Visualització

PID_00246185

Francisco Hernández Abad
Manuel Ochoa Vives
Vicente Hernández Abad
Carles Farré Desongles

Temps mínim de dedicació recomanat: 6 hores

Universitat Oberta de Catalunya

Cap part d'aquesta publicació, incloent-hi el disseny general i la coberta, no pot ser copiada, reproduïda, emmagatzemada o transmesa de cap manera ni per cap mitjà, tant si és elèctric com químic, mecànic, òptic, de gravació, de fotocòpia o per altres mètodes, sense l'autorització prèvia per escrit dels titulars del copyright.

Índex

1. Sistemes de projecció 5
1.1. Introducció a les projeccions 5
1.2. Projeccions planes. Elements que intervenen 5
1.3. Acció de projectar 8
1.4. Elements geomètrics per a projectar 10
1.5. Direcció de projecció 11

2. Projeccions axonomètriques ortogonals 13
2.1. Introducció 13
2.2. Projectar un objecte 13
2.3. Girar el sistema 14
2.4. Alinear la imatge 15
2.5. Propietats de les projeccions cilíndriques ortogonals 16
2.6. Posicions especials: perspectiva isomètrica, dimètrica i trimètrica 18
2.7. Vistes especials (alçat, planta i perfil) 22

3. Projeccions axonomètriques obliqües 30
3.1. Introducció 30
3.2. Perspectives obliqües degenerades 30
3.3. Perspectiva cavallera 31
3.4. Perspectiva militar 36

4. Projecció central o cònica 38
4.1. Consideracions prèvies 38
4.2. Elements que intervenen. Característiques 38
4.3. Punts de fuga en les perspectives còniques 40
4.4. Cònica frontal o d'un punt de fuga 44
4.5. Perspectiva cònica amb dos punts de fuga 45
4.6. Perspectiva cònica amb tres punts de fuga 48

5. Estudi, característiques i comparació dels diferents mitjans 52
5.1. Introducció 52
5.2. Visió 52
5.3. Càmera fotogràfica 53
5.3.1. Distància focal i objectius 55
5.3.2. Angle de visió, camp visual (FOV) 56
5.3.3. Profunditat de camp 57
5.4. Càmeres sintètiques 59
5.4.1. Volum de càmera 61
5.4.2. Línia d'horitzó 62
5.4.3. Plans de retall 64

5.4.4. Profunditat de camp, trets d'entorn 67
5.4.5. Imatges fotogràfiques de fons 68
5.5. Distorsions perspectives, òptiques 70
5.6. Tractament de les càmeres sintètiques en els programes informàtics. Tipus de càmeres 71
5.7. Transformació 72

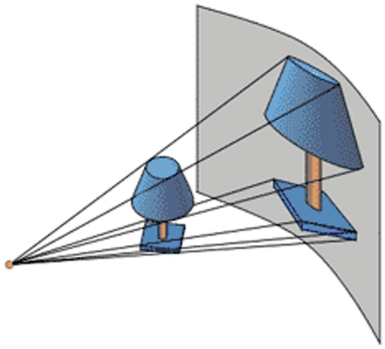
Exercicis d'autoavaluació..... 75

Solucionari..... 77

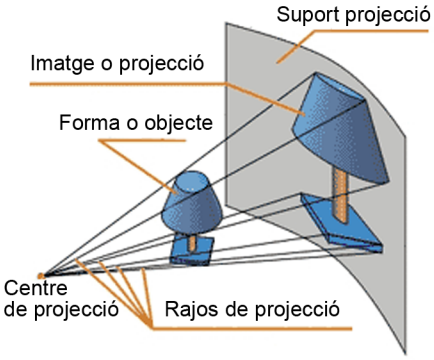
1. Sistemes de projecció

1.1. Introducció a les projeccions

Atès que només disposem d'un pla mitjà per a mostrar els objectes reals de l'espai (la pantalla de l'ordinador), és obligat recórrer a tècniques que ens permetin conèixer-ne o intuir-ne les formes, i així compensar la falta d'una tercera dimensió. Entre aquestes tècniques, n'hi ha una que tracta de representar la forma utilitzant únicament línies (sistemes de projecció) i serveix de base per a altres en les quals els colors representen un paper més important (sistemes que permeten simular la realitat, amb tècniques d'il·luminació, ombrejat (*shading*), assignació de trames, animació, etc.).



