

**ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ARQUITECTURA DE
BARCELONA**

**TRAÇAT DE PERSPECTIVA
CURVILÍNIA DE PANTALLA
CILÍNDRICA MITJANÇANT
SISTEMES INFORMÀTICS**

Autor: Joan Font i Comas
Directors: Enric Martínez-Quintanilla
Joan Trias i Pairó

Barcelona, febrer del 1987

capitol 2

2.- TRACTAMENT INFORMÀTIC: PLANTEJAMENT GENERAL.

En aquest capítol, definirem els trets principals de l'enfoc que donarem al problema del traçat informatitzat de la perspectiva de pantalla cilíndrica i plantejarem els grans punts a afrontar per tal d'assolir aquest objectiu.

El capítol consta, en realitat, de dues parts clarament diferenciables: una primera d'anàlisi, amb formulació de conclusions deduïdes d'aquesta anàlisi; i una segona de síntesi, en què les conclusions deduïdes a la primera part són integrades per tal de formular ja opcions concretes.

En efecte, la primera part, que comprèn les quatre primeres seccions, s'ocupa, per una banda, d'assentar les bases del tipus de representació gràfica que es pretén d'assolir, aspecte que determina la línia d'algorismes amb què caldrà tractar la visualització. D'altra banda, també en aquesta primera part, es fa una anàlisi de les diferents opcions, actualment desenvolupades, per tal d'afrontar el problema de la representació interna de la forma tridimensional, anàlisi que, des de l'òptica del tipus d'expressió gràfica pretès, permet de prendre les decisions que emmarquen ja les coordenades dins les quals es desenvoluparà el treball.

La segona part del capítol -Secció 2.5- és dedicada, exclusivament, a la descripció de l'estructura de dades que, a partir de les conclusions de la primera part, s'ha dissenyat per tal de representar internament els objectes a tractar en perspectiva curvilínia de pantalla cilíndrica. Es tracta, doncs, d'un punt fonamental del treball, ja que sobre l'estructura descrita en aquesta Secció 2.5 es recolza tota la resta de propostes que s'hi fan.

2.1 ORIENTACIÓ ARQUITECTÒNICA.

Una premisa fonamental a considerar és que aquest és, bàsicament, un treball d'expressió gràfica arquitectònica i, com a tal, els diferents temes hi són contemplats des de l'òptica del disseny i el dibuix arquitectònics.

Amb freqüència, en parlar de CAD ("Computer Aided Design"), es tendeix a considerar dins d'un mateix paquet el disseny arquitectònic i el disseny industrial. El cert, però, és que les notables diferències entre una i altra disciplina han donat pas al camp conegut per CAAD ("Computer Aided Architectural Design"), que estudia els problemes específics del disseny arquitectònic i el seu tractament informàtic [34], [63].

El present treball fa referència només a una parcel·la d'aquest camp, la de la representació gràfica, però, lògicament, ha de fer-ho contemplant els requeriments característics del disseny arquitectònic.

2.2 ESQUEMA D'UN SISTEMA DE CAAD.

Esquemàticament, un sistema integrat de disseny arquitectònic assistit per ordinador consta de tres fases [12], [17]:

1.-Una primera fase de **pre-procés** en què són definides les característiques geomètriques de l'edifici; la morfologia tridimensional del qual queda representada, de forma interna, en l'anomenat model tridimensional (model 3-D). La informació emmagatzemada en el model permet visualitzar l'edifici en qualsevol projecció, fer-ne seccions i analitzar-ne detalls. Igualment, el model-3D conté informació suficient per permetre el càlcul de les propietats geomètriques de l'edifici (àrees, volums, amidaments, moments d'inèrcia, etc.)

2.-A la segona fase, anomenada **procés**, intervenen diversos programes tècnics per realitzar diferents càlculs: tensions sobre l'estructura, comportament tèrmic, pressupostos, etc...

3.-A la tercera fase **-post-procés-**, es visualitzen els resultats del procés, els quals poden obligar a modificacions geomètriques. Efectuades aquestes, caldrà repetir de bell nou, totalment o parcial, els càlculs del procés.

Finalment, quan el resultat és ja satisfactori, es pot passar a l'edició automàtica dels diversos documents del projecte.

Requeriments de visualització.

Mentre que en alguns sistemes, orientats a certs tipus de disseny industrial, la visualització és requerida només a l'última fase del post-procés, en el disseny arquitectònic, la visualització és fonamental des del primer pas. El dissenyador ha de poder controlar, en tot moment i a tots nivells, la forma d'allò que està dissenyant.

Sovint, en aquesta fase, serà preferible una visualització sense eliminar les parts ocultes, però són també necessàries les vistes realitzades amb eliminació d'aquestes parts.

Cal, però, establir una diferenciació entre el tipus d'expressió gràfica requerit durant el procés de definició formal, i el que serà exigible al final del post-procés. En efecte, mentre que, en el primer cas, la visualització es realitzarà per pantalla -de mitjana o alta resolució-, la documentació gràfica del projecte ha de portar-se a terme sobre paper, incloent plànols generals, a una escala superior de la que permet un terminal de pantalla, i amb una resolució gràfica també molt superior. Igualment, per a la documentació del projecte, no seran admissibles representacions gràfiques que no eliminin les parts ocultes.

Tipus de representacions gràfiques.

D'entre les representacions gràfiques que, eliminant parts ocultes, poden obtenir-se per mitjà de sistemes informàtics, podem distingir entre **dibuixos**, que són representacions de tipus lineal, i **imatges**, o representacions obtingudes il·luminant amb tons o colors diferents cada un dels punts de les superfícies vistes (fig. 2.1). En el primer cas, parlarem d'eliminació de línies ocultes, mentre que, en el segon, ens referirem a eliminació de superfícies ocultes [42].

Encara dins del grup del que anomenem dibuixos, hem d'establir una diferència entre aquells en els quals les línies són traçades punt a punt, i aquells altres en què el traçat és vectorial, és a dir, enllaçant directament els dos extrems de cada segment.

Tots aquests tipus de representació poden obtenir-se amb perifèrics de tipus pantalla, però un "plotter" convencional ("plotter" vectorial) només està capacitat per produir dibuixos de traçat vectorial (fig. 2.2).

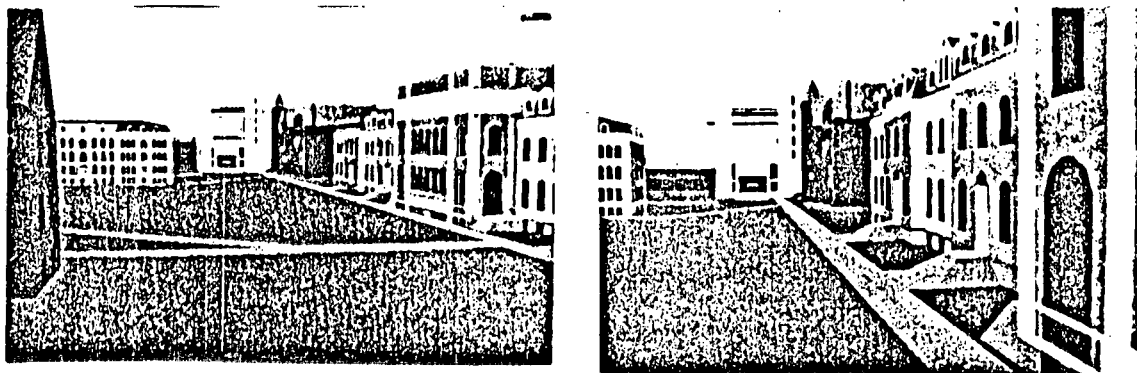
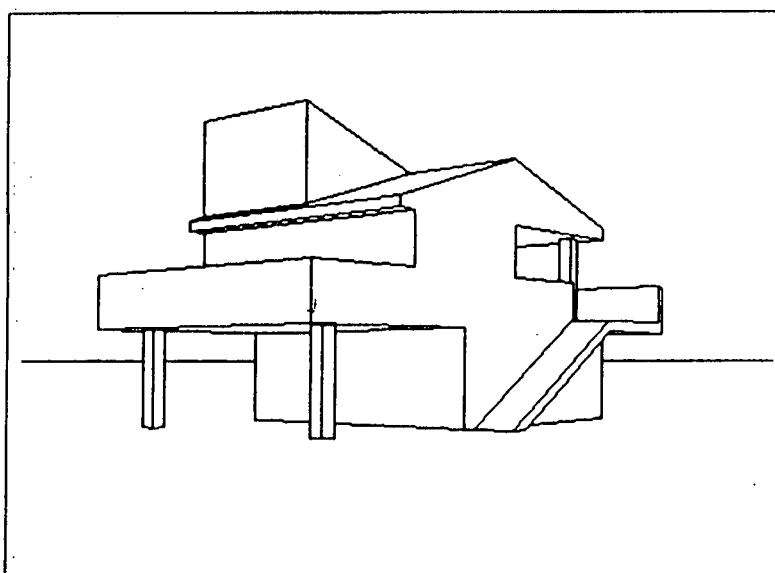


Figura 2.1 Representacions de tipus imatge. Noti's que l'expressió gràfica és més pictòrica que no pas arquitectònica. (Procedència de les il.lustracions [34]).

(a)



(b)

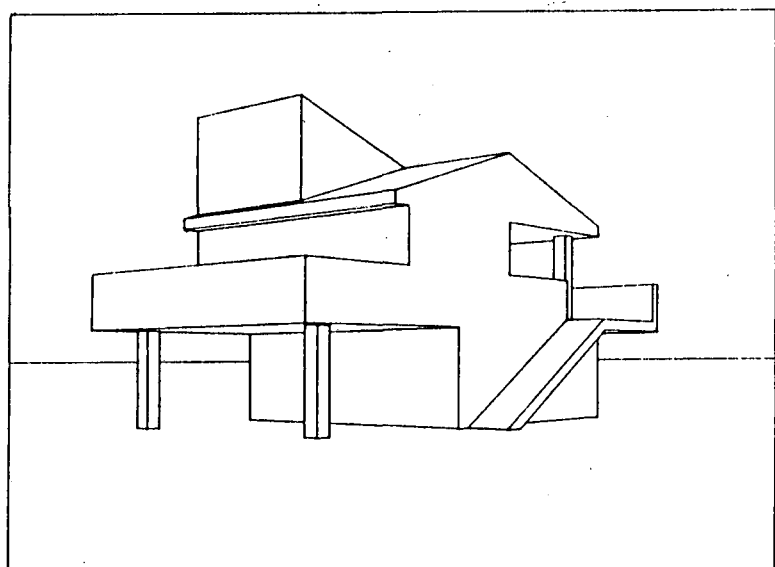


Figura 2.2 Representacions de tipus dibuix: a) Amb traçat per punts (pantalla); b) amb traçat vectorial ("plotter")

Aquestes distincions entre tipus de representació gràfica tenen una correspondència directa amb l'algorisme d'eliminació de parts ocultes a utilitzar. Els dibuixos de traçat vectorial requereixen algun dels algorismes anomenats d'espai objecte, mentre que les altres representacions corresponen a tractament mitjançant els anomenats algorismes d'espai imatge [57]. Els primers són aptes, únicament, per a l'obtenció de dibuixos, mentre que els segons estan especialment indicats per a la producció d'imatges, si bé alguns d'ells poden adaptar-se també per produir dibuixos.

