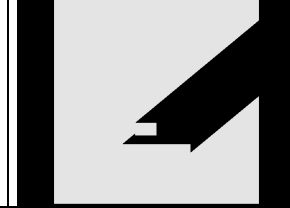
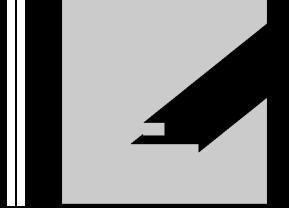
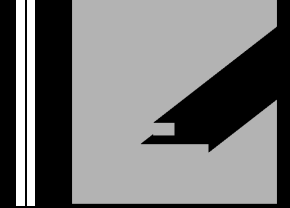
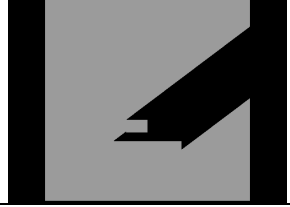
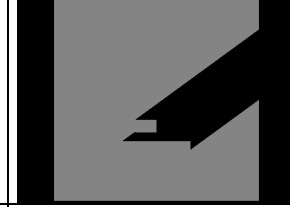
Para ilustrar la secuencia se ha elegido el modelo de prueba estudiado en el punto 5.1 del presente estudio, visto en planta.

Secuencia de 98 imágenes correspondientes al 22 de Diciembre.

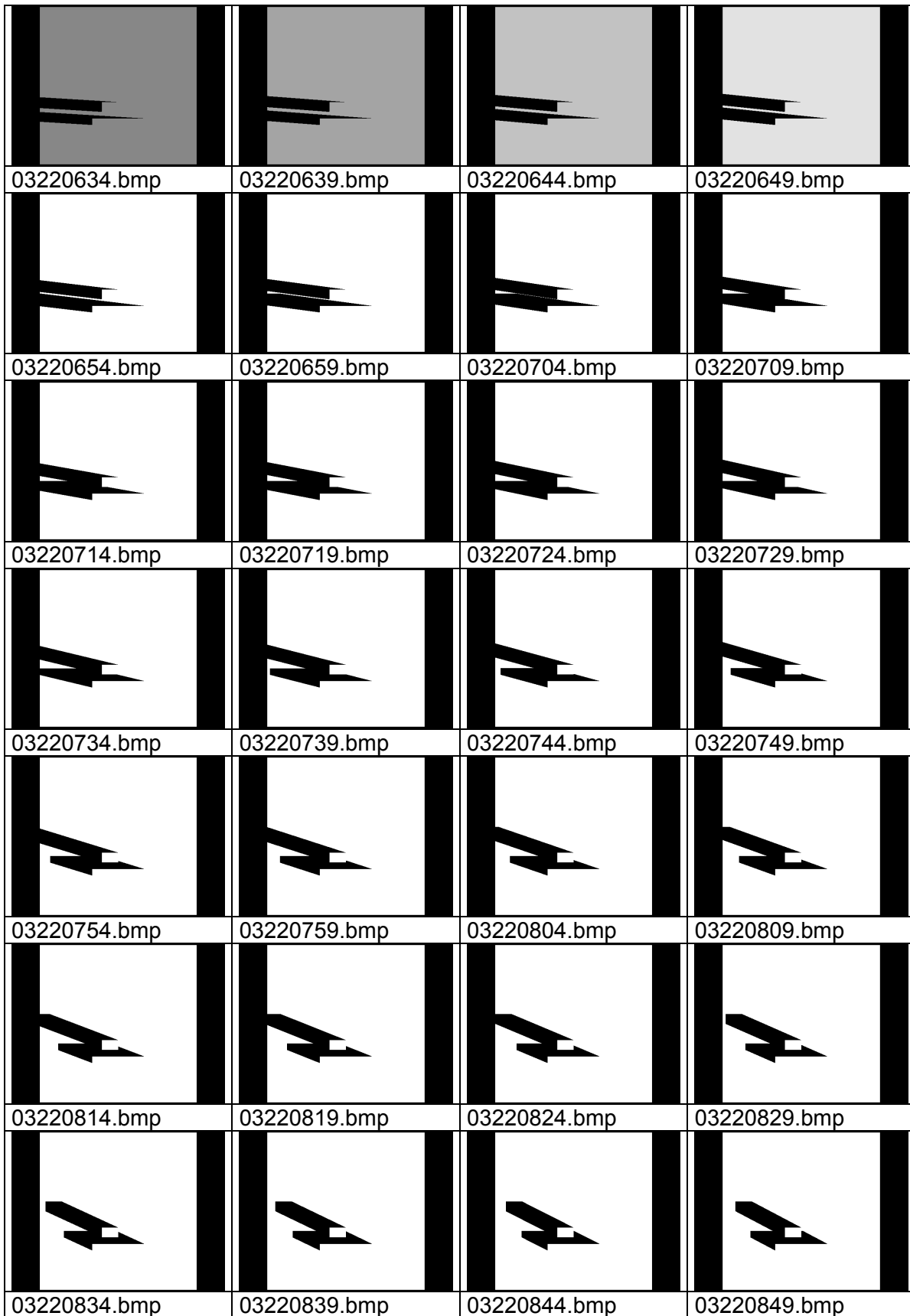


			
12221017.bmp	12221022.bmp	12221027.bmp	12221032.bmp
			
12221037.bmp	12221042.bmp	12221047.bmp	12221052.bmp
			
12221057.bmp	12221102.bmp	12221107.bmp	12221112.bmp
			
12221117.bmp	12221122.bmp	12221127.bmp	12221132.bmp
			
12221137.bmp	12221142.bmp	12221147.bmp	12221152.bmp
			
12221157.bmp	12221202.bmp	12221207.bmp	12221212.bmp
			
12221217.bmp	12221222.bmp	12221227.bmp	12221232.bmp

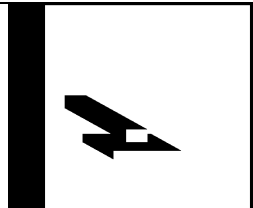
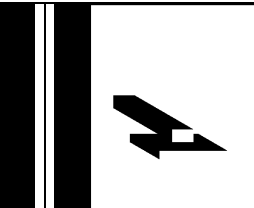
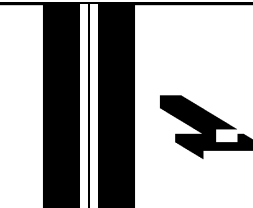
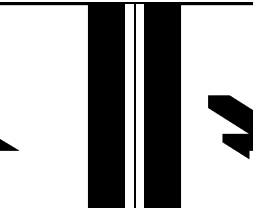
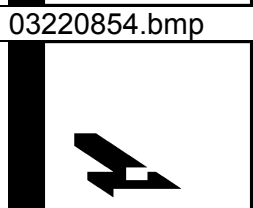
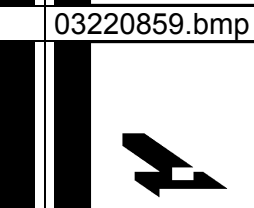
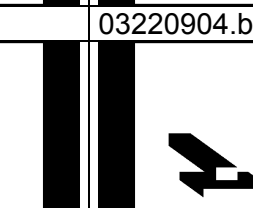
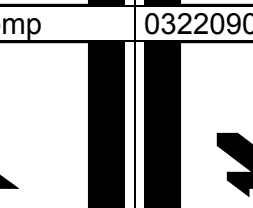
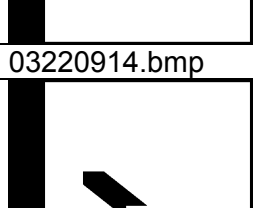
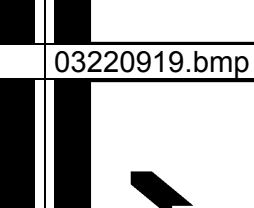
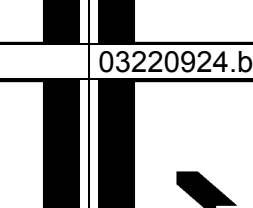
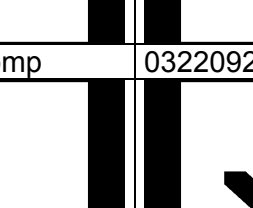


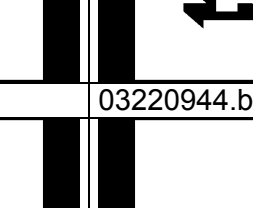
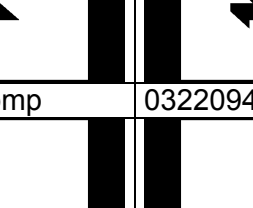
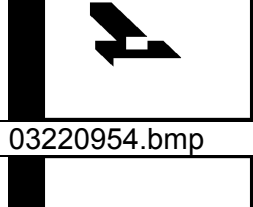
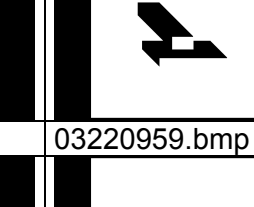
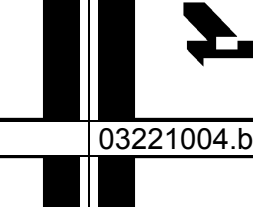
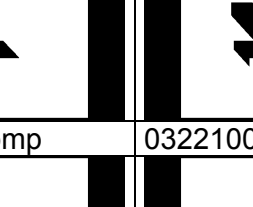
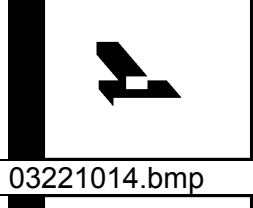
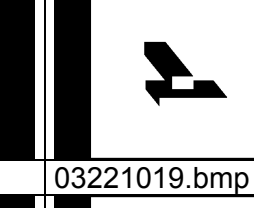
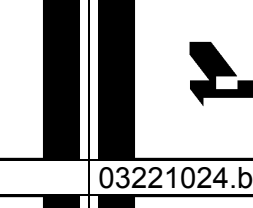
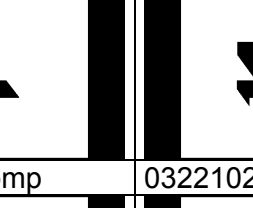
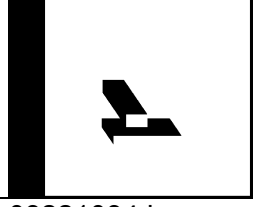
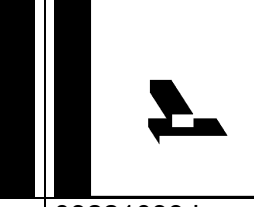
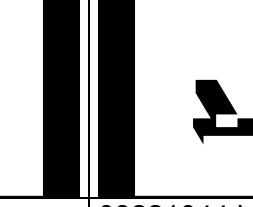
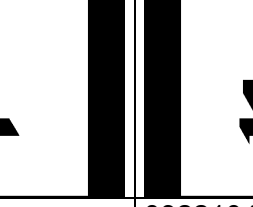
			