Exemple de projecció no plana

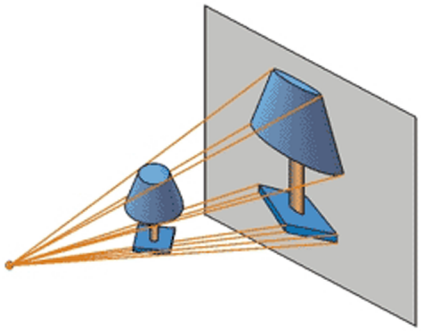


Elements que intervenen en una projecció.

1.2. Projeccions planes. Elements que intervenen

Són sistemes de projecció plana els mètodes que s'empren per a obtenir les imatges de les formes espacials en un pla. En una primera fase, consideren únicament la seva forma geomètrica (en especial, línies que representen arestes i contorns de les superfícies exteriors dels objectes), prescindeixen d'altres

característiques o atributs com el color, el material, la il·luminació o l'acabat de les superfícies, entre altres, i s'utilitzen com a base per a fer després representacions més sofisticades.



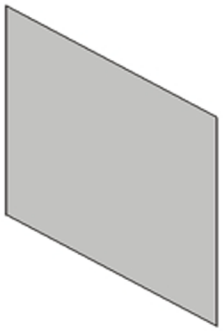
Exemple de projecció plana

Per a endinsar-nos en el tema de les projeccions planes, és convenient definir breument els elements més importants implicats en el procés. Una manera molt intuïtiva de fer-ho és mitjançant un exemple, per la qual cosa prendrem l'exemple que mostra la imatge anterior i anirem aclarint conceptes amb imatges separades dels diferents elements que hi intervenen:

Forma espacial. És l'objecte o objectes la projecció, la imatge o la perspectiva dels quals volem obtenir com a resultat de l'acció de projectar o visualitzar.

Objecte que volem projectar (element integrant d'una projecció plana).

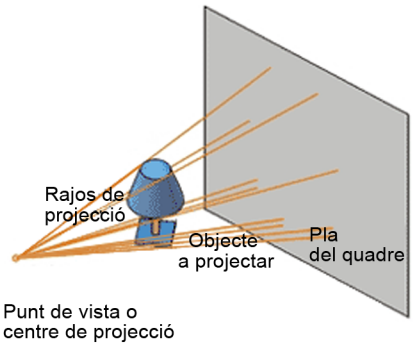
Suport per a la visualització. Serà sempre un pla que denominarem indistintament *pla de projecció*, *pla suport*, *pla imatge* o *pla del quadre*, i que al final del procés contindrà la figura plana projectada, objectiu del procés de projectar els objectes.



Vista obliqua del pla de projecció o del quadre

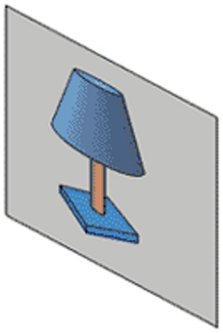
Punt de vista o centre de projecció. És el lloc des d'on es visualitza l'objecte per a projectar-lo sobre el pla del quadre. En el nostre exemple està situat relativament a prop del pla de projecció (a distància finita), però pot estar situat molt allunyat (distància infinita).

Rajos de projecció. Són rectes que passen per vèrtexs, arestes o superfícies dels objectes des del punt de vista fins al pla suport.



Vista obliqua del punt de vista i els rajos de projecció

Projecció o perspectiva. Serà la imatge plana que vol representar la forma espacial i que s'obté mitjançant l'acció de projectar seguint un dels diferents mètodes existents. Queda continguda en el pla de projecció i és el resultat que podem veure en el paper quan el situem davant nostre. En el seu traçat final gairebé sempre es menysprea la part no visible o zona oculta perquè la seva interpretació sigui més propera a la realitat.