Els algorismes d'espai imatge fan una anàlisi de la imatge, entenent com a tal la totalitat de la pantalla o finestra de pantalla escollida. Alguns examinen tots els punts de la imatge, llançant, per cada un d'ells, una perpendicular a la pantalla. Si aquesta intercepta l'escena, el punt s'il·lumina amb el color o to assignat a la cara a què pertany el punt d'intersecció més pròxim. D'altres algorismes d'aquest tipus, fan un estudi similar però efectuat línia per línia, de manera que la visibilitat és estudiada sobre plans normals a la pantalla, corresponents a cada una de les línies d'aquesta. Són els anomenats algorismes de línia d'escombrat [26], [43], (fig. 2.3).

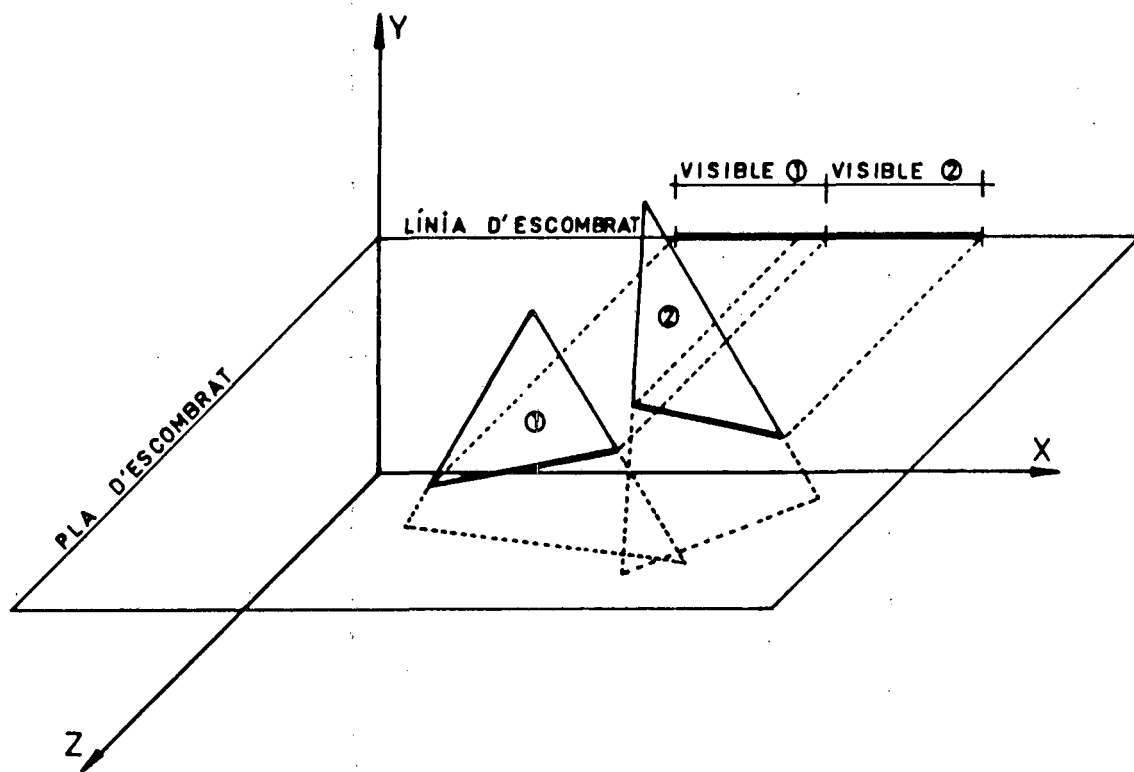


Figura 2.3

Pot dir-se que, en els algorismes d'espai imatge, la dificultat no augmenta amb la complexitat de l'escena, sinó que es manté constant, ja que sempre s'han d'estudiar tants punts, o tantes línies, com tingui la pantalla. Per contra, en els algorismes d'espai objecte, la dificultat creix ràpidament en augmentar la complexitat de l'escena, fet que els fa impracticables a partir d'un cert nivell. A més a més, els algorismes d'espai imatge poden ésser fortament ajudats des de "hardware" especialitzat, cosa que no passa amb els d'espai objecte [57].

Les circumstàncies exposades fan que els algorismes d'espai imatge siguin notablement més ràpids que els altres i, per tant, recomanables per a les visualitzacions a realitzar durant el pre-procés, fase en què es requereix una certa velocitat de resposta. En canvi, per a l'edició dels diferents plànols del projecte, caldrà visualitzar emprant algorismes d'espai objecte.

Conclusió.

La perspectiva curvilínia de pantalla cilíndrica genera un tipus de representació gràfica especialment indicat per a conjunts arquitectònic-urbanístics en els quals una dimensió sigui considerablement menor a les altres dues. El seu objectiu és transmetre, a terceres persones, una idea perceptiva del projecte, però no és una representació d'especial interès per ajudar l'arquitecte en el seu treball projectual. Per contra, com a vehicle de comunicació, creiem que la perspectiva de pantalla cilíndrica té, com totes les perspectives, una capacitat per transmetre la idea perceptiva molt superior de la que té una maqueta, amb l'avantatge, sobre la perspectiva lineal, de permetre plasmar, en una sola representació, un camp visual molt ampli.

En conseqüència, entenem que, dins l'esquema que hem exposat per a un sistema de CAAD, el lloc de la perspectiva curvilínia de pantalla cilíndrica és el final del post-procés, en la fase que hem anomenat d'edició automàtica dels documents del projecte, i, com a conseqüència, l'estudi de la seva visualització haurà de basar-se en els algorismes d'espai objecte per a l'eliminació de línies ocultes.

2.3 MODELATGE GEOMÈTRIC.

Retornant a l'esquema exposat per a un sistema de CAAD, és clar que la fase inicial, que hem anomenat pre-procés, és la peça fonamental de tot el sistema. De fet, en l'actualitat, difícilment els sistemes existents poden oferir totes les prestacions enunciades a l'esquema [12], però és clar que, sense la creació d'un model tridimensional que representi la forma de l'objecte que es pretén dissenyar, no són possibles ni les visualitzacions ni cap de les operacions i càlculs que puguin realitzar-se en la fase de procés.

Si bé el treball té per objectiu, únicament, l'estudi d'un tipus concret de visualització -la corresponent a la perspectiva curvilínia de pantalla cilíndrica-, aquest estudi no podria passar d'una mera aproximació teòrica al tema, si prèviament no es resolvia el problema de la creació del model geomètric de les escenes a visualitzar.

Dins del camp del modelatge geomètric, hem de distingir dues branques independents, que s'han anat desenvolupant de forma paral·lela sense cap punt de contacte entre elles, fins el present. D'una banda, tenim la branca del disseny de superfícies corbades [7], [13], [21], impulsada fonamentalment per a la seva aplicació a la indústria de l'automòbil i de la construcció naval, mentre que, per l'altra, ens trobem amb els sistemes de modelatge de sòlids, que, a diferència dels primers, no s'orienten al disseny de "closques" sinó al disseny de formes compostes per sòlids polièdrics, limitats generalment per cares planes i, més rarament, per cares cilíndriques, còniques, esfèriques o tòriques [6], ja que aquestes, freqüentment, són aproximades polièdricament [14].

És obvi, que la geometria de la forma arquitectònica se situa de ple dins el camp dels sòlids, per tant, en aquesta secció, farem un repàs dels aspectes fonamentals del modelatge geomètric de sòlids.

Model-3D.

Històricament, la forma tridimensional s'ha vingut representant per mitjà de dibuixos, o sigui, representacions bidimensionals. Aquest sistema de representació gràfica resulta d'una gran eficàcia per a la comunicació entre humans, i hi estem tan habituats que sovint no ens adonem de les seves limitacions, i creiem que amb unes quantes projeccions hem descrit, inequívocament, la forma d'un objecte.

El cert, però, és que, quan llegim uns plànols, fem,

inconscientment, un ampli ús del nostre sentit comú per tal d'interpretar-los, i fem constants presumpcions d'aspectes de la forma no explicitats en els dibuixos. És relativament freqüent que es produixin errors en la lectura d'un plànol. De vegades, fins i tot, l'error és del dibuixant, i el lector, llegint-lo incorrectament -guiat pel seu sentit comú-, interpreta amb encert la idea del projectista.

No volem dir, amb les afirmacions anteriors, que, per via gràfica, sigui impossible descriure exhaustivament la forma d'un objecte o d'un edifici, però el cert és que, per fer-ho, caldria un gran nombre de projeccions. Hem de concloure, doncs, que, objectivament, els nostres sistemes habituals de representació gràfica de la forma tridimensional són ambigus, i només aconsegueixen el seu objectiu descriptiu amb el suport d'informació escrita i de la cultura pre-adquirida pel lector.

Els sistemes de dibuix assistit per ordinador (sovint presentats equívocament com sistemes de disseny assistit) operen amb vistes bidimensionals de l'objecte, sense cap relació entre elles. La màquina ajuda l'usuari en el delineat, acotat, retolat, etc. dels plànols i, a la vegada, actua com un arxiu d'aquests plànols. No pot, però, generar noves projeccions ni fer d'altres operacions de manipulació de l'objecte sencer, perquè només en posseeix vistes parcials.

A mitjans del anys 70 [46], va prendre cos, decididament, la idea que, intentant aplicar a l'ordinador els sistemes de representació de la forma tridimensional tradicionalment usats en la comunicació humana, s'estaven malbaratant les possibilitats que, al respecte, oferia l'eina informàtica. Pren força, llavors, el concepte de model-3D com una única representació de l'objecte, que posseeix tota la informació necessària per a la descripció total de la seva morfologia tridimensional.

Els avantatges de la representació amb model-3D, respecte de la tradicional a partir de projeccions múltiples, són evidents. En disposar de tota la informació formal en una única representació, poden generar-se, de forma automàtica, noves vistes, seccions i representacions gràfiques amb eliminació de parts ocultes. D'altra banda, qualsevol modificació que s'efectui sobre l'objecte, quedarà reflectida en totes les projeccions, cosa que no és possible en els primitius sistemes de dibuix assistit, on una modificació en planta -per exemple- no pot ésser transmesa automàticament a les altres projeccions, que hauran d'ésser modificades, una per una, amb intervenció directa de l'usuari.

D'altra banda, la utilització d'una única representació, mitjançant un model-3D, comporta un canvi qualitatiu

d'importància rellevant en el procés de disseny. Certament, el caràcter bidimensional del dibuix i la seva limitació a la visió, únicament, des d'un punt de vista determinat dificulten, tècnicament, la concepció global de l'objecte que es dissenya, com a tal objecte tridimensional. La utilització de la representació única, mitjançant un model-3D, elimina la dissociació entre projeccions i permet de manipular, des del primer moment, l'objecte en les seves tres dimensions.

Concepte de sòlid.