12221237.bmp	12221242.bmp	12221247.bmp	12221252.bmp
			
12221257.bmp	12221302.bmp	12221307.bmp	12221312.bmp
			
12221317.bmp	12221322.bmp	12221327.bmp	12221332.bmp
			
12221337.bmp	12221342.bmp	12221347.bmp	12221352.bmp
			
12221357.bmp	12221402.bmp	12221407.bmp	12221412.bmp
			
12221417.bmp	12221422.bmp	12221427.bmp	12221432.bmp
			
12221437.bmp	12221442.bmp	12221447.bmp	12221452.bmp

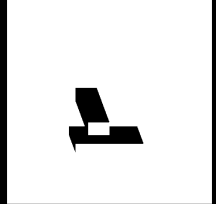
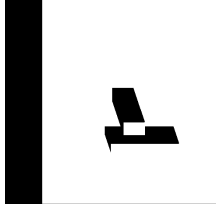
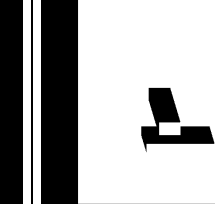
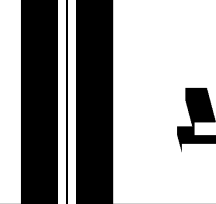
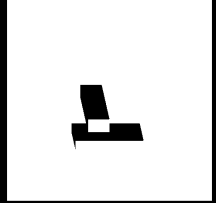
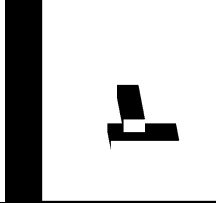
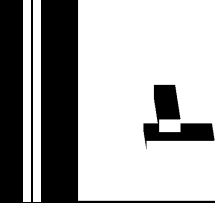
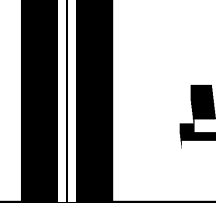
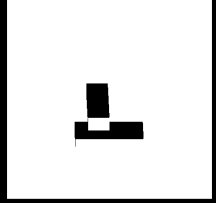
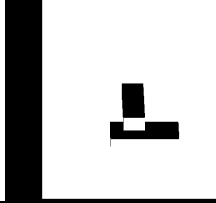
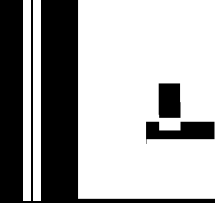
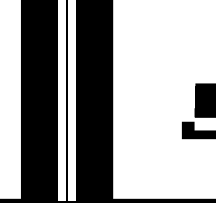
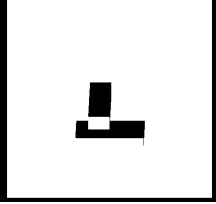
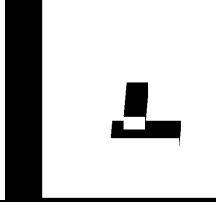
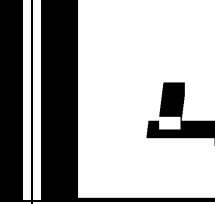

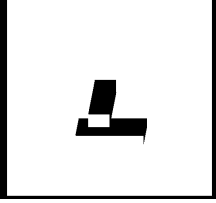
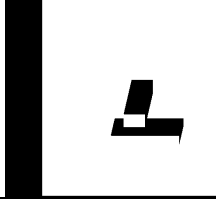
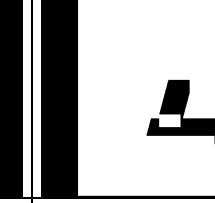

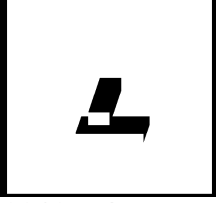
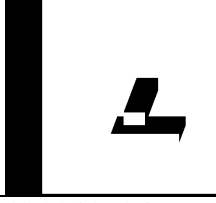
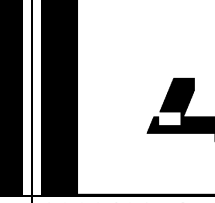

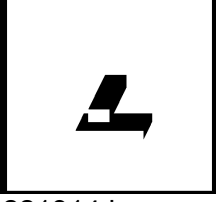
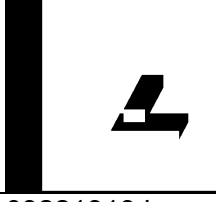
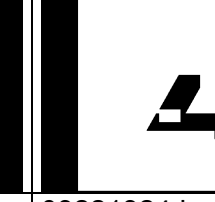

			
12221457.bmp	12221502.bmp	12221507.bmp	12221512.bmp
			
12221517.bmp	12221522.bmp	12221527.bmp	12221532.bmp
			
12221537.bmp	12221542.bmp	12221547.bmp	12221552.bmp
			
12221557.bmp	12221602.bmp		





























Secuencia de 134 imágenes correspondientes al 22 de Marzo.

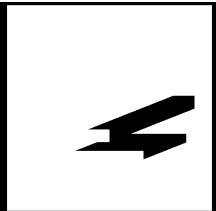
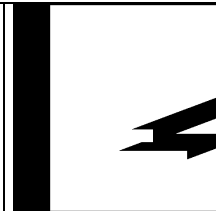
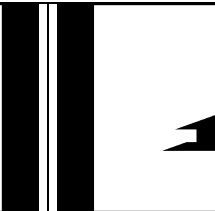
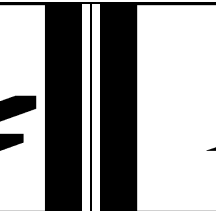
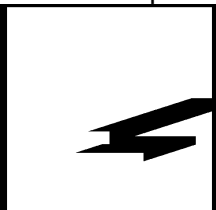
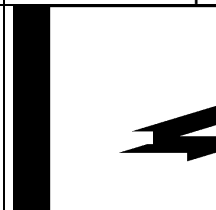
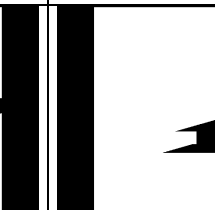

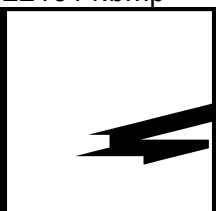
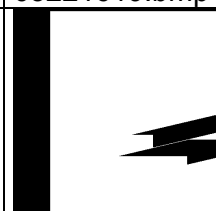
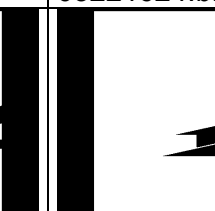
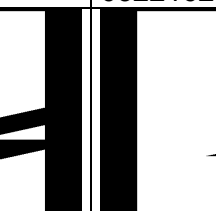
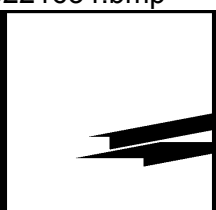
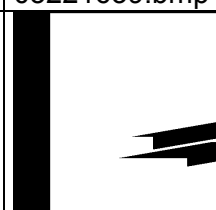
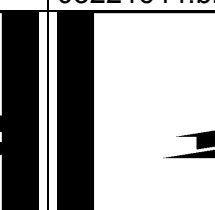

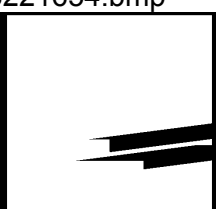
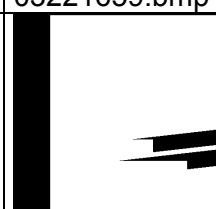
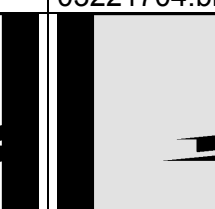

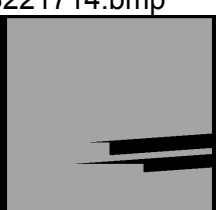





			
03220854.bmp	03220859.bmp	03220904.bmp	03220909.bmp
			
03220914.bmp	03220919.bmp	03220924.bmp	03220929.bmp
			
03220934.bmp	03220939.bmp	03220944.bmp	03220949.bmp
			
03220954.bmp	03220959.bmp	03221004.bmp	03221009.bmp
			
03221014.bmp	03221019.bmp	03221024.bmp	03221029.bmp
			
03221034.bmp	03221039.bmp	03221044.bmp	03221049.bmp
			
03221054.bmp	03221059.bmp	03221104.bmp	03221109.bmp


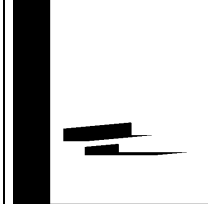
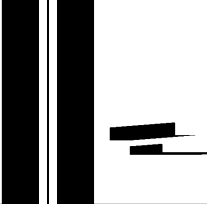
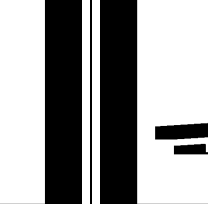
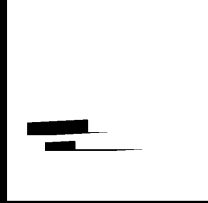