Vista obliqua de la projecció, imatge o perspectiva

En la figura anterior es podia veure la projecció de l'objecte escollit des d'una posició obliqua (la qual cosa implica que no és realment la projecció que s'obté sobre el pla del quadre, ja que la veiem distorsionada). En la figura següent podem veure la mateixa imatge però situada frontalment i que, per tant, és el resultat sense distorsió de projectar l'objecte esmentat sobre el pla del quadre.

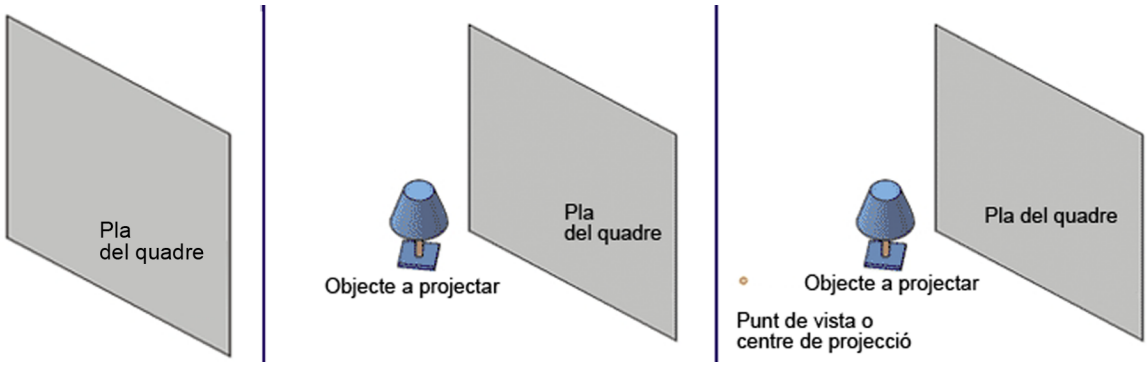
Vista frontal de la projecció, imatge o perspectiva obtinguda

1.3. Acció de projectar

Són les tècniques que s'utilitzen per a aconseguir que els objectes o formes espacials quedin reflectits com a imatges en el pla suport.

Per a il·lustrar el procés, es presenta una seqüència d'imatges del mateix exemple anterior amb els passos successius i posteriorment s'aclareix el concepte de direcció de projecció.

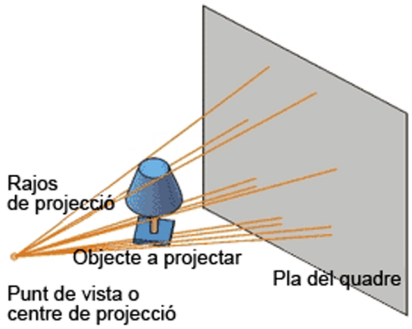
En primer lloc, es posicionen els elements que intervenen en la projecció, és a dir, situem el pla del quadre, l'objecte que volem projectar i el centre de projecció (o punt de vista) des del qual projectarem. Encara que no cal que la disposició sigui la mateixa, la figura següent mostra una de les posicions relatives més freqüents (centre de projecció, objecte, pla del quadre).



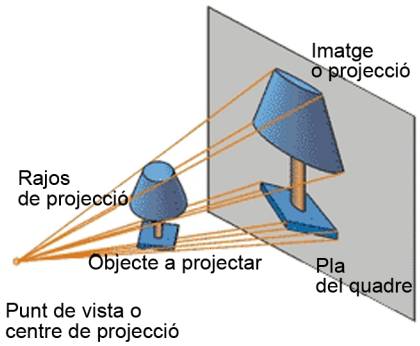
Posicionament relatiu previ a l'acció de projectar

També serien possibles altres disposicions, com el pla del quadre, el centre de projecció, l'objecte o centre de projecció. Entre aquestes, podem relacionar la primera disposició amb la fotografia, com veurem al final d'aquest capítol, i la segona, amb la imatge que dibuixaríem en un vidre quan mirem (projectem) a través d'aquest.

En el nostre exemple, el pas següent consisteix a llançar rajos de projecció des del punt de vista, passant pels vèrtexs, les arestes i les superfícies de l'objecte, fins a obtenir-ne la intersecció contra el pla del quadre, la qual cosa produeix la imatge dins d'aquest.