S'entén per sòlid tot subspai de l'espai Euclidi tridimensional que compleixi les propietats següents [47], [6]:

1.-**Rigidesa:** la seva configuració formal ha d'ésser independent de la seva posició i orientació.

2.-**Finitud:** ha d'ocupar una porció finita de l'espai.

3.-**Determinat per la frontera:** ha de tenir una superfície externa tancada i orientable, determinant, inequívocament, si un punt de l'espai és interior o exterior al sòlid.

4.-Ha de satisfer l'equació d'Euler generalitzada:

$$C + V - A = 2 + P - 2 * T \quad \text{on:}$$

C = nombre de cares.

V = nombre de vèrtexs.

A = nombre d'arestes.

P = nombre de polígons interiors a les cares.

T = nombre de túnels o forats travessers.

5.-El conjunt dels sòlids ha d'ésser tancat respecte de les transformacions geomètriques de translació i gir i operacions booleanes (reunió, intersecció i diferència).

El compliment d'aquesta darrera condició obliga a definir les anomenades operacions booleanes regularitzades, ja que, la intersecció estricta entre dos sòlids podria contenir parts que no fossin tridimensionals, amb la qual cosa la forma resultant no fóra un sòlid (fig. 2.4).

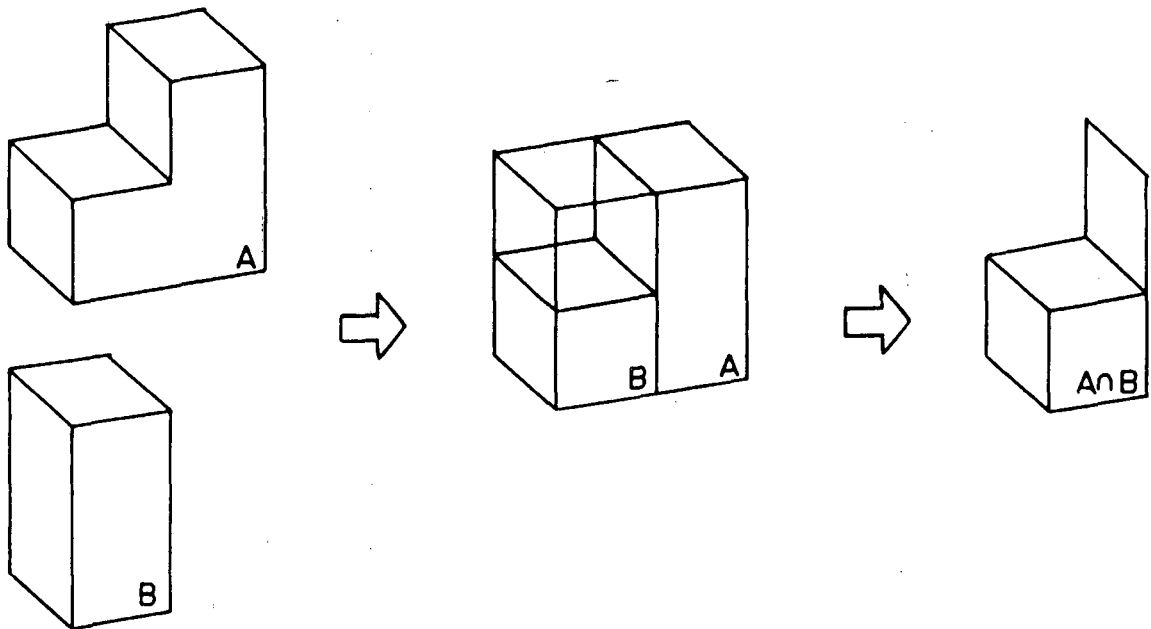


Figura 2.4 La intersecció estricta (no regularitzada) entre els sòlids A i B no és un sòlid, ja que conté parts bidimensionals.

Paràmetres de comparació entre models.

La forma de representar un objecte mitjançant un model-3D no és única. L'any 84 es comptabilitzaven, arreu del món, pels volts de dues dotzenes de sistemes de modelatge geomètric de sòlids [18]. Aquests sistemes, a més a més de diferir en les seves operacions de modelatge, difereixen també en el propi model que generen, si bé aquests models poden agrupar-se en unes poques grans famílies.

Vegem ara algunes propietats, el compliment o no de les quals permet de comparar els diferents models [47], [31].

1.-**Domini:** és el conjunt de formes capaces d'ésser representades amb un model.

2.-**Validesa:** qualitat per la qual el model només pot representar objectes que siguin sòlids.

3.-**No ambigüitat:** qualitat per la qual un mateix model no pot representar més d'un sòlid.

4.-**Unicitat:** propietat que fa que un sòlid no pugui tenir dues representacions diferents.

5.-**Concisió:** poca ocupació de memòria, evitant redundàncies en la informació.

6.-**Facilitat de creació formal:** facilitat en el maneig, per part de l'usuari, de les operacions de creació del model.

7.-Aptitud per a d'altres aplicacions: capacitat del model per a obtenir visualitzacions sense parts ocultes, seccions, propietats geomètriques, etc..

Model de filferro.

és, probablement, el cas més simple de model-3D. En ell l'objecte és representat per les coordenades dels seus vèrtexs i per la informació de com s'uneixen aquests vèrtexs.

Els principals defectes d'aquest model són l'ambigüitat i, com a conseqüència, la impossibilitat per fer visualitzacions eliminant parts ocultes, obtenir seccions, etc. (fig. 2.5).

Val a dir que alguns sistemes demanen l'ajut de l'usuari per desfer l'ambigüitat, presentant-li en pantalla les interpretacions possibles del model per tal que, interactivament, esculli la correcta .

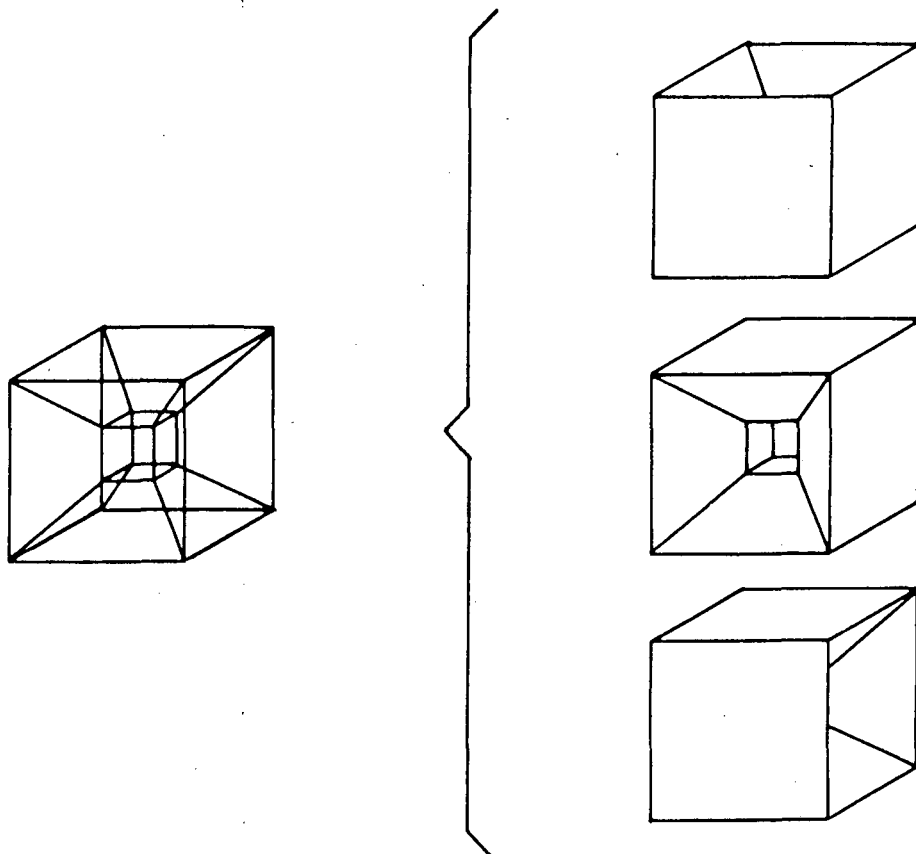


Figura 2.5 Ambigüitat del model de filferro: la representació de l'esquerra correspon, indistintament, a qualsevol dels sòlids de la dreta.

Instanciació de primitives.

Aquesta aproximació al tema es basa en la prèvia definició de famílies d'objectes, cada membre de les quals es distingeix dels altres pel valor d'un petit nombre de paràmetres [30]. Cada família d'objectes s'anomena **primitiva genèrica**, i cada membre de la família -que podem anomenar **primitiva elemental**- ve definit pel nom de la primitiva genèrica i pels seus corresponents paràmetres. Per exemple, un element de la família dels prismes pot venir definit com: "PRISMA", N, R, H; on "PRISMA" és el nom de la família, N és el nombre de costats de la secció recta i R i H són, respectivament, el radi i l'alçària del cilindre circumscribit.

Les primitives genèriques han d'haver estat pre-definides i arxivades en una biblioteca; i la representació en model-3D queda formada per la llista de les diferents primitives elementals i les corresponents operacions de rotació i translació, que les situen en la posició de l'espai escollida per l'usuari. El sistema funciona, doncs, com un clàssic joc d'"arquitectura".

El model d'instanciació de primitives no és ambigu, té unicitat, és vàlid -ja que es pressuposa que només s'introdueixen primitives vàlides-, és concís i fàcil d'usar. Per contra, el seu domini és extraordinàriament curt, ja que només es poden obtenir formes per juxtaposició de les primitives elementals, corresponents a primitives genèriques predefinides. A més a més, la visualització de l'objecte és pobre, ja que no poden eliminar-se els junts entre cares contigües i coplanàries, provinents de primitives diferents.

Model de fronteres.

És un dels models actualment més utilitzats. Bàsicament, consisteix en un model de filferro al qual s'hi ha afegit informació dels polígons i de les cares de l'objecte [14].

S'anomena "polígon" tot conjunt d'arestes que s'agrupen formant una poligonal tancada (no necessàriament plana), mentre que per "cara" s'entén un conjunt d'un o més polígons, pertanyents a una mateixa superfície elemental, tals que un d'ells conté, en el seu interior, tots el altres, constituint la frontera de la cara (fig. 2.6).

D'aquesta manera, l'objecte queda representat únicament per la seva frontera, i l'ordinador no guarda cap informació dels punts interiors a aquesta, si bé és fàcil saber si un punt és interior o exterior al sòlid.

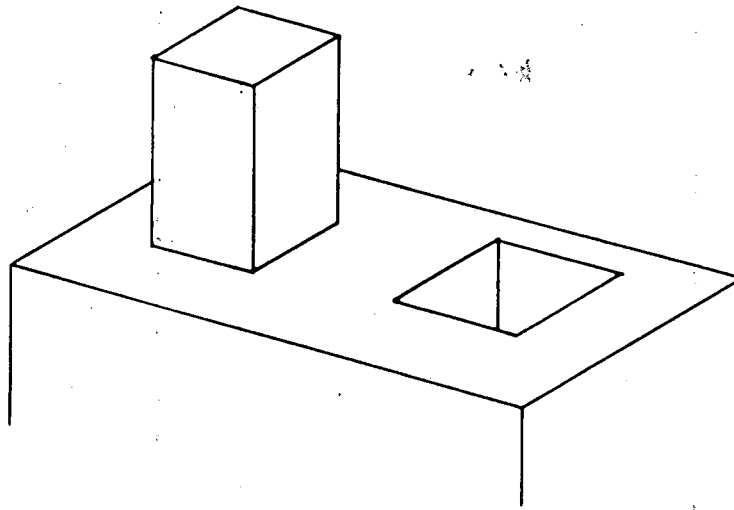


Figura 2.6 Cara amb tres polígons.