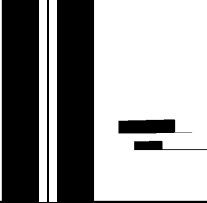
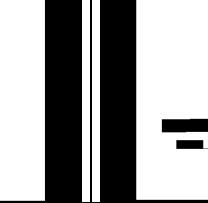
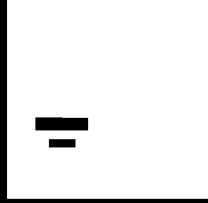


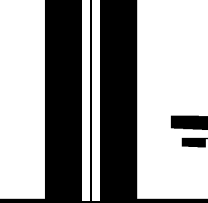
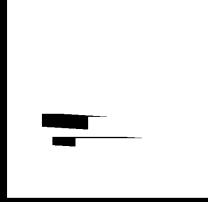


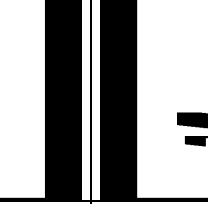
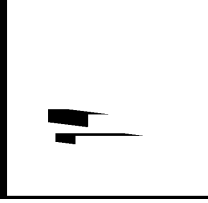

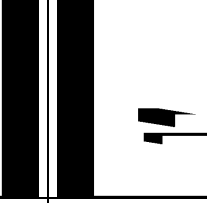
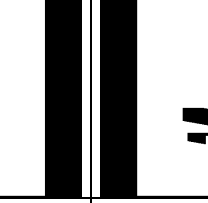
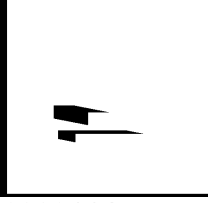
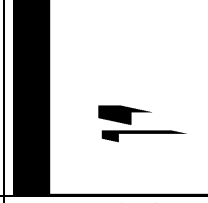
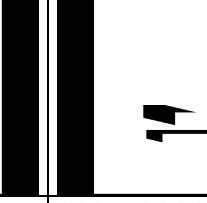
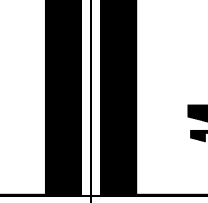
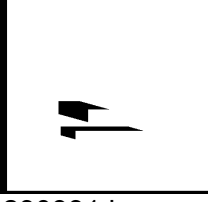
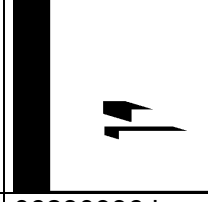
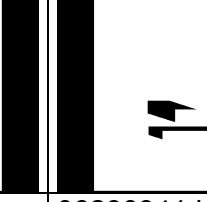
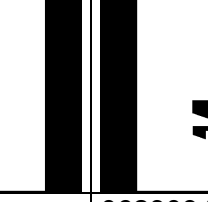
			
03221114.bmp	03221119.bmp	03221124.bmp	03221129.bmp
			
03221134.bmp	03221139.bmp	03221144.bmp	03221149.bmp
			
03221154.bmp	03221159.bmp	03221204.bmp	03221209.bmp
			
03221214.bmp	03221219.bmp	03221224.bmp	03221229.bmp
			
03221234.bmp	03221239.bmp	03221244.bmp	03221249.bmp
			
03221254.bmp	03221259.bmp	03221304.bmp	03221309.bmp
			
03221314.bmp	03221319.bmp	03221324.bmp	03221329.bmp

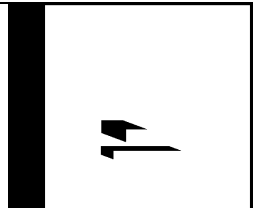
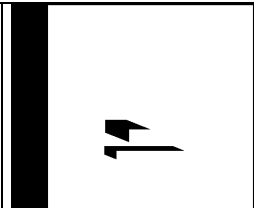
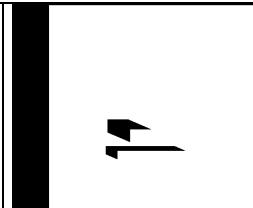
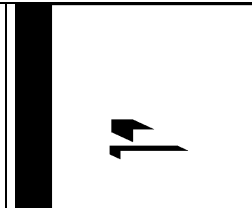
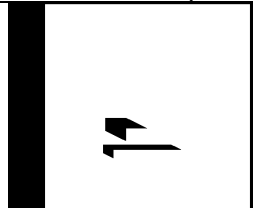
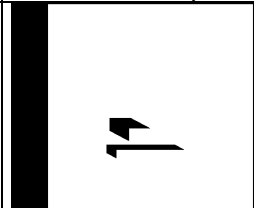
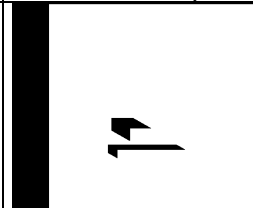
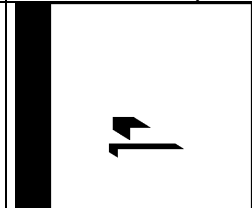
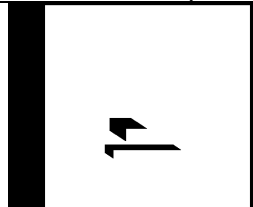
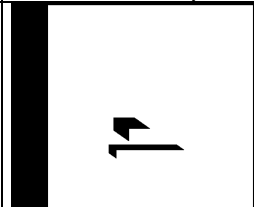
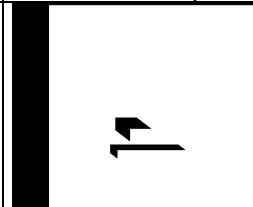
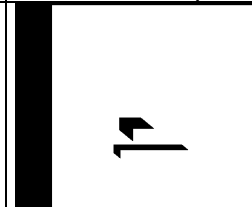
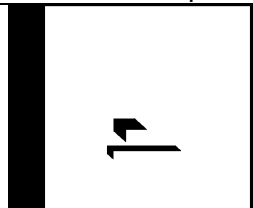
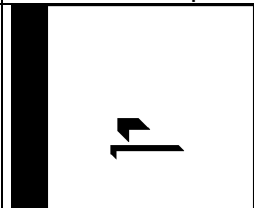
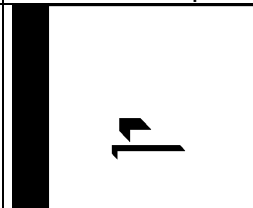
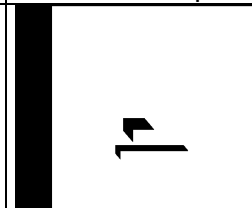
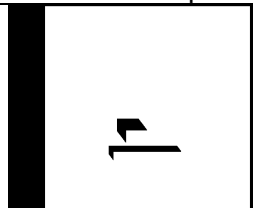
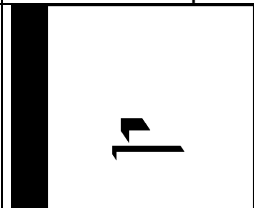
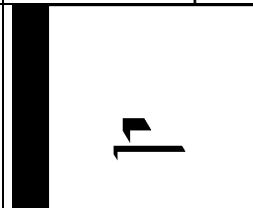
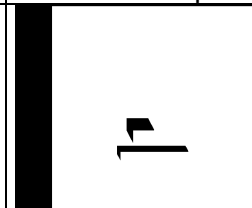
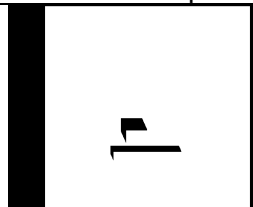
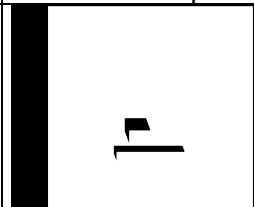
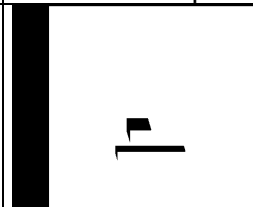
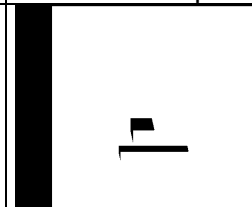
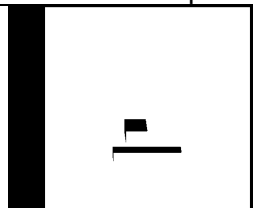
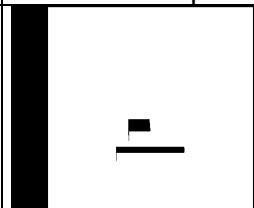
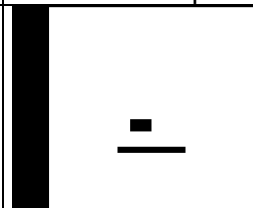
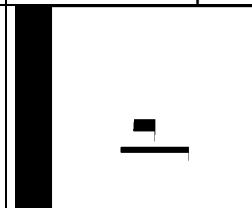
			
03221334.bmp	03221339.bmp	03221344.bmp	03221349.bmp
			
03221354.bmp	03221359.bmp	03221404.bmp	03221409.bmp
			
03221414.bmp	03221419.bmp	03221424.bmp	03221429.bmp
			
03221434.bmp	03221439.bmp	03221444.bmp	03221449.bmp
			
03221454.bmp	03221459.bmp	03221504.bmp	03221509.bmp
			
03221514.bmp	03221519.bmp	03221524.bmp	03221529.bmp
			
03221534.bmp	03221539.bmp	03221544.bmp	03221549.bmp





























			
03221554.bmp	03221559.bmp	03221604.bmp	03221609.bmp
			
03221614.bmp	03221619.bmp	03221624.bmp	03221629.bmp
			
03221634.bmp	03221639.bmp	03221644.bmp	03221649.bmp
			
03221654.bmp	03221659.bmp	03221704.bmp	03221709.bmp
			
03221714.bmp	03221719.bmp	03221724.bmp	03221729.bmp
			
03221734.bmp	03221739.bmp		

Secuencia de 165 imágenes correspondientes al 23 de Junio.

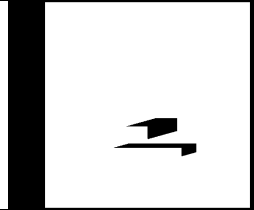
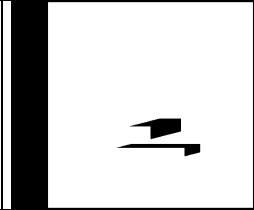
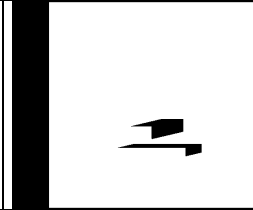
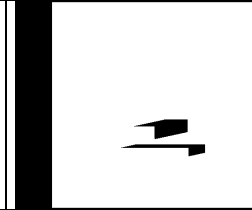
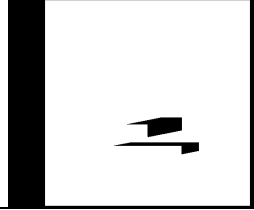
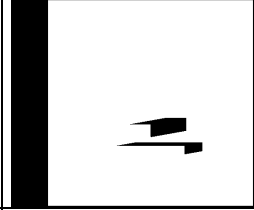
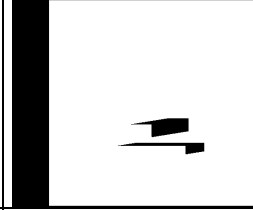
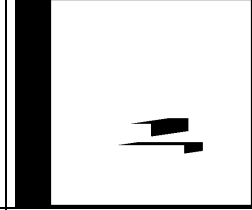
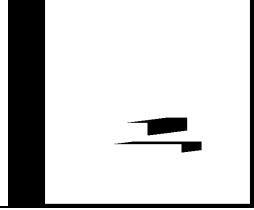
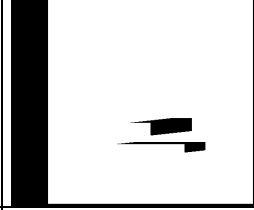
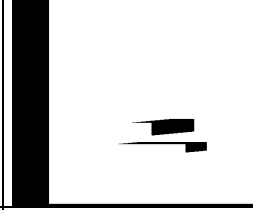
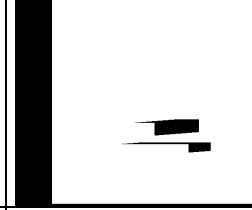



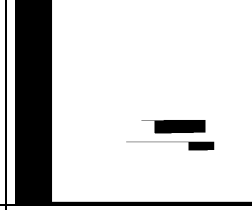
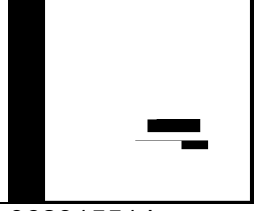

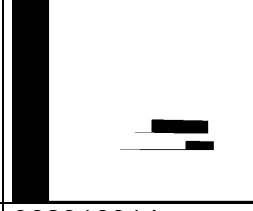
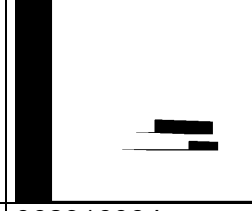
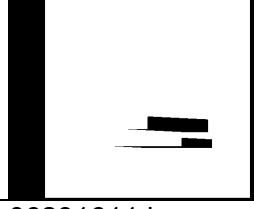



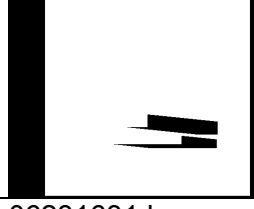


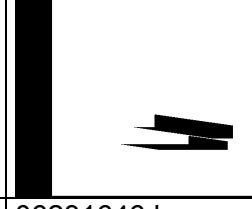
06230511.bmp	06230516.bmp	06230521.bmp	06230526.bmp
06230531.bmp	06230536.bmp	06230541.bmp	06230546.bmp
06230551.bmp	06230556.bmp	06230601.bmp	06230606.bmp
06230611.bmp	06230616.bmp	06230621.bmp	06230626.bmp
06230631.bmp	06230636.bmp	06230641.bmp	06230646.bmp
06230651.bmp	06230656.bmp	06230701.bmp	06230706.bmp
06230711.bmp	06230716.bmp	06230721.bmp	06230726.bmp

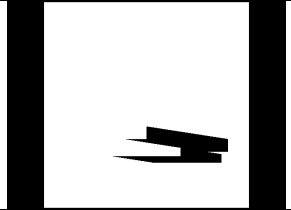
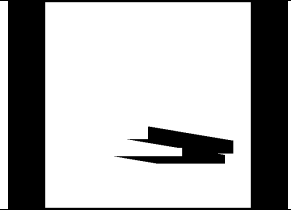
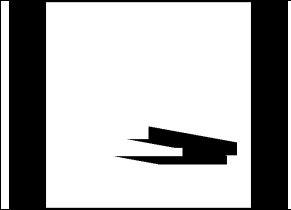
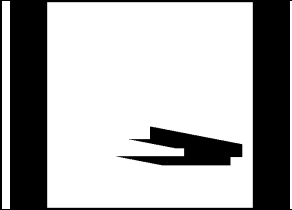
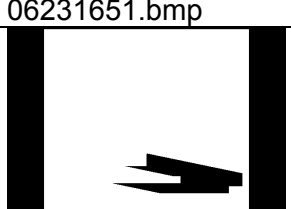
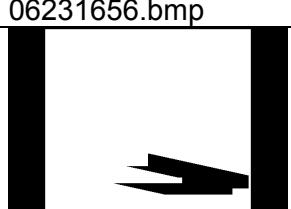
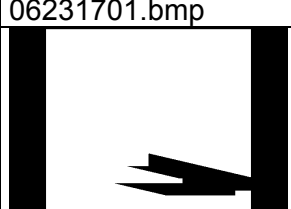
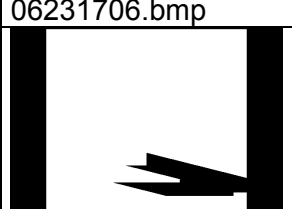
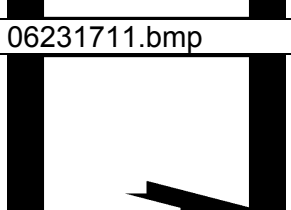
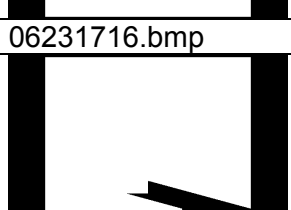
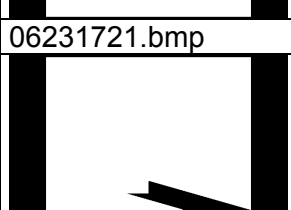
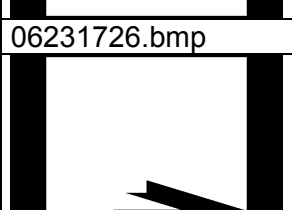
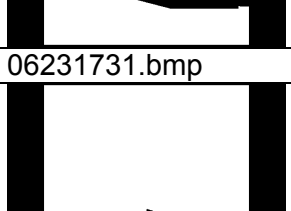
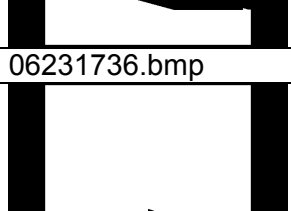
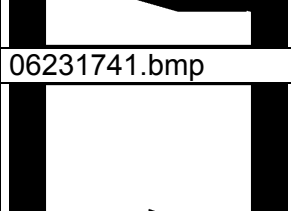
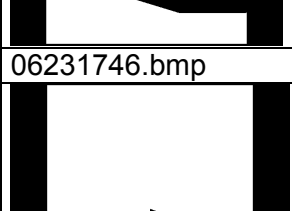
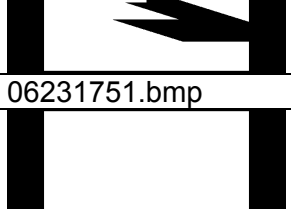
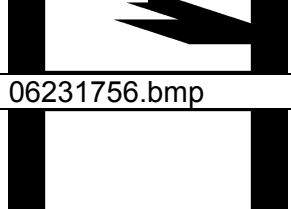
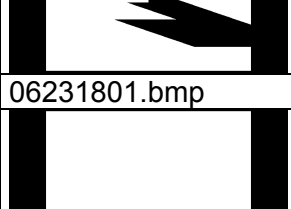