La representació en model de fronteres no és ambigua, per tant, el model representa un únic sòlid i permet tot tipus d'operacions i representacions realistes a partir d'ell.

Si bé amb model de fronteres poden representar-se políedres amb cares no planes, el cert és que la incorporació de cares d'aquest tipus -quàdriques per exemple- sempre distorsiona i complica l'estructura del model, ja que les cares planes queden definides directament en conèixer dues de les seves arestes, cosa que no passa amb els altres tipus de cares. Aquest fet té transcendència també a l'hora d'efectuar operacions de modelatge, seccions, visualitzacions, etc., els algorismes en els quals es basen resulten també notablement més complicats quan hi ha cares no planes. Per aquest motiu, la tendència més generalitzada és aproximar aquestes superfícies per mitjà de cares planes, per bé que alguns sistemes admeten també porcions de quàdriques.

Tot i amb aquesta possible limitació, el domini del model de fronteres és, certament, molt ampli. Quant a les facilitats de creació formal, per part de l'usuari, no són tan grans com en la instanciació de primitives, però sospesant la riquesa de possibilitats, les hem de considerar plenament satisfactòries.

Per contra, en el model de fronteres no és immediat d'assegurar la validesa del model, i és discutible la seva unicitat. Quant a la concisió, hem de dir que, en termes comparatius, no és un model gaire concís, si bé es pot classificar com de mitjana ocupació de memòria.

Enumeració espacial.

Sota aquesta denominació, agrupem una gran família d'esquemes de representació interna basats en la descomposició de l'espai en una serie de cel·les cúbiques anomenades "voxels" (volums elementals).

En una primera aproximació, podem suposar que tots els "voxels" tenen la mateixa grandària, resultant així l'espai estructurat segons una malla cúbica uniforme. L'objecte quedarà representat per una llista de dígitos -un per cada "voxel"- , valent 0, si el "voxel" és exterior al sòlid (del tot o en part), i 1 si és interior.

El model així obtingut és no ambigu, vàlid i únic, però comporta una elevada ocupació de memòria, alhora que genera una representació de l'objecte molt inexacta (fig. 2.7).

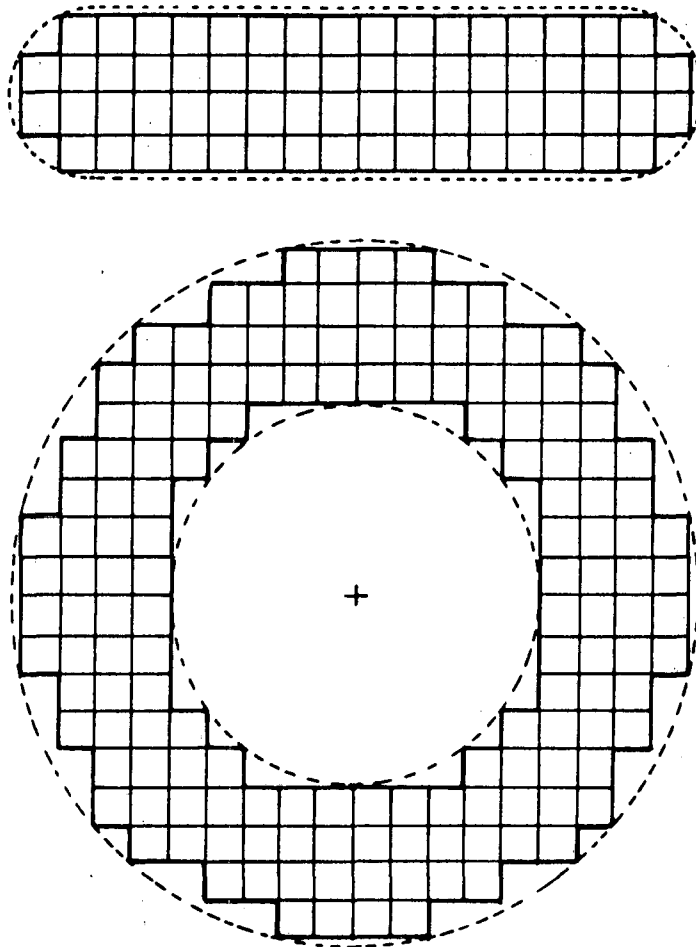


Figura 2.7 Representació d'un tor codificat amb enumeració espacial de malla cúbica uniforme. A punts s'indica el contorn del tor i, amb línia grossa, el contorn del model. (Vista en planta i alçat).

Una millora notable, tant en ocupació de memòria com en exactitud de la representació, s'obté mitjançant els anomenats arbres octals. En aquest sistema, l'espai es divideix també, en principi, en cubs iguals, però d'una grandària relativament major. Aquests cubs són classificats en "negres", "grisos" i "blancs", segons siguin: totalment interiors, parcialment interiors o totalment exteriors al sòlid. Els cubs "grisos" són subdividits en vuit octants, els quals són novament classificats i, aquells que resultin "grisos" seran altre cop subdividits. El procés de refinat continua fins que tots els cubs són blancs o negres, o s'arriba a la divisió mínima pre-establerta.

Aquesta tècnica genera un model amb estructura d'arbre, ja que cada node gris genera 8 nous nodes, corresponents als seus octants (fig. 2.8).

Tant la simple enumeració espacial com els arbres octals tenen el seu principal atractiu en la facilitat amb què permeten la realització d'operacions booleanes de reunió, intersecció o diferència, ja que, atesa l'estructura del model en malla cúbica, aquestes operacions es poden resoldre amb algorismes recursius força senzills.

És també senzilla la visualització en imatges, però, en canvi, és impossible la visualització en dibuixos. Per obtenir dibuixos, a partir d'aquests models, cal fer primer una conversió a model de fronteres, la qual donarà sempre una representació imprecisa.

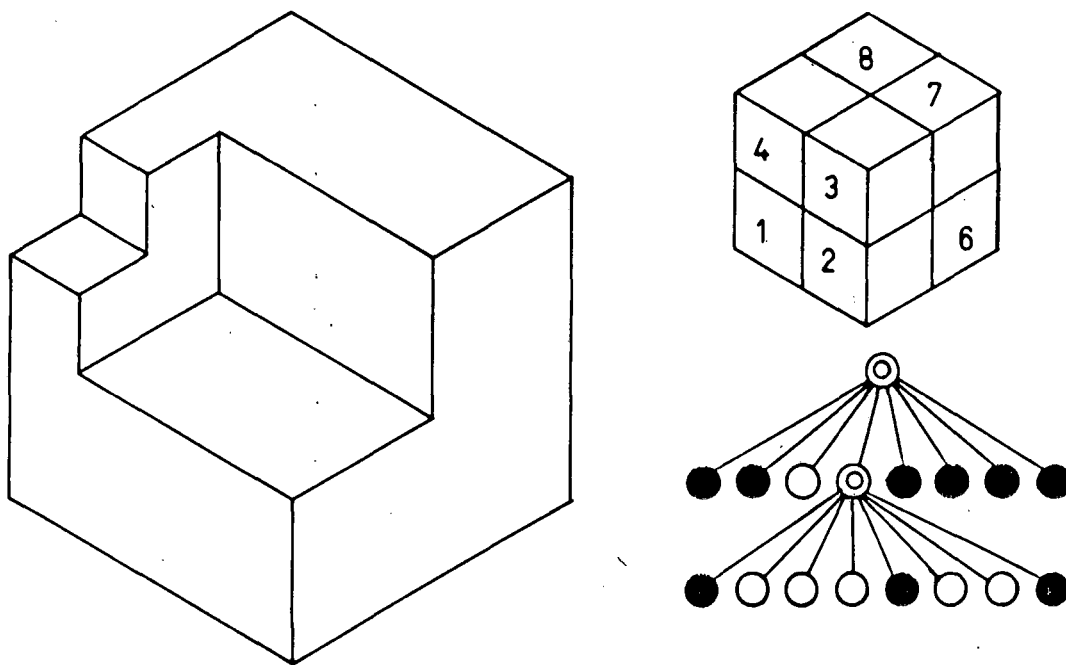


Figura 2.8 Representació d'un objecte amb arbres octals.

També en l'aspecte negatiu, hem d'assenyalar la ineptitud d'aquests models per a les transformacions geomètriques que no equivalguin a moviments en un nombre enter d'unitats de malla. Igualment, hem d'afegir la no aptitud per generar formes. En la pràctica, les formes són introduïdes amb model de fronteres i posteriorment convertides a aquest nou tipus de representació. Si, efectuades les operacions booleanes, es desitja retornar a model de fronteres, pot fer-se, però, naturalment, no es recupera la precisió inicial.

Recentment, l'equip del Departament de Mètodes Informàtics de l'E.T.S.E.I.B./UPC, ha desenvolupat un nou esquema de representació basat en arbres octals: els arbres octals estesos [4], [37]. En aquest esquema, a més a més dels nodes clàssics (negre, gris i blanc), s'introdueixen 3 nous tipus de node: nodes cara, que contenen part d'una cara; nodes aresta, que contenen part d'una aresta i de les cares que separa; i nodes vèrtex, que contenen un vèrtex. Aquesta variant del model d'arbres octals rebaixa considerablement l'ocupació de memòria i genera una representació exacta (fig. 2.9).

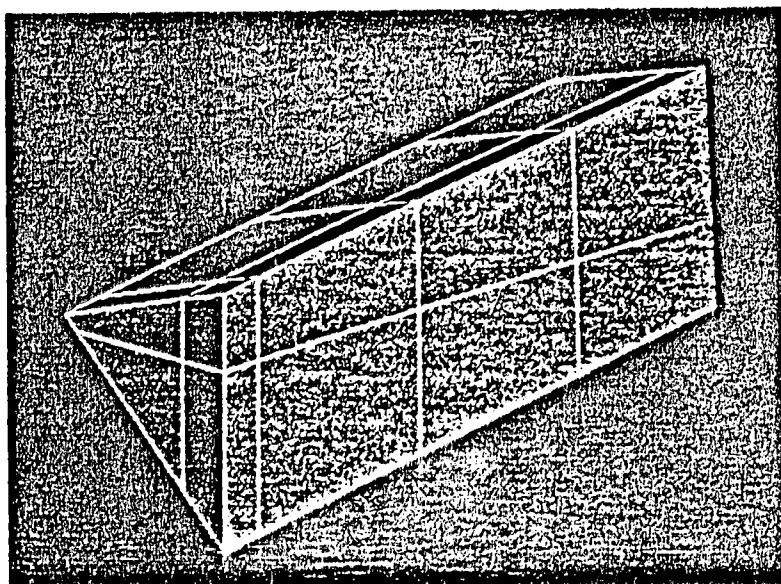


Figura 2.9 I.Navazo [37]: representació d'un prisma per mitjà d'arbres octals estesos. Noti's el reduït nombre de nodes necessaris, malgrat la presència de plans inclinats.