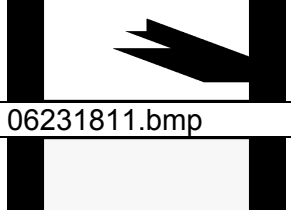
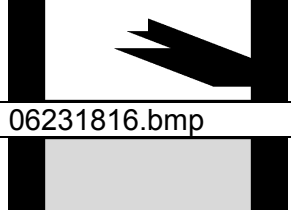
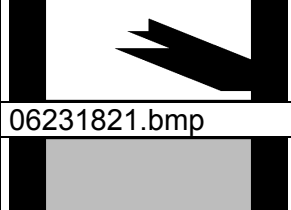
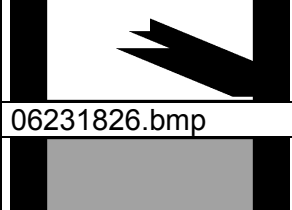
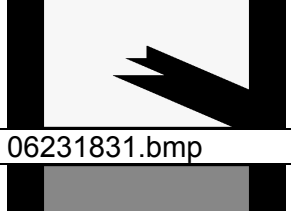
			
06230731.bmp	06230736.bmp	06230741.bmp	06230746.bmp
			
06230751.bmp	06230756.bmp	06230801.bmp	06230806.bmp
			
06230811.bmp	06230816.bmp	06230821.bmp	06230826.bmp
			
06230831.bmp	06230836.bmp	06230841.bmp	06230846.bmp
			
06230851.bmp	06230856.bmp	06230901.bmp	06230906.bmp
			
06230911.bmp	06230916.bmp	06230921.bmp	06230926.bmp
			
06230931.bmp	06230936.bmp	06230941.bmp	06230946.bmp

			
06230951.bmp	06230956.bmp	06231001.bmp	06231006.bmp
			
06231011.bmp	06231016.bmp	06231021.bmp	06231026.bmp
			
06231031.bmp	06231036.bmp	06231041.bmp	06231046.bmp
			
06231051.bmp	06231056.bmp	06231101.bmp	06231106.bmp
			
06231111.bmp	06231116.bmp	06231121.bmp	06231126.bmp
			
06231131.bmp	06231136.bmp	06231141.bmp	06231146.bmp
			
06231151.bmp	06231156.bmp	06231201.bmp	06231206.bmp

			
06231211.bmp	06231216.bmp	06231221.bmp	06231226.bmp
			
06231231.bmp	06231236.bmp	06231241.bmp	06231246.bmp
			
06231251.bmp	06231256.bmp	06231301.bmp	06231306.bmp
			
06231311.bmp	06231316.bmp	06231321.bmp	06231326.bmp
			
06231331.bmp	06231336.bmp	06231341.bmp	06231346.bmp
			
06231351.bmp	06231356.bmp	06231401.bmp	06231406.bmp
			
06231411.bmp	06231416.bmp	06231421.bmp	06231426.bmp



			
06231431.bmp	06231436.bmp	06231441.bmp	06231446.bmp
			
06231451.bmp	06231456.bmp	06231501.bmp	06231506.bmp
			
06231511.bmp	06231516.bmp	06231521.bmp	06231526.bmp
			
06231531.bmp	06231536.bmp	06231541.bmp	06231546.bmp
			
06231551.bmp	06231556.bmp	06231601.bmp	06231606.bmp
			
06231611.bmp	06231616.bmp	06231621.bmp	06231626.bmp
			
06231631.bmp	06231636.bmp	06231641.bmp	06231646.bmp

			
06231651.bmp	06231656.bmp	06231701.bmp	06231706.bmp
			
06231711.bmp	06231716.bmp	06231721.bmp	06231726.bmp
			
06231731.bmp	06231736.bmp	06231741.bmp	06231746.bmp
			
06231751.bmp	06231756.bmp	06231801.bmp	06231806.bmp
			
06231811.bmp	06231816.bmp	06231821.bmp	06231826.bmp
			
06231831.bmp	06231836.bmp	06231841.bmp	06231846.bmp
			
06231851.bmp			

## **10. ANEJO III: Animaciones de algunas de las secuencias de imágenes empleadas para el Cálculo del factor de obstrucción por un procedimiento informático**

Las secuencias de imágenes empleadas para el cálculo extensivo del valor del factor de obstrucción sobre los modelos estudiados en el epígrafe 5 pueden ser visualizadas como animación, mostrando las imágenes que componen la secuencia de un modo consecutivo.

De cada modelo estudiado se ha elegido una sola secuencia, lo mas general y representativa posible del modelo estudiado, que por lo que en general muestra imágenes en planta del modelo. De los días que componen la secuencia completa se muestran exclusivamente las imágenes correspondientes al solsticio de invierno, al equinoccio de primavera y al solsticio de verano, cerrando la animación el mapa de sombras correspondiente al periodo anual.

En cada animación, las imágenes están identificadas mediante un código de ocho cifras que informa del mes, día, hora y minuto a los que corresponde cada imagen, que aparece en el margen inferior derecho de la misma. En la contratapa del presente volumen puede encontrarse un soporte CD que contiene las animaciones en formato .MPG, reproducible con cualquier ordenador que cuente con un sistema operativo del tipo WINDOWS '98 o superior.

Indice de animaciones:

- 01.- Sólido de prueba
- 02.- Soleamiento de una Habitación
- 03.- Dimensionado de protecciones solares
- 04.- Claraboya en la UPV
- 05.- Claraboya de sector esférico
- 06.- Cubierta Textil en el RCNV, posición 1
- 07.- Cubierta Textil en el RCNV, posición 2
- 08.- Ensanche de Barcelona, propuesta 1
- 09.- Ensanche de Barcelona, propuesta 2
- 10.- Ensanche de Barcelona, propuesta 3
- 11.- Entorno de la Plaza de Toros de Valencia
- 12.- P.A.I. de Ademuz.
- 13.- Entorno del Colegio del Pilar de Valencia
- 14.- Hoja Topográfica nº 76811
- 15.- Hoja Topográfica nº 76823
- 16.- Hoja Topográfica nº 76844

En el soporte CD puede encontrarse también un archivo de texto (REPRODUCTOR WINDOWS MEDIA.TXT) donde se encuentran indicaciones sobre el programa con el que pueden visionarse las animaciones.



## VI. Fuentes y Bibliografía

Se reseñan a continuación las fuentes generales vinculadas al presente estudio. En la bibliografía reseñada a continuación pueden encontrarse gran cantidad de referencias a textos que tratan sobre energías renovables en general y energía solar en particular. La inclusión de dichos textos en la bibliografía se debe a que, aun no tratando temáticas estrictamente vinculadas con el soleamiento, suelen incluirse en dichos textos referencias o procedimientos de cálculo o evaluación del soleamiento, además de ejemplos de aplicación, y otras propuestas de carácter práctico.

Por último se reseñan las direcciones de internet consultadas expresamente para el desarrollo del presente estudio y otras en las que se puede encontrar gran cantidad de información relacionada con la temática del soleamiento y la energía solar.

### 11. Bibliografía

- A.A.V.V. (1978): *Proceedings of the 2nd National Passive Solar Conference: Passive solar: State of the art*. University of Pennsylvania. Philadelphia. EEUU
- A.A.V.V. (1986): *Ordenanza General de Protección del Medio Ambiente Urbano*. Ayuntamiento de Madrid, Area de Urbanismo e Infraestructuras. Madrid.
- A.A.V.V. (1988): *Ecoplán para la Isla de La Gomera*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Monografías de la Dirección General del Medio Ambiente.
- A.A.V.V. (1990): *Libro Verde sobre el Medio Ambiente Urbano*. Comisión Unión Europea.
- A.A.V.V. (1991): *ORDEN de 22 de Abril de 1991, del Conseller de Obras Públicas, Urbanismo y Transportes, por la que se aprueba la modificación y el texto refundido que desarrolla las normas de habitabilidad y diseño de viviendas en el ámbito de la Comunidad Valenciana*. (D.O.G.V. de 22 de mayo de 1991).
- A.A.V.V. (1992): *Atlas de la Comunidad de Madrid*. Consejería de Política Territorial. Comunidad Autónoma de Madrid.
- A.A.V.V. (1992): *Programa 21 Cumbre de la Tierra Rio de Janeiro*, UNCED. Capítulo cuarto.
- A.A.V.V. (1993): *Medio Ambiente en España*. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente.
- A.A.V.V. (1993): *Hacia un Desarrollo Sostenible*. Resumen del V Programa comunitario para el Medio Ambiente de la Unión Europea.

- A.A.V.V. (1994): *Carta de las Ciudades Europeas hacia la Sostenibilidad*. Carta de Aalborg. Unión Europea.
- A.A.V.V. (Noviembre 1996): *Energy for the future: Renewable sources of energy*. Green paper. Bruselas.
- A.A.V.V. (1998): *Reglamento de Planeamiento de la Comunidad Valenciana*. Consellería de Medio Ambiente, Urbanismo y Transportes. Valencia.
- A.A.V.V. (2002): *LEY 9/2002, de 30 de diciembre, de Ordenación Urbanística y Protección del Medio Rural de Galicia*. Boletín Oficial del Estado. Madrid.
- A.A.V.V. (2003): *Ordenanza Municipal de Parques y Jardines*. Ayuntamiento de Valencia, Área de Urbanismo e Infraestructuras. Valencia.
- ACHARD P., GICQUEL R. (1986): *European Passive Solar Handbook*. Commission of the European Communities. Bruselas.
- ADRIANO CORNOLDI, SERGIO LOS, (1982): *Habitat y Energía*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.
- ACKERMAN, J (1966). *Palladio. The Architect and Society*. Ed. Penguin books. Londres. Reedición 1997
- ALAMAN, AURELIO. (1985): *Condiciones Higrotérmicas de Confort en los Edificios*. Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y el Cemento. Madrid.
- ALONSO DE SANTOS, F. ANTOLÍN MAZARIEGOS, M.A. (1980): *Manual de Soleamiento*. CITAV Madrid.
- ANDERSON, BRUCE. (1973): *Solar Energy and Shelter Design*. Master's Thesis Massachusetts. College of Architecture. Institute of Technology.
- ARUMI-NOÉ F. (1996): *Algorithm for the geometric construction of an optimum shading device*. Automation in Construction. 5, 211-217.
- ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS. (1985): *American Society of Heating and Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*. Nueva York.
- ATWATER, M. A., BALL, J. T. (1978): *A numerical solar radiation model based on standard meteorological observations*. Solar Energy, Vol. 21, pag. 163-170. Pergamon Press. Gran Bretaña
- ATWATER, M. A., BALL, J. T. (1981): *Effects of clouds on insolation models*. Solar Energy, Vol. 27, pag. 37-44. Pergamon Press. Gran Bretaña.