Geometria constructiva de sòlids (CSG)

Aquest és un model que, com el d'instanciació de primitives es basa en l'ús d'una biblioteca de formes simples predefinides. En aquest cas, però, les primitives, a més a més de sotmetre's a transformacions geomètriques, poden ser sotmeses a operacions booleanes.

Seleccionada una primitiva genèrica, se'n defineixen els paràmetres per obtenir la corresponent primitiva elemental. Seguidament, s'hi associa una transformació geomètrica (rotació+translació). El conjunt format per la primitiva i la transformació geomètrica constitueix un node elemental. Llavors, dos nodes elementals relacionats per mitjà d'una operació booleana formen un nou node que és susceptible de relacionar-se amb un altre node elemental o no-, fins a obtenir la forma desitjada (figura 2.10).

Aquesta estructura en arbre, formada per llistes de primitives elementals, transformacions geomètriques i operacions booleanes, forma el model CSG. Observi's que, en realitat, aquest model està format per una relació ordenada d'instruccions i, per tant, l'ocupació de memòria és molt petita. D'altra banda, el procés d'introducció d'informació, per part de l'usuari, és breu, ja que cap de les operacions es realitza, simplement s'arxiva. Ara bé, també és cert que, durant el procés de creació formal, l'usuari no té cap control visual sobre allò que està dissenyant, i, de fet, la visualització exacta d'un arbre CSG només és possible prèvia conversió a model de fronteres, operació que resulta certament costosa [53], per bé que existeixen alguns algorismes per obtenir visualitzacions aproximades de forma directa [3].

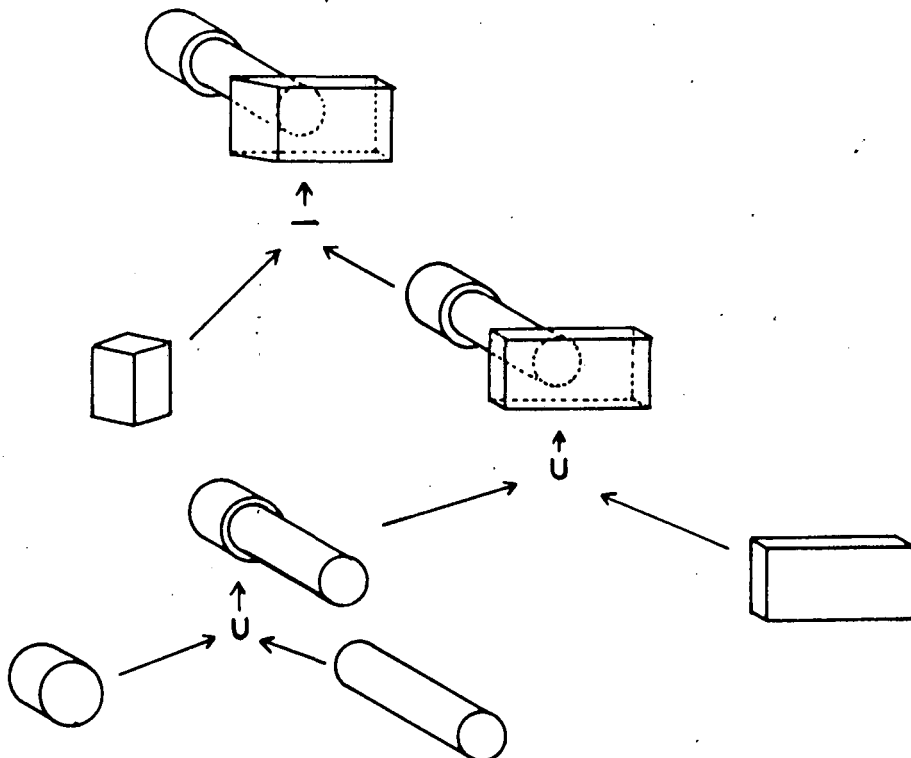


Figura 2.10 Representació mitjançant un arbre CSG.

Conclusió

A la vista de les alternatives possibles, i atenent a l'objectiu final, que és el d'obtenir visualitzacions d'acord amb els criteris exposats, podem extreure les següents conclusions:

-El model de filferro no és acceptable per a l'objectiu proposat, perquè no permet l'eliminació de línies ocultes, requisit que hem considerat indispensable per a un dibuix arquitectònic.

-La representació mitjançant instanciació de primitives podria resultar interessant, però el seu limitat domini i el fet de no poder eliminar les juntures entre primitives resulten limitacions inacceptables de cara a l'objectiu proposat.

-El model de fronteres presenta certament algunes dificultats operatives a l'hora de generar noves formes, ja que requereix algorismes gens elementals, comportant, així mateix, una ocupació de memòria important entre l'estructura base del model i les estructures auxiliars requerides per aquests algorismes. D'altra banda, en alguns casos, no és fàcil la validació automàtica dels models generats.

Això no obstant, el model de fronteres abarca un domini molt ampli i permet d'obtenir, amb facilitat, visualitzacions plenament ajustades a les característiques fixades.

-La representació mitjançant arbres octals -més concretament, amb arbres octals estesos- presenta aspectes francament interessants en facilitar molt notablement, respecte del model de fronteres, l'execució d'operacions booleanes. Té, però, un aspecte que la fa inadequada de cara als nostres objectius, la impossibilitat d'obtenir dibuixos sense retornar al model de fronteres.

Entenem -i aquí cal no oblidar que es treballa amb un equip de capacitats molt limitades- que introduir la informació amb model de fronteres, transformar-lo en arbres octals, per executar operacions booleanes, i retornar al model de fronteres, per visualitzar en forma de dibuix, és un procés excessivament costós.

-Quant al model de representació mitjançant arbres CSG, tot i reconeixent-li els seus mèrits, considerem que és un model no vàlid per al disseny arquitectònic, en ésser de difícil visualització.

Per tant, per al sistema informàtic de traçat de perspectiva curvilínia de pantalla cilíndrica que proposarem, adoptarem una representació interna de l'objecte segons el model de fronteres.

2.4 OPERACIONS DE MODELATGE.

A la secció anterior, ens hem ocupat principalment d'analitzar la representació interna, que d'un objecte tridimensional podem guardar en memòria, i les possibles alternatives al respecte. En aquesta secció, passarem a ocupar-nos del procés de creació d'aquest model-3D, és a dir, de com -directament, o a partir de croquis a mà alçada- l'usuari pot anar creant aquesta representació tridimensional única i precisa. Les operacions que han de permetre aquesta creació són les que denominem operacions de modelatge, i el seu conjunt forma el que es coneix com a Sistema de Modelatge Geomètric (GMS).

Operacions d'entrada.

En els sistemes tradicionals de dibuix assistit (no disseny) i, de fet, a la majoria de sistemes gràfics en dues dimensions, la forma més normal d'introduir la informació és per mitjà d'un digitalitzador. Pot dir-se que el digitalitzador és un aparell imprescindible per al treball gràfic bidimensional.

En el camp de les tres dimensions, però, el paper del digitalitzador ja és molt més discutible. Si el que pretenem és crear forma, representant-la internament mitjançant un model-3D, el digitalitzador esdevé, en la majoria de casos, un instrument inútil, ja que, d'una banda, només permet entrades bidimensionals, i, de l'altra, requereix que la forma a introduir hagi estat prèviament dibuixada amb precisió, cosa que resulta un contrasentit si estem en fase de creació i, per tant, només disposem de croquis a mà alçada [1].

Fins i tot en el supòsit que disposéssim de plànols, a escala, de l'objecte, suficientment detallats perquè no fossin ambigus -cosa difícil, com ja hem comentat-, la formació d'una representació tridimensional en model de fronteres, mitjançant digitalitzador, és tan extraordinàriament difícil de realitzar per part de l'usuari, que, per poc complexa que sigui la forma, ràpidament esdevé impossible.

En el camp dels sistemes de modelatge geomètric, hi ha, bàsicament, dues vies diferents per introduir informació tridimensional: l'extracció de formes, a partir d'un arxiu de primitives, i les tècniques d'escombrat.

L'ús de biblioteques de primitives és la forma d'entrada característica dels sistemes que utilitzen representació interna en model CSG o en model d'instanciació de primitives, però també el fan servir alguns sistemes basats en model de fronteres. És una forma d'entrada molt còmoda, en principi, de cara a l'usuari, ja que aquest només ha d'assenyalar, dins d'un menú, quina primitiva desitja i introduir els paràmetres corresponents. La contrapartida a aquestes facilitats està en el fet que el procés de creació de forma és bastant laboriós, degut a la limitació del repertori formal que pot oferir l'arxiu.

Pel que fa a les tècniques d'escombrat [10], [47], [49], la idea és: Definida una poligonal bidimensional tancada, desplaçar-la segons una certa trajectòria preestablerta i en una longitud de desplaçament fixada a voluntat. El volum "escombrat" per la poligonal, en el seu desplaçament, és fàcilment representable en model de fronteres.

Atenent a la trajectòria, els escombrats més comunament usats són: el de translació i el de rotació (fig. 2.11). Ambdós requeriran, naturalment, la definició de la poligonal generatriu, la qual pot fer-se des de teclat, amb l'ajut d'algun sistema bidimensional. A partir d'aquí, l'escombrat de translació requereix la definició d'un vector que indiqui la trajectòria i longitud d'escombrat, mentre que, per al de rotació, caldrà donar l'eix de gir i l'angle d'aquest.

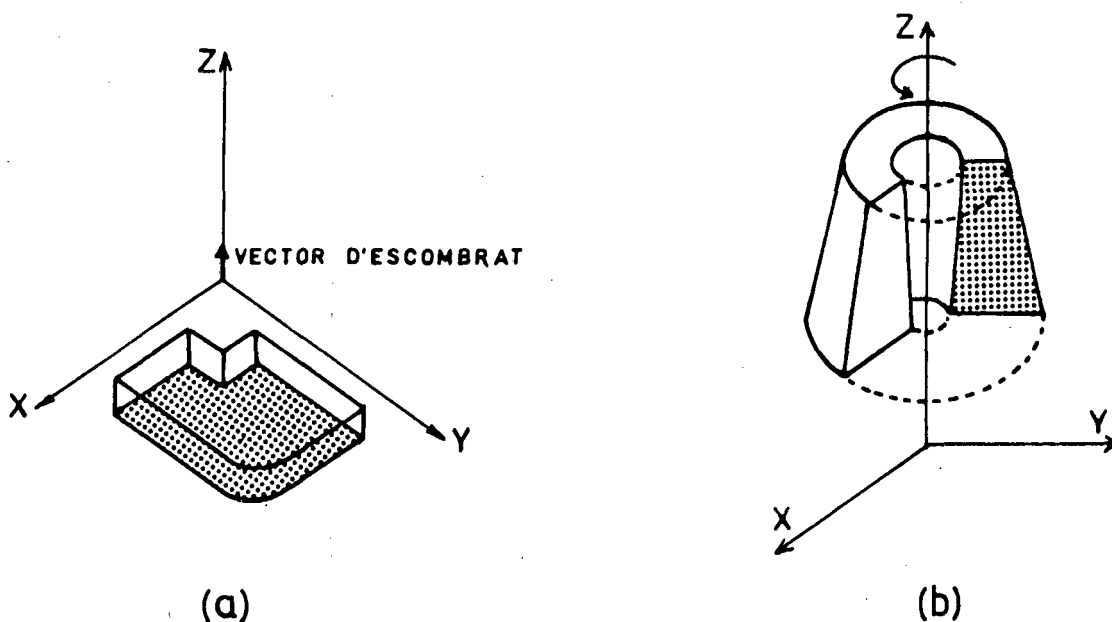


Figura 2.11 Escombrats: a) de translació; b) de rotació.

Les tècniques d'escombrat tenen l'avantatge de possibilitar un repertori formal d'entrada molt més ampli que no pas les biblioteques de primitives, sistema que pot requerir un nombre important d'operacions per generar una forma que, amb escombrat, pot generar-se d'entrada. Amb escombrats, les formes d'entrada no són ambigües i el seu domini està limitat a les formes amb simetria translacional o rotacional.

Les tècniques d'escombrat són comunament usades, com a via d'entrada, pels sistemes amb representació per model de fronteres [14].

A més a més d'una (o d'ambdues) de les vies d'entrada bàsiques que hem exposat, alguns sistemes de modelatge de sòlids utilitzen, addicionalment, els anomenats operadors d'Euler [11], [32], que permeten incloure o eliminar -aïlladament- vèrtexs, arestes o cares, encarregant-se el sistema de comprovar, en tot moment, la validesa del model (fig. 2.12).

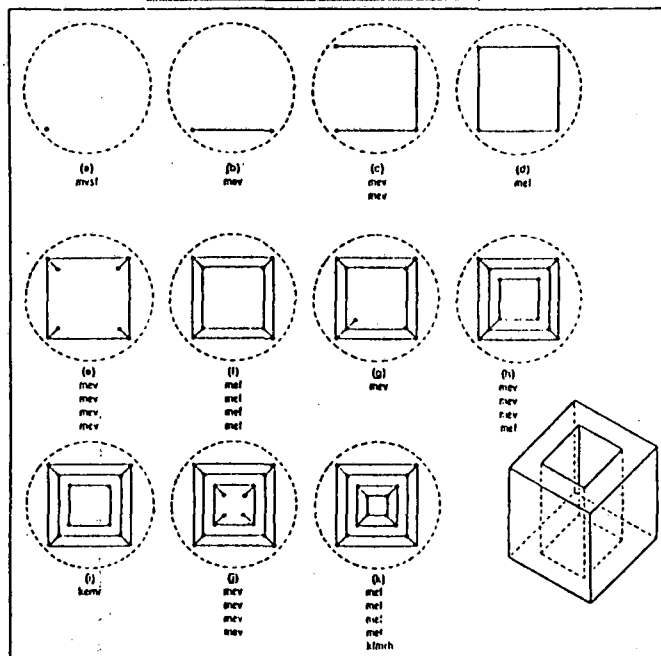


Figura 2.12 Procés de definició d'una forma mitjançant els Operadors de Euler [31].

Operacions de transformació i composició.

Mitjançant les operacions d'entrada, hem vist que es poden introduir formes primàries (primitives), cridant-les d'un arxiu o generant-les de bell nou, però aquestes formes no són més que components d'una altra de més complexa que és la de l'objecte final que pretenem dissenyar o representar mitjançant un model-3D. En aquest apartat, ens ocuparem del conjunt d'operacions bàsiques que permeten arribar a la forma complexa desitjada, a partir de les primitives introduïdes.

Una de les operacions bàsiques amb què ha de comptar un sistema de modelatge de sòlids és la **secció plana**, ja que, sovint, la primitiva seleccionada o generada no tindrà exactament la forma desitjada i, per obtenir-la, caldrà practicar-li alguns escapçats (fig 2.13).

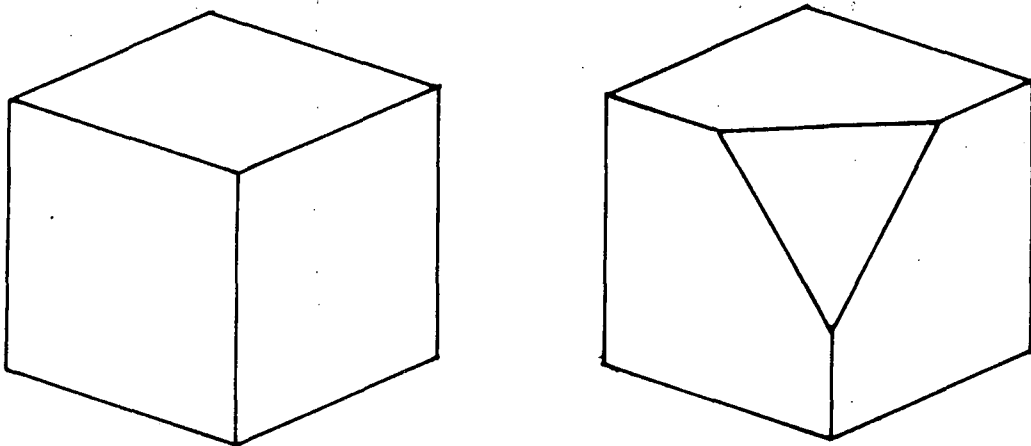


Figura 2.13 El sòlid de la dreta no pot obtenir-se a partir d'un escombrat, però pot generar-se fàcilment escapçant el sòlid de l'esquerra.

Una altra operació, potser no tan fonamental, però si forga convenient, és la **simetria**, que permet aprofitar primitives asimètriques, ja arxivades, per generar-ne la seva forma simètrica, sense haver-la de formar de bell nou, i permet també el modelatge de formes amb simetria per fusió d'una meitat amb la seva simètrica.

Absolutament fonamentals, són les **transformacions geomètriques de moviment** (girs i translacions) les quals permeten posicionar les primitives a l'espai, en la ubicació

desitjada per l'usuari [22], [50].

Per últim, són també imprescindibles les operacions **booleanes** de reunió, intersecció i diferència, que permeten compondre les primitives, per tal d'anar generant formes més complexes que, a la vegada, seran compostes amb noves primitives fins arribar a la forma desitjada [5], [48], [56].

Conclusió.

En aquest punt de l'anàlisi, resulta clar que, per assolir l'objectiu proposat del traçat informatitzat de la perspectiva curvilínia de pantalla cilíndrica, caldrà dissenyar dos sistemes informàtics. En primer lloc, un sistema de modelatge de sòlids que permeti totes -o la major part- de les operacions exposades en aquesta secció, i destinat a generar, amb certa facilitat, el model-3D dels conjunts arquitectònics a representar. En segon lloc, caldrà dissenyar un sistema per visualitzar els models-3D en perspectiva de pantalla cilíndrica, d'acord amb els criteris fixats quant a l'expressió gràfica de tals visualitzacions.

Noti's que parlem de dos sistemes i no d'un sistema amb dues parts, ja que els models-3D obtinguts mitjançant el sistema de modelatge no condicionen, en absolut, el tipus de visualització, i són, per tant, susceptibles d'ésser visualitzats amb qualsevol projecció, cilíndrica o cònica, i sobre qualsevol pantalla: plana, cilíndrica, esfèrica, etc.. En canvi, el segon sistema sí que contempla, únicament i de forma específica, la visualització mitjançant perspectiva curvilínia de pantalla cilíndrica, però seria únicament un estudi teòric, sense possible comprovació, si no disposéssim prèviament d'un sistema de modelatge, i entenem que, en un treball com aquest, la comprovació és imprescindible.

2.5 ESTRUCTURA DEL MODEL.

Ja hem esmentat que el model de fronteres és, en realitat, un model de filferro que, a més a més, guarda informació de les cares i polígons de l'objecte. Ara bé, mentre que l'estructura d'informació del model de filferro és molt clara i única (llista de coordenades dels vèrtexs + llista d'arestes, representades pel seus vèrtexs), en el model de fronteres, l'estructura admet força disposicions diferents, atès que aquesta informació de cares i polígons es pot donar de moltes maneres i fàcilment es produeixen redundàncies, ja que, sovint, hi ha informació que és deduïble d'altra informació.

En una primera aproximació, podríem pensar que la millor estructura és la més compacta, és a dir, la que guarda menys i, per tant, ocupa menys memòria, però això pot ésser un judici precipitat. En efecte, guardar poc pot significar repetir uns mateixos càlculs centenars o mil.lers de vegades en un procés. En tot sistema informàtic, s'ha de tendir a un equilibri entre la memòria ocupada i el temps de processat i, sovint, els estalvis en memòria es paguen amb temps de processat i viceversa. Per això és difícil, sobre el paper, establir una estructuració idònia per a un model de fronteres, i entenem que, dins d'aquest criteri d'equilibri temps-memòria, l'estructuració de la informació depèn de la utilització preferent prevista i dels algorismes utilitzats per a la generació de forma, els quals poden optimitzar-se amb petites ampliacions del model.

Estructura adoptada.

Exposarem seguidament l'estructura amb què es disposa la informació en el model de fronteres adoptat per als dos sistemes que es proposen. No cal dir que es tracta d'un punt fonamental i imprescindible per al seguiment dels següents capítols, en els quals hi farem constants referències.

La primera cosa que hem de dir és que es tracta d'un model ampli que presenta evidents redundàncies. Els motius d'aquesta amplitud són diversos. D'una banda, cal considerar que el model té, en el nostre cas, un únic objectiu: visualitzar; i fer-ho amb eliminació de línies ocultes mitjançant algorismes d'espai objecte, algorismes que, com s'exposarà en el capítol 4, requereixen fer repetidament un seguit de càlculs que poden resultar molt simplificats si el model conté certes informacions addicionals, encara que siguin redundants. Aquests requeriments dels algorismes de visualització, juntament amb d'altres consideracions que

s'exposaran en el proper capítol, ens han induït a dissenyar uns algorismes per al sistema de modelatge que es basen també en les ampliacions del model estricte que s'han previst per optimitzar el procés de visualització.

Per últim, i sense que això invalidi cap dels algorismes desenvolupats ni anul·li el sentit de l'estructura adoptada, hem d'admetre que la poca adequació als objectius proposats de l'equip amb què hem treballat ha influït, de forma notòria, en la concepció de l'estructura del model adoptat. En efecte, el desig de treure el màxim rendiment possible a l'escassa capacitat de la memòria disponible ha portat a plantejar una gestió directa d'aquesta, des del propi programa. Això obliga a realitzar, durant el procés, constants conversions de números des de base decimal a base 256 i viceversa, i a calcular les adreces de memòria on es posicionen aquests números, cosa que comporta un sensible increment del temps de processat.

Aquesta lentitud de processament determina una certa actitud gasiva a l'hora de despendre's d'informació -l'elaboració de la qual ha comportat uns càlculs i, per tant, un consum de temps- quan es preveu que aquesta informació serà requerida novament en diverses fases del procés.