- BAKER, N., FANCHIOTTI, A., STEEMERS, K. (1993): *Daylighting in Architecture: A European Reference Book*. James & James, Gran Bretaña.
- Baker, N., Steemers, K. (1994): *The LT Method 3.0 – An Energy Design Tool for Buildings in Southern Europe*. University of Cambridge, Gran Bretaña.
- BAKER, N. (1995): *Light and Shade: Optimising Daylight Design*. European directory of sustainable and energy efficient building, James & James. Gran Bretaña.
- BALCOMB J.D. (1980): *Passive Solar Design Handbook. Volúmenes 1 y 2*. National Technical Information Service. Gran Bretaña.
- BARBARO, S. ET AL. (1979): *An atmospheric model for computing direct and diffuse solar radiation*. Solar Energy, Vol. 22, pag. 225-228. Pergamon Press. Gran Bretaña
- BARDOV, P. ARZOUMANIAN. V, (1981): *Sol y Arquitectura*. Editorial Gustavo Gili, Barcelona.
- BARRY R.G. CHORLEY R.J. (1985): *Atmósfera, Tiempo y Clima*. Editorial Omega, Barcelona.
- BEDOYA FRUTOS C., NEILA J. (1982): *Las Energías Alternativas en la Arquitectura*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- BEDOYA FRUTOS C., NEILA J. (1986): *Acondicionamiento y Energía Solar en Arquitectura*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- BENNETT, L. (1969): *Correlation of daily insolation with total sky cover, opaque sky cover and porcentaje of possible sunshine*. Solar Energy, Vol. 12, pag. 191-193. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- BLANCHET, Y. GIRARD, M. (1993): *Thermal and Visual Effectiveness of Shading Devices*. Solar Energy in Architecture and Urban Planning: 3rd European Conference on Architecture, Florencia.
- BRINKWORTH, B. J. (1977): *Autocorrelation and stochastic modeling of insolation sequences*. Solar Energy, Vol. 19, pag. 343-347. Pergamon Press. Gran Bretaña
- BRINKWORTH B. J. (1981): *Energía Solar para el Hombre*. Editorial Herman Blume. Madrid.
- BOUCLAGHEM N. M. (1996): *A computer model for the design of window shading devices*. Building Research and Information. 24(2), 104-107.
- CHAULIAGUET, C. ET AL. (1988): *La Energía Solar en la Edificación*. Editores Técnicos Asociados. Barcelona.

- COCH, H., SERRA, R., ISALGUE, A (1998): *The Mediterranean Blind: less light, better vision*. Renewable Energy 15, pag 431–436,
- COLLARES, P., RABL, A. (1979): *The average distribution of solar radiation correlations between diffuse and hemispherical and between daily and hourly insolation*. Solar Energy, Vol. 22, pag. 155-164. Pergamon Press. Gran Bretaña
- COLOMBO ET AL (1994): *Passive Solar Architecture for the Mediterranean Area*. Joint Research Centre. Gran Bretaña
- COOPERL, D. SZOKOLAY, P. ET AL. (1978): *Units and symbols in solar energy*. Solar Energy, Vol. 21, pag. 65-68. Pergamon Press. Gran Bretaña
- CORACHAN, JUAN BAUTISTA. (1700): *De Solaribus Horologiis Complectens*. Valencia.
- CORONEL, JF ET AL (1993): *Solar and Thermal Performance of Louvre type Shading Devices*. Solar Energy in Architecture and Urban Planning: 3rd European Conference on Architecture, Florence.
- CORREA, C. (1985): *The New Landscape*. Book Society of India, Bombay.
- CRAMER, R. D., NEUBAUER, L. W. (1965): *Diurnal radiant exchange wiht the sky dome*. Solar Energy, Vol. 9, N°2, pag. 95-103. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- DANZ, E (1967): *Sun Protection: An International Survey*. FA Praeger, New York.
- DE ARFE Y VILLAFANÉ, JUAN. *De varia commesuración para la esculptura y la Architectura”* 1585 Sevilla.
- DOMENECH ROMA, JORGE (1990): *Trazado y construcción de Relojes de Sol*. Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Alicante.
- DOURGNON J. (1965): *La géométrie de l'ensoleillement*. In Proceedings of the CIE Intersessional Conference: Sunlight in Buildings, 5-9 April, , Hopkinson R. G. (Ed), pag. 217-230. Newcastle-upon-Tyne.
- DUBOIS M.-C. (1999): *The design of seasonal awnings for low cooling and heating loads in offices*. In Proceedings of the 5th Symposium on Building Physics in the Nordic Countries, 24-26 August, Göteborg (Sweden), Chalmers University of Technology, , Vol. 2, 505-512. Göteborg.
- DUBOIS M.-C. (2000): *A Simple Chart to Design Shading Devices Considering the Window Solar Angle Dependent Properties*. In Proceedings of the Eurosun 2000 Conference, 19-22 June, Copenhagen.



- EIGEN, J. (1982): *Environmental considerations for urban and regional planning. The environment, public health and human ecology: considerations for economic development*. The World Bank, Washington D.C. Estados Unidos.
- EGLOFF, J. (2000): *Les Ensoleilleés*. Éditions du Rocher. Paris
- EMBACHER, FRANZ. (1988): *Relojes de Sol. Teoría y construcción*. Progensa. Barcelona
- ETZION Y. (1985): *Design of shading devices using a one-point method*. A technical communication. Energy and Buildings. 8, 287-290.
- ETZION Y. (1992): *An improved solar shading design tool*. Building and Environment. 27(3), 297-303.
- FARIÑA TOJO, J. (1990): *Clima, Territorio y Urbanismo*. Departamento de Publicaciones de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.
- FATHY, H (1986): *Natural Energy and Vernacular Architecture*. University of Chicago.
- FISHER. H, T, (1931), *Método rápido para la determinación del soleamiento en los edificios*. The Architectural Record. Londres.
- FONTOYNONT, M (1999): *Daylight Performance of Buildings*. James & James for European Commission, Bruselas.
- FRANCO TABOADA, J.A. (1980): *Planeamiento urbanístico y soleamiento en España*. Tesis Doctoral ETS Arquitectura de Madrid.
- FRAMPTON, K. (1987). *Historia crítica de la Arquitectura Moderna*. Ed. G. Gili. Barcelona.
- FUSTER, F. (1976): *Soleamiento*. Apuntes de la E.T.S. Arquitectura de Madrid
- GARCÍA-BADELL, J. J. (1983): *Cálculo de la energía solar*. Ministerio de Agricultura. Madrid
- GARNIER, B. J. I OHMURA, A. (1970): *The evaluation of surface variations in solar radiation income*. Solar Energy, Vol. 13, pag. 21-34. Gran Bretaña.
- GIVONI, B. (1978): *L'homme, L'architecture et Le Climat*. Editions du Moniteur. Paris.
- GIVONI, B. (1994): *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold, New York.
- GIVONI, B. (1994): *Passive and Low Energy Cooling of Buildings*. Van Nostrand Reinhold, New York.

- GÓMEZ MENDOZA, J. (1996): *Análisis del Medioambiente de la Comunidad de Madrid*. Estudio Sectorial para el Plan Regional. Cátedra de Geografía e Historia. Universidad Autónoma de Madrid.
- GRASSO M. M., HUNN B. D. AND BRIONES R. (1990): *Effect of Textile Characteristics on the Thermal Transmittance of Interior Shading Fabrics*. ASHRAE Transactions. 96(1), 875-883.
- HALCROW GILBERT ASSOCIATES (1992): *Fenestration 2000. Phase II: Review of Advanced Glazing Technology and study of benefits for the K*. ETSU Report S1342,
- HERNÁNDEZ AJA, A. (1997): *La Ciudad de los Ciudadanos*. Ministerio de Obras Públicas Transportes y Medioambiente. Madrid.
- HERRERO, M.A. (1985): *Soleamiento y Energía Solar. Aplicaciones a la Edificación*. Servicio de publicaciones de la UPV. Valencia.
- HORRIDGE P., WOODSON E., KHAN S. TOCK R. W. (1983): *Thermal Optical Comparisons of Accepted Interior Window Treatments*. ASHRAE Journal. 25(2), 45-49.
- HUFTY, A. (1984): *Introducción a la Climatología*. Editorial Ariel, Barcelona.
- IZARD, J.L. & GUYOT, A. (1983): *Arquitectura Bioclimática*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.
- IZQUIERDO ASENSI, F. (2000): *Geometría Descriptiva (24ª Edición)*. Editorial Paraninfo. Madrid.
- JANSÁ GUARDIOLA, J.M. (1985): *Manual del Observador de Meteorología*. Instituto Nacional de Meteorología de Madrid.
- JESCH, L.F (1981): *Solar Energy Today*. Section of ISES. London.
- JIMENEZ, J. L. ET AL. (1977): *Solar and diffuse radiation at Barcelona*. Solar Energy, Vol. 19, pp. 775-776. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- KABRE C. WINSHADE (1999): *A computer design tool for solar control*. Building and Environment. 34, 263-274. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- KÄLLBLAD, A. (1999): *A Method to Estimate the Shading of Solar Radiation: Theory and Implementation in a Computer Program*. In Proceedings of the 6th International IBPSA Conference: Building Simulation '99, 13-15 September, Kyoto, International Building Performance Simulation Association, 595-601.

- KENSEK K., NOBLE D., SCHILER M. AND SETIADARMA E. (1996): *Shading mask: A teaching tool for sun shading devices*. Automation in Construction. 5, 219-231.
- KISCHKOWEIT-LOPIN, M (1998): *Application of Newly Developed Daylight Systems*. Institute for Light and Building Technology ILB, Cologne.
- KONYA, A. (1980): *Diseño en Climas Cálidos*. Editorial Herman Blume. Madrid.
- LANGREO, M. (1970): *Astronomía esférica*. Madrid.
- LEBENS R.M. (1983): *Passive Solar Architecture in Europe*. The Architectural Press. Londres.
- LITTLEFAIR, P. (1996): *Designing with Innovative Daylighting*. Building Research Establishment, London.
- LITTLEFAIR P. (1999): *Solar shading of buildings*. Building Research Establishment (BRE). CRC Ltd., London.
- LIU, B. Y. H. I JORDAN, R. C. (1960): *Interrelationship and characteristic distribution of direct, diffuse and total solar radiation*. Solar Energy, Vol. 4, N°3, pag. 1-19. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- LÓF, G. O. DUFFIE, J. A. SMITH C. O. (1966): *World distribution of solar radiation*. Solar Energy, Vol. 10, N°1, pp. 27-37. Pergamon. Gran Bretaña.
- LÓPEZ DE LUCIO, R. (1993): *Ciudad y urbanismo a finales del siglo XX*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Valencia.
- LUND, I. A. (1968): *Relationships between insolation and other surface weather observations at Blue Hill*. Solar Energy. Vol. 12, pag. 95-106. Pergamon Press. Gran Bretaña
- MAJUMDAR, N. C. I MATHUR, B. L. I KAUSHIK, S. B. (1972): *Prediction of direct solar radiation for low atmospheric turbidity*. Solar Energy, Vol. 13, pag. 383-394. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- MARSH, W. (1978): *Environmental analysis for land use and site planning*. Mc Graw Hill. New York.
- MARKUS T. A., MORRIS E. N. (1980): *Buildings, Climate and Energy*. Pitman, London.
- MARTIN CENTRE FOR ARCHITECTURAL & URBAN STUDIES SYMPOSIUM. (1982): *Comfort and Energy Conservation in Buildings* Published in Energy and Buildings. Vol. 5 n° 2.
- MARZRIA, E. (1983): *El Libro de la Energía Solar Pasiva*. Editorial Gustavo Gili. Barcelona.

- McNICHOLL, A. LEWIS, J. (1994): *Daylighting in Buildings* THERMIE MaxiBrochure, European Commission Directorate-General XVII,
- MEINEL, A. (1982): *Aplicaciones de la energía solar*. Editorial Reverté. Barcelona
- MENARD J.P. (1980): *Maissons Solaires*. Editions du Moniteur. Paris.
- MICHONNEAU, S. (2001): *Barcelona: Memòria i identitat*. Editorial Eumo. Barcelona.
- MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS Y URBANISMO. (1982): *Diseño y Optimización Funcional de las Zonas Verdes Urbanas*. Dirección General de Acción Territorial y Urbanismo de Madrid.
- MITJÁ, A. BATALLA, E. (1982): *Manual de radiación solar*. Ed. Prensa XXI. Barcelona.
- NAREDO, J.M. (1996): *Sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible. Ciudades para un futuro más sostenible*. Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente.
- NAREDO, J.M. (1996): *Sobre la insostenibilidad de las actuales conurbaciones y el modo de paliarla. Primer Catálogo Español de Buenas Prácticas*. Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente.
- NAVAJAS, P. (1980): *Arquitectura Solar*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- NAVAJAS, P. (1980): *Normativa Urbanística y Arquitectónica sobre la Vivienda Rural en la Provincia de Madrid*. Consejería de Ordenación del Territorio, Medio Ambiente y Vivienda.
- NEILA GONZÁLEZ, F.J. (1984): *El Diseño de la Vivienda como Elemento de Control Energético*. Tesis Doctoral. E T S Arquitectura de Madrid.
- NEUFERT, E. (1967): *El Arte de Proyectar en Arquitectura*. Ed. Gustavo Gili. Barcelona
- NORRIS, D. J. (1966): *Solar radiation on inclined surfaces*. Solar Energy, Vol. 10, N°2, pag. 72-76. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- NORRIS, D. J. (1968): *Correlation of solar radiation with clouds*. Solar Energy, Vol. 12, pag. 107-112. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- OBSERVATORIO ASTRONÓMICO DE MADRID. (1989): *Anuario del Observatorio Astronómico*. Instituto Geográfico Nacional.
- OLGAY, A. OLGAY, V. (1957): *Solar Control and Shading Devices*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.

- OLGAY, V. (1963): *Design with Climate*. Princeton University Press. Princeton, New Jersey.
- OH J. K. W. AND HABERL J. S. (1997): *New educational software for teaching the sunpath diagram and shading mask protractor*. In Proceedings of the 5th International IBPSA Conference: Building Simulation '97, 8-10 Sept., Prag, Vol III-9.
- ORUS NAVARRO, J.J. (1965): *Apuntes de Astronomía*. Barcelona.
- PALENCIA, JOAQUÍN (1981): *Proyecciones Centrales*. ETSICCyP Madrid.
- PARKER, J.H. (1987): *Effectiveness of Vegetation on Residential Cooling*. Passive Solar Journal 2(2), pag 123–132.
- PECOURT, E. (1934): *Estudio Elemental del Soleamiento en la Edificación*. Edita: La Semana Gráfica. Valencia.
- PETHERBRIDGE P. (1965): *Sunpath diagrams and overlays for solar heat gain calculations*. Building Research Station Current Paper. 39/65.
- PRATS PALAZUELO, F. (1996.): *Turismo, Territorio y Medio Ambiente. El caso del Plan Insular de Lanzarote*. Medio Ambiente, Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid.
- PUIG ADAM. PEDRO. (1981): *Geometría Métrica*. Madrid.
- RAMÓN MOLINER, FERNANDO. (1976): *Manuales críticos de diseño de alojamiento español, Nº1. Iluminación natural en una situación urbana*. COAM, Comisión de Vivienda.
- RAMÓN MOLINER, FERNANDO. (1976): *Manuales críticos de diseño de alojamiento español, Nº5. Soleamiento en una situación urbana*. COAM, Comisión de Vivienda.
- RAMÓN MOLINER, FERNANDO. (1980): *Ropa, Sudor y Arquitecturas*. Editorial Herman Blume. Madrid.
- RAMOS BERJANO, R. I TINAUT, D. I VALVERDE,V. (1978): *Radiación solar sobre superficies inclinadas*. Instituto de optica "Daza Valdéz". CSICI Centro de Estudios de la Energía. MIE. Madrid.
- RAYA ROMÁN, JOSÉ MARÍA. (1984): *El Reloj Solar de Belo*. Boletín del Museo Arqueológico Nacional II. Madrid.
- RAYA ROMÁN, JOSÉ MARÍA. (1986): *Los cuadrantes solares en la arquitectura*. Tesis Doctoral ETSAM.
- RAYA ROMÁN, JOSÉ MARÍA. (2001): *Manual de Soleamiento Integral*. Servicio de Publicaciones. Instituto de Ciencias de la Construcción. Sevilla.

- REGOT. J, MESA. A, (1996) *Una nueva alternativa al estudio tridimensional de la obstrucción solar en los Espacios urbanos. La idea y la construcción gráfica de los diagramas planos de obstrucción solar*. Actas del IV Congreso Internacional de Expresión Gráfica Arquitectónica. Pamplona.
- ROBBINS, C.L. *Daylighting design and analysis*, Van Nostrand Reinhold Company Inc. New York. 1986
- ROSENFELD, B.A., SERGEEVA, N.D. (1977): *Proyección Estereográfica*. Ed. Mir- Moscú.
- ROTH, G. D. (1979): *Metereología*. Ed. Omega. Barcelona.
- ROVIRA RABASSA, ANTONIO. (1896): *Tratado de Gnomónica*. ETSAB. Barcelona.
- ROIZ, PEDRO. (1575): *Libro de Reloges Solares*. Ed. Pedro de Huete. Valencia.
- RUIZ AIZPIRI, J.M. (1980): *Geometría Descriptiva*. Editorial Latina. Madrid.
- SADLER, G. W. (1974): *Direct and diffuse insolation using aproximation methods applied to horizontal surface insolation*. Solar Energy, Vol. 17, pag. 39-46. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- SÁENZ DE OIZA, F. J. (1958): *Apuntes de Soleamiento* .E.T.S. Arquitectura de Madrid.
- SALAZAR, J. H. (1995): *Sunlighting Evaluation in Buildings: Shading Device Evaluation Method with Qualitative Comparisons and Cost Benefit Analysis*. Building Research and Information volume 23, no.3.
- SANTAMOURIS, M. ASIMAKOPOULOS, D. (1996): *Passive Cooling of Buildings*. James & James, London.
- SERRA FLORENSA, R. (1989): *Clima, Lugar y Arquitectura. Manual de diseño bioclimático*. Editado por el centro de investigaciones energéticas, medioambientales y tecnológicas, con la colaboración de la Universidad Politécnica de Cataluña y del Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España. Ministerio de Industria y Energía.
- SHALGO, M. (1996): *The Pergola and all her sisters*. Architecture of Israel, no.24, pag 16-25, Tel Aviv.
- SHAVIV E. (1975): *A method for the design of fixed external sun-shades*. Build. International. 8, 121-150.
- SHAVIV E. (1984): *A design tool for determining the form of fixed and movable sunshades*. ASHRAE Transactions. 90 AT-84-18 (4), 948-961.