Una altra característica del model adoptat, que cal assenyalar, abans de descriure'l amb major detall, és que el seu domini s'estén només al camp dels sòlids limitats per cares planes. Ja hem dit, però, que això és un fet bastant habitual en sistemes de modelatge de sòlids, molts dels quals tracten les superfícies (generalment quàdriques) per mitjà d'aproximacions amb cares planes [6], [14]. Com ja hem comentat, la diferent estructura d'informació requerida per les quàdriques, respecte de la de les cares planes, fa difícil el tractament d'escenes mixtes, tant a les operacions de modelatge com a les de visualització, que també es veuen considerablement complicades en aquests casos. De fet, és també habitual que els diferents algorismes d'espai objecte, per a l'eliminació de línies ocultes, tractin només escenes formades per cares planes, atesa la simplificació del procés que això comporta.

En el cas de la perspectiva de pantalla cilíndrica, el tractament de quàdriques encara és més complex, ja que les seves seccions i contorns, en projectar-se sobre la pantalla cilíndrica, generen corbes de quart grau, de difícil i laboriosa determinació, que, en el nostre cas, comportaria temps de processat certament molt alts.

Una altra característica, que cal assenyalar, és que, atès l'objectiu -obtenir representacions en perspectiva de pantalla cilíndrica- amb què, per a aquest treball, són creats els models, la informació de l'escena és estructurada

de forma indivisa, és a dir, l'objecte és la pròpia escena i, per tant, aquesta no és contemplada com una composició d'objectes potencialment independitzables en un moment donat.

Partint, doncs, d'aquesta arrel que anomenem escena, la informació del model s'estructura bàsicament en forma d'arbre, com s'il·lustra a la figura 2.14, amb el suport d'algunes estructures auxiliars que seran també comentades.

Vectors normals.

Després de la pròpia escena, els elements més generals de l'estructura són els vectors normals als plans. Aquests vectors representen famílies de plans paral·lels. Tant durant les operacions de modelatge com, més tard, en els algorismes d'eliminació de línies ocultes, són necessaris els vectors normals a les cares. Els seus components són calculables a partir de tres vèrtexs no alineats de la cara, si bé el seu signe -que ha d'apuntar al semiespai des d'on el pla ha d'ésser visible- no és de càlcul tan immediat, ja que depèn de si l'angle que determinen els tres vèrtexs és convex o és còncav. Si els vectors normals no s'inclouen en el model, aquest càlcul s'ha de repetir un gran nombre de vegades.

El cert és que, en una mateixa escena arquitectònica, rarament hi trobarem més de 40 famílies diferents de plans paral·lels. Podem fixar, doncs, un màxim de 50 vectors normals, cosa que implica una ocupació de memòria de 600 bytes, per aquest concepte, que resulta plenament compensada amb estalvi de temps i simplificació de processos.

Quant al signe d'aquests vectors normals, vindrà donat pel del corresponent al primer pla definit de cada família.

L'estructura de la llista de vectors normals és l'habitual en magnituds vectorials, és a dir, una taula amb tres columnes, una per a cada component del vector, i tantes files com vectors es preveuen.

Plans.

El següent nivell de l'arbre és el dels plans. L'objectiu d'aquest nivell és el d'agrupar en paquets totes les cares coplanàries.

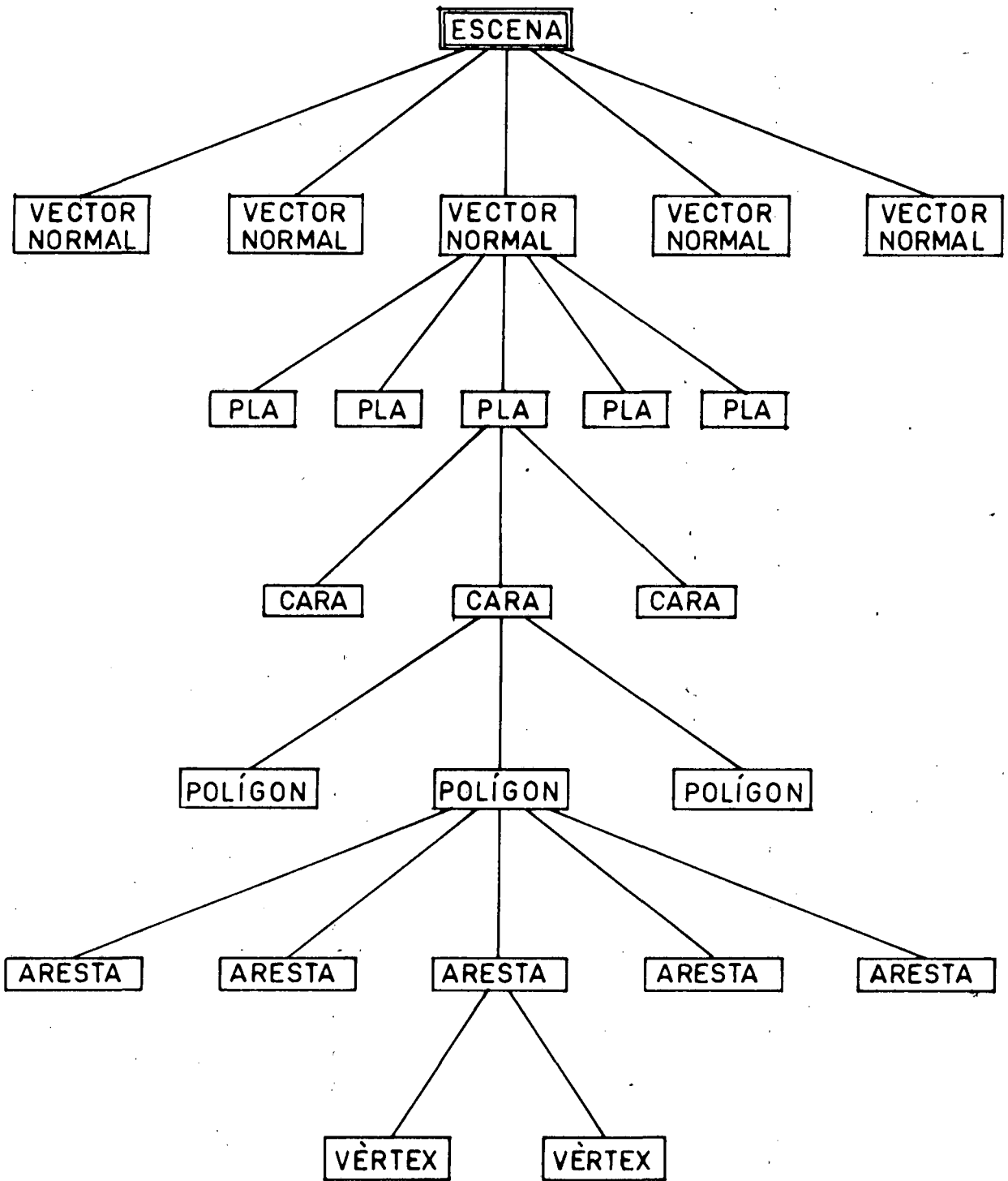


Figura 2.14 Estructura general del model adoptat.

En formes arquitectòniques, és molt freqüent la presència de cares pertanyents a un mateix pla, i la seva agrupació permet escurçar molts processos. Per exemple, si un punt està al davant o al darrere d'un pla, ho està de totes les cares del pla. Si les cares no estessin agrupades, caldria comprovar la posició del punt, per a cada cara de forma individual, és a dir, repetir el mateix procés tantes vegades com cares contingui el pla.

L'estructura de la informació dels plans la formen tres números per a cada pla:

- a.- un apuntador del seu vector normal (enter).
- b.- el terme independent de l'equació del pla (real).
- c.- el nombre de cares que conté el pla (enter).

La primera dada remet a la llista de vectors normals i, juntament amb la segona, permet disposar en tot moment de l'equació del pla, la qual és necessària per a diversos processos. L'apuntador de vector normal ha de portar signe, ja que el vector que representa la família de plans paral·lels a què pertany el pla porta el signe corresponent a l'orientació del primer pla de la família. Pot passar, però, que el nou pla tingui una orientació diferent ja que hagi d'ésser vist per l'altre cantó. En tal cas, l'apuntador de vector normal haurà d'ésser negatiu.

La tercera dada va dirigida a determinats processos, que s'exposaran en els següents capítols, els quals requereixen la ràpida formació de la llista de cares del pla.

Cares.

Com ja hem definit anteriorment, les cares són agrupacions d'un o més polígons coplanaris, tals que un d'ells conté a tots els altres.

El control de les cares es basa en dues llistes organitzades per plans. La primera llista fa referència a les cares pròpiament dites, i en ella es reserven 40 files per a cada pla, ja que s'ha limitat a 40 el nombre de cares per pla. La segona llista és destinada als polígons interiors a cares, i s'hi reserven 80 espais per a cada pla, atès que aquest és el nombre màxim d'aquests polígons que s'ha previst que pugui haver-hi en un mateix pla. En endavant, els polígons interiors a cares els anomenarem "forats", encara que puguin correspondre a protuberàncies (vegi's la figura 2.7), ja que, a efectes d'eliminació de línies ocultes, uns i altres es comporten de forma idèntica. De manera que parlarem de llista de cares i llista de

forats.

L'estructura de la llista de cares ve formada per tres números enters, dos dels quals no poden ésser majors de 80 i, per tant, aquesta estructura requereix una ocupació de 4 bytes per cara.

Els esmentats números corresponen als conceptes següents:

a.- Posició del polígon frontera de la cara a la llista de polígons.

b.- Nombre de forats de la cara.

c.- Posició del primer a la llista de forats.

Quant als forats, s'estructuren en una llista en la qual, a cada segment de 80 espais, reservats per pla, s'hi situen les corresponents posicions a la llista de polígons dels forats del pla, agrupats correlativament per cares.

El funcionament d'aquestes estructures és esquematitzat a la figura 2.15.