- SIMÓ, TRINIDAD (1983): Valencia centro histórico. Guia urbana y de arquitectura Ed. Institución Alfonso el Magnánimo. Valencia.
- SOLER SANZ, F. (1989): *Soleamiento*. Servicio de Publicaciones de la UPV. Valencia.
- SPENCER, J. W. (1972): *Computer estimation of direct solar radiation on clear days*. Solar Energy, Vol. 13, pag. 437-438. Pergamon Press. Gran Bretaña.
- SZOKOLAY, S. V. (1975): *Solar Energy and Building*. The Architectural Press. Londres.
- SZOKOLAY, S. V. (1980): *Environmental Science Handbook for Architects and Builders*. Construction Press, London.
- SZOKOLAY, S. V. (1987): *Thermal Design of Buildings*. University of Queensland Press, Queensland.
- SZOKOLAY, S.V. (1996): *PLEA Notes: Solar Geometry*, PLEA and University of Queensland, Queensland.
- TERAN TROYANO, F. (1962): "La Ciudad y el Viento", *Revista Arquitectura Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid*, Madrid.
- THEKAEKARA, M. P. (1976): *Solar radiation measurement: Techniques and instrumentation*. Solar Energy, Vol. 18, pag. 309-325. Pergamon Press. London.
- THEKAEKARA, M. P. (1965): *The solar constant and spectral distribution of solar radiant flux*. Solar Energy, Vol. 9 N°1, pp. 7-20. Pergamon Press. London.
- TORROJA, B. Y ESCORIHUELA, M. J. (1986): Monografías del IETCC (Instituto Eduardo Torroja para la Construcción y del Cemento) N° 384. *Cartas Solares en representación gnomónica para Madrid*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- TOSCA, THOMAS VICENTE. (1715): *Tratado de la Gnomónica, u de la Theorica y Práctica de los Reloxes de sol*. Editor Juan Baeza, Valencia.
- TSANGRASSOULIS, A, SANTAMOURIS, M, AND ASIMAKOPOULOS, D. (1996): *Theoretical and Experimental Analysis of Daylight Performance for Various Shading Systems*. Energy and Buildings, volume 24, no.3, pag 223-230.
- TWAROWSKY, MIECZYSLAW. (1967): *Soleil et Architecture*. Dunoud Editeur. Paris.
- UNSWORTH, M. J. I MONTEITH, J. L. (1975): *Longwave radiation at the ground: angular distribution of of incoming radiation*. Quart. Journey of Royal Metereological Society, no1 01, pp. 1-13. London.
- USLE ÁLVAREZ, J. (1980): *Clima y Urbanismo*. Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Madrid.

- VAN DEN EIJK J. (1965): *Instrumentation for solar studies*. Proceedings of the CIE Intersessional Conference: Sunlight in Buildings, 5-9 April, , Hopkinson R. G. (Ed), 251-264. Newcastle-upon-Tyne.
- VITRUBIO, M.L. (Reedición 1997): Los diez libros de arquitectura. Editorial Iberia. S.A. Barcelona.
- WALKER, JEARL. SLOAN, C.K. (febrero de 1981): *Un Reloj Solar de Fácil Lectura*. Investigación y ciencia, pag. 109 a 114
- WESELY, M. L. ET AL. (1976): *A method for estimating hourly averages of diffuse and direct radiation under a layer of scattered clouds*. Solar Energy, Vol. 18, pp. 467-473. Pergamon Press. London.
- YAÑEZ PARAREDA, G. (1982): *Energía Solar, Edificación y Clima*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo de Madrid.
- YAÑEZ PARADERA, G. (1988): *Arquitectura Solar. Aspectos Pasivos, Bioclimatismo e Iluminación Natural*. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. Madrid.
- YENER, A. K. (1999): *A Method of obtaining Visual Comfort using Fixed Shading Devices in rooms*. Building and Environment volume 34, no.3, , pag 285-291.
- ZAHONERPI XIFRE, A. (1996): *Estudio de los factores ambientales en el Proyecto y Planificación Urbanística. La Evaluación del Impacto Ambiental*. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid.



## 12. Fuentes consultadas en internet

En este último punto se reseñan las fuentes consultadas en internet para la redacción del presente estudio. Cabe destacar que la información disponible en las direcciones de internet reseñadas, por tratarse de fuentes vivas para la obtención de información, puede variar a lo largo del tiempo, tanto en su contenido como en su lugar de ubicación. La información disponible puede quedar obsoleta e incluso desaparecer de su ubicación, al ser actualizados los contenidos de las páginas. Sirva lo anterior como advertencia, y como disculpa en caso de que la consulta de alguna de las páginas reseñadas no responda exactamente a los contenidos descritos. La información expuesta a continuación data de septiembre de 2003.

- <http://www.cerma.archi.fr/>

Página Web del CERMA (Centre de Recherche Metodologique D'architecture) vinculado a la Ecole d'Architecture de Nantes. En esta página puede encontrarse el artículo de los profesores Philippe Woloszyn y Dominique Follut reseñado en el punto 3.1.3 del presente estudio donde se propone el concepto de "ambiente" como unidad perceptual para el análisis del soleamiento. También puede encontrarse en esta página la reseña de la Tesis Doctoral de D. Daniel Siret titulada Propositions Pour Une Approche Déclarative Des Ambiances Dans Le Projet Architectural. Application À L'ensoleillement, reseñada en el punto 3.1.5.4.

- <http://www.soleili.free.fr/>

Página Web desde donde puede descargarse el programa de software libre llamado Soleili. Se trata de un software que permite la definición tridimensional de sólidos, y el cálculo de sombras propias y arrojadas para una ubicación geográfica concreta, en una fecha y hora determinada. Su principal inconveniente es que, al no contar con protocolos de intercambio de archivos gráficos, los datos de la geometría objeto de estudio deben ser introducidos tecleando las coordenadas de sus vértices, lo que para geometrías complejas puede resultar tedioso. En cambio, permite el análisis de elementos simples, como voladizos con una gran sencillez y economía de medios.

- <http://www.3dsoftware.com/solar/pcsolar>

Página Web de la empresa 3dsoftware, que comercializa el programa PC-Solar. Se trata de un software para el estudio del soleamiento de sólidos tridimensionales. A diferencia del programa anterior, admite archivos de intercambio de dibujo (DXF), lo que permite definir la geometría del sólido a estudiar en un programa CAD, con las ventajas que ello implica. El programa tiene predeterminadas las coordenadas geográficas de la mayoría de las capitales del mundo, y permite la obtención de imágenes raster (BMP), para una fecha y hora concreta. También permite definir secuencias de imágenes donde aparece la evolución de las sombras arrojadas por el objeto. Aunque se trata de un buen programa, su capacidad y velocidad de cálculo es limitada, en comparación con otros programas específicos para la obtención de animaciones, tipo 3DStudio.

- <http://www.sat.dundee.ac.uk/>

Página Web del Dundee Satellite Receiving Station (DSRS). Estación de recepción de señal de satélites perteneciente a la Dundee University, Reino Unido de la Gran Bretaña. En esta página se pueden obtener imágenes de alta resolución en la banda visible de la evolución de la nubosidad obtenidas por el satélite METEOSAT, con un intervalo de 6 horas. Pueden obtenerse las mismas imágenes para la banda infrarroja. La página cuenta con enlaces a otras páginas que tratan temas relacionados con la climatología y la predicción meteorológica. Entre los enlaces con los que cuenta, se encuentra la página siguiente:

- [www.astrosurf.com/cavadore/meteo/ens/method.html](http://www.astrosurf.com/cavadore/meteo/ens/method.html)

En esta página Web se encuentra descrito el método llamado "EUROPE Sunniness Computation method" El procedimiento permite calcular el tanto por ciento de cobertura nubosa para Europa a partir de las imágenes alta resolución en la banda visible proporcionadas por el DRDS. El procedimiento se encuentra descrito en el punto 7 del presente estudio.

- <http://www.technion.ac.il/english/site/architecture>

Página Web del Technion - Israel Institute of Technology. En el apartado dedicado a arquitectura y planeamiento urbanístico se encuentran los trabajos de los profesores D. Edna Shaviv, D. Abraham Yezioro y D. Isaac Guedi Capelutto, reseñados en los puntos 3.1.2, 3.1.5.5, 3.1.5.6 y 3.1.5.7 del presente estudio.

- <http://www.usc.edu/dept/architecture/mbs/tools/vrsolar/frameset.html>

Página Web de la University of Southern California. En la sección correspondiente a la Escuela de Arquitectura puede encontrarse un programa llamado VRSOLAR. Se trata de un software educativo para la enseñanza de cuestiones relacionadas con el soleamiento. Aunque el enfoque de los temas tratados es muy básico, cabe destacar la gran calidad del material disponible.

- <http://www.editorial.cda.ulpgc.es/ambiente/soleamiento>.

Página Web de la editorial de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria. En esta dirección puede encontrarse gran cantidad de información sobre la mecánica astronómica del soleamiento, cartas solares, procedimientos y software de evaluación de ganancia de carga térmica debida al soleamiento. La información disponible, y las referencias bibliográficas recogidas en la página son parte del material docente que D. Manuel M. Monroy facilita a sus alumnos de la Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Las Palmas de Gran Canaria.