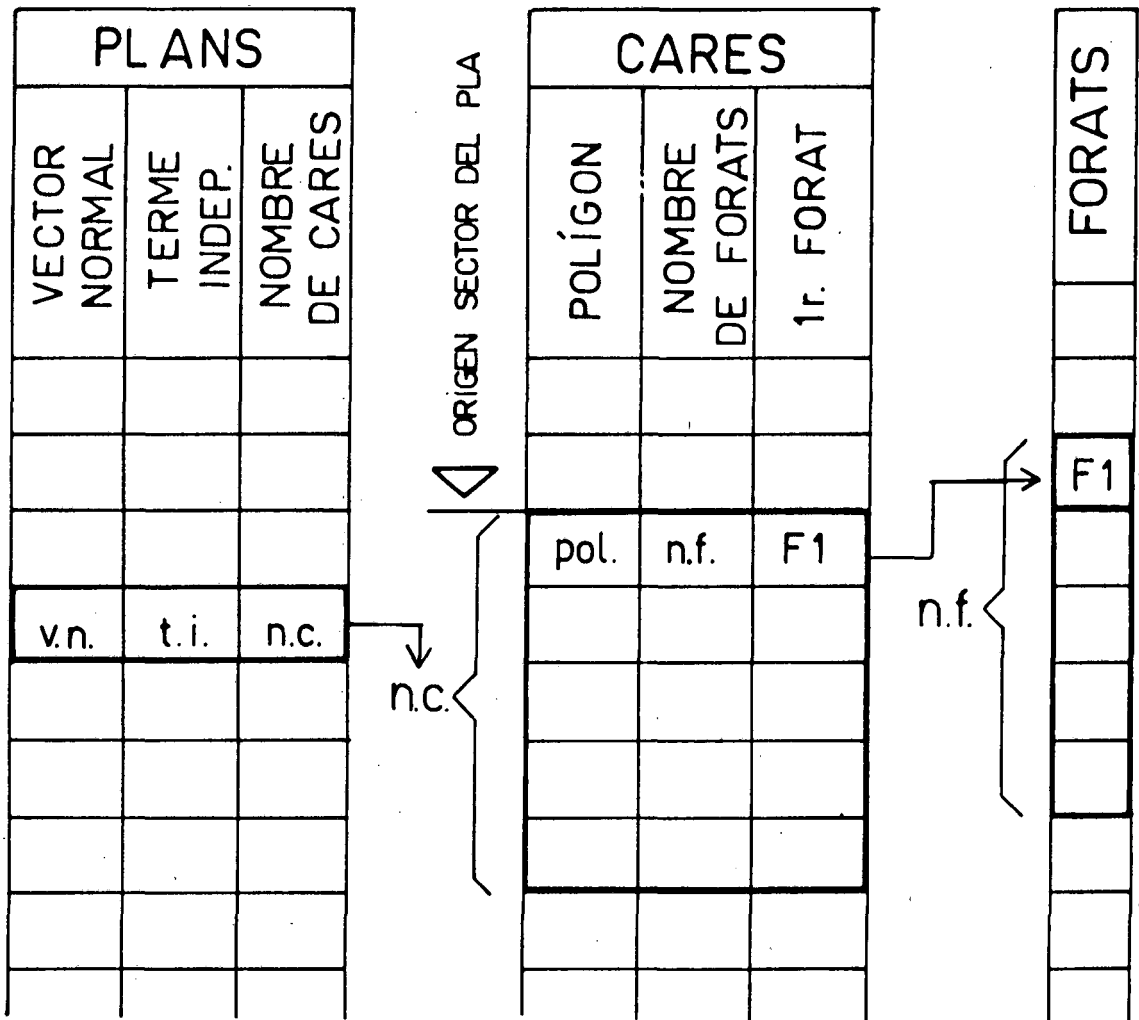


Figura 2.15

Polígons.

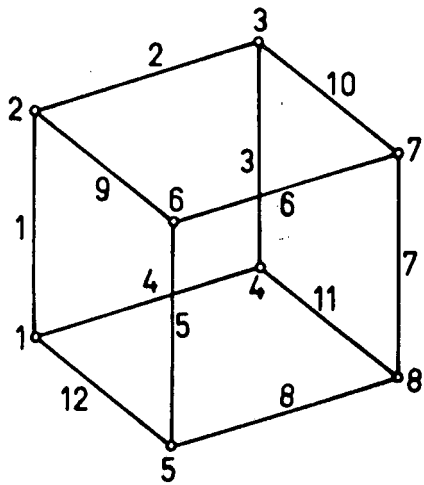
Tant per als algorismes d'eliminació de línies ocultes com per al propi procés de modelatge, és precís que els elements dels polígons estiguin ordenats en un determinat sentit de gir. Anomenarem cicle tot polígon així ordenat, i escollirem, per sentit d'ordenació, l'antihorari, per als polígons cares, i l'horari per als forats.

Un punt cabdal del model és la descripció d'aquests cicles o polígons orientats. Val a dir que aquest és, sens dubte, l'aspecte més redundat de l'estructuració del model adoptat, però, malgrat tot, constitueix una de les subestructures que més joc donen en els diferents processos dels dos sistemes. L'estructura consta de dues grans llistes, organitzades per paquets, on cada paquet correspon a un cicle. A la primera llista, els paquets contenen la successió ordenada dels vèrtexs del cicle corresponent, mentre que, a la segona, els cicles són descrits per les seves arestes.

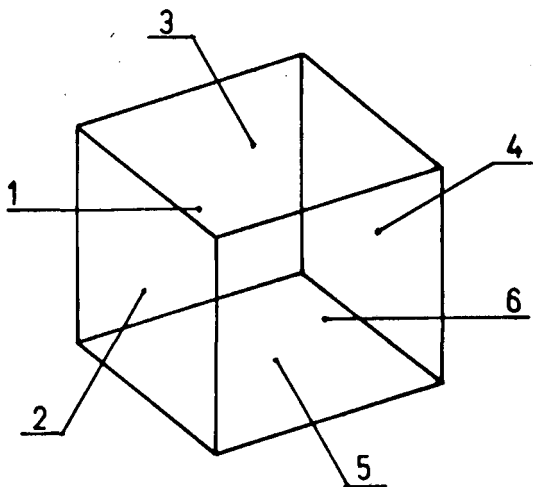
Ambdues llistes són paral·leles i estan estretament relacionades, de manera que el vèrtex que ocupa el lloc i -èsim, en el paquet de vèrtexs, és el vèrtex inicial de l'aresta i -èsima de la llista d'arestes.

A diferència de les agrupacions de cares i forats per plans, que eren limitades a un màxim de 40 cares/pla i 80 forats/pla, respectivament, els polígons no tenen límit de vèrtexs, i, per tant, en acabar el paquet de vèrtex (arestes) corresponent a un cicle, comença immediatament el del següent (vegis "control de cicles" a l'apartat següent). D'aquesta manera, no queden buits a les respectives llistes, aprofitant millor la memòria. La contrapartida és que, durant les operacions de modelatge, ambdues llistes han d'ésser actualitzades repetidament, ja que, o bé hi ha cicles que desapareixen, o bé d'altres modifiquen la seva configuració i, per tant, el seu nombre de vèrtexs.

La figura 2.16 exposa la descripció dels cicles d'un cub segons l'estructura de llistes de paquets de vèrtexs i d'arestes.



NUMERACIÓ DE VÈRTEX I ARESTES



NUMERACIÓ DE CICLES

VÈRTEXS		ARESTES
1	cicle 1	1
2		2
3		3
4		4
2	cicle 2	1
1		12
5		5
6		9
3	cicle 3	2
2		9
6		6
7		10
4	cicle 4	3
3		10
7		7
8		11
1	cicle 5	4
4		11
8		8
5		12
5	cicle 6	8
8		7
7		6
6		5

Figura 2.16

Control de cicles.

L'anterior estructura comentada és destinada a la descripció dels cicles, però, per poder-hi accedir, fa falta una llista general de cicles, formada per les següents tres dades -totes enteres- per a cada cicle:

- a.- nombre de vèrtexs del cicle.
- b.- posició del primer vèrtex a la llista de paquets.
- c.- pla a què pertany el cicle.

Les dues primeres dades permeten localitzar i llegir els respectius paquets de vèrtexs i arestes del cicle. La tercera dada, referida al pla sobre el qual es troba el cicle, va afectada de signe, que serà positiu si la seva orientació coincideix amb l'orientació del pla -definida pel primer cicle que s'hi va posar- i negatiu en cas contrari. D'aquesta manera, es té accés immediat al vector normal exterior al cicle, necessari -com es veurà- en més d'un procés.

Arestes.

El següent node de l'arbre del model correspon a la informació de les arestes. La seva estructura està formada per cinc apuntadors enters, corresponents a les dades següents:

- a.- apuntador de vèrtex inicial.
- b.- apuntador de vèrtex final.
- c.- apuntador del cicle a què pertany l'aresta i en el qual és llegida en sentit antihorari.
- d.- apuntador de l'altre cicle de l'aresta.
- e.- apuntador de direcció.

L'organització de les quatre primeres dades és il·lustrada a la figura 2.17 i no precisa un major comentari. En canvi, sí que convé estendre's més àmpliament en el sentit de la cinquena dada. És molt freqüent, al llarg dels processos d'ambdós sistemes, que calgui fer interseccions entre arestes, o entre arestes i plans, o, simplement, faci falta saber si dues arestes són paral·leles o no. En tots aquests casos, és indispensable disposar dels vectors directors de les arestes implicades. Naturalment, amb la informació facilitada pels dos primers apuntadors i les coordenades

dels vèrtexs, aquests vectors directors són fàcilment calculables, però aquest càlcul haurà de repetir-se constantment al llarg del procés. D'altra banda, el nombre d'arestes amb direccions diferents que poden trobar-se en una mateixa escena arquitectònica, és petit en general i no és de preveure que sigui mai superior a 40. Sembla rendible, doncs, addicionar al model una estructura auxiliar destinada a la informació dels vectors directors d'arestes, ja que l'ocupació de memòria que això comporta és poc important, mentre que els estalvis de temps obtinguts poden ser notables.

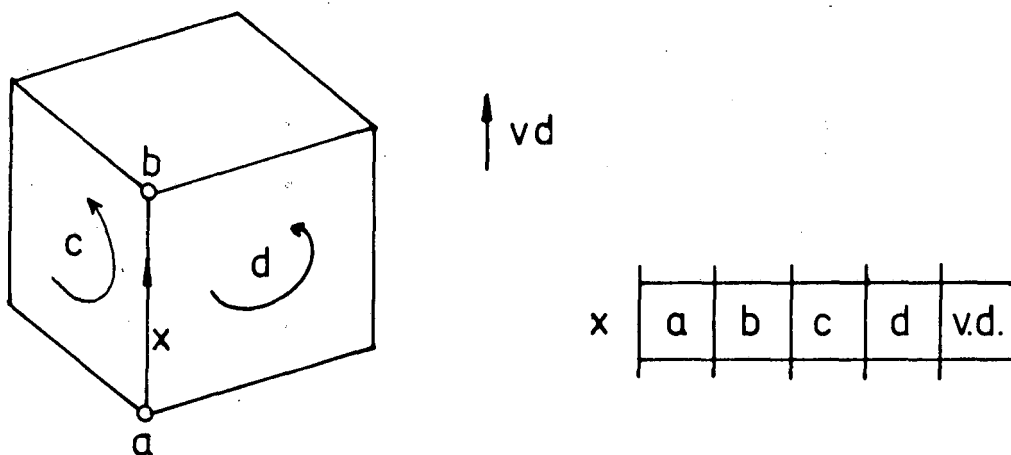


Figura 2.17 Estructura de la informació d'una arista x.

L'apuntador de direcció de cada arista assenyala, doncs, el seu vector director i va afectat de signe, ja que cada família de rectes paral.leles queda representada pel vector director de la primera arista de la família, i, per tant, el seu sentit és el d'aquesta. En conseqüència, si l'aresta porta sentit invers al del representant, el seu apuntador de vector director portarà signe menys.

Vèrtexs.

L'últim nivell de l'arbre el formen els vèrtexs. La seva informació s'estructura en una taula amb les tres coordenades de cada vèrtex.