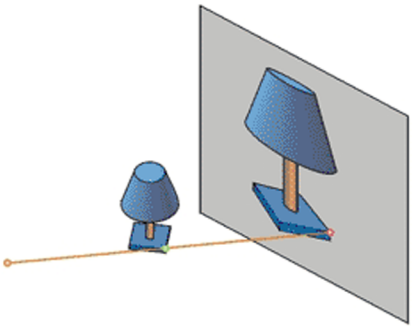
Acció de projectar. Llançament de rajos de projecció



Acció de projectar. Obtenció de la imatge o projecció

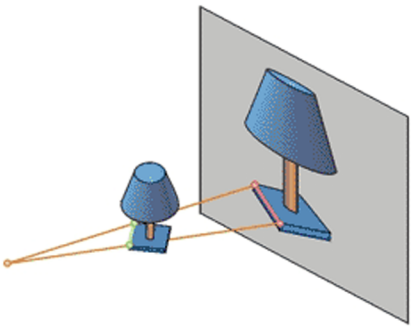
1.4. Elements geomètrics per a projectar

Punts. El resultat de projectar un punt o vèrtex de l'objecte és un altre punt, que s'obté com a intersecció del raig de projecció que passa pel punt esmentat contra el pla del quadre.



Obtenció de la projecció d'un vèrtex de l'objecte

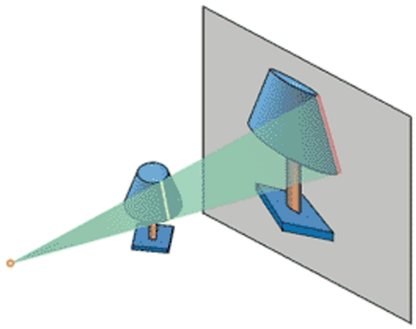
Rectes o segments. El resultat de projectar una recta o un segment és una altra recta o un altre segment, que s'obté amb la unió de les projeccions dels seus extrems.



Obtenció de la projecció d'un segment o una aresta de l'objecte

Superfícies. Les superfícies no es projecten sinó per mitjà de les projeccions dels elements que les integren (fonamentalment línies).

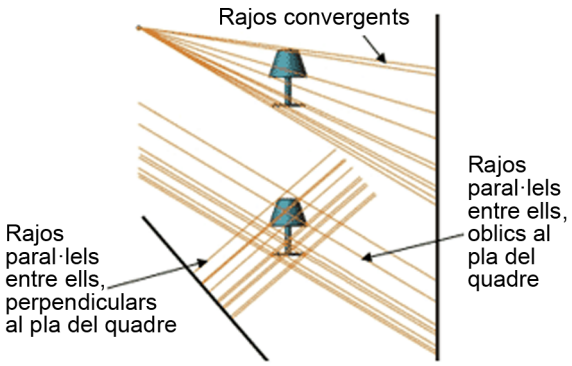
Si la superfície és plana, els seus límits són segments o corbes. Si la superfície no és plana, de vegades la seva projecció produeix línies de contorn, que no són més que la unió dels punts resultants de projectar els límits de les superfícies esmentades amb rajos de projecció tangents a aquestes superfícies. La figura adjunta mostra una de les línies que es generen en projectar la superfície lateral del tronc de con en l'objecte. Com es pot veure, en aquest cas el que genera la línia projectada no és una aresta definida en l'objecte, sinó el seu contorn (en aquest cas, una generatriu lateral del tronc de con).



Contorn en la projecció de superfícies de l'objecte

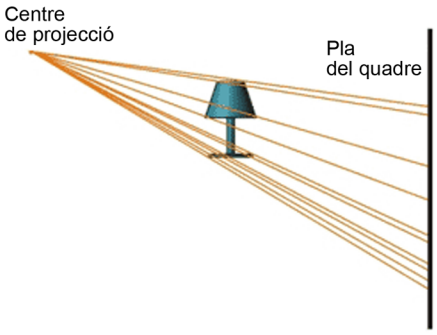
1.5. Direcció de projecció

Els rajos de projecció (observeu la figura adjunta) poden ser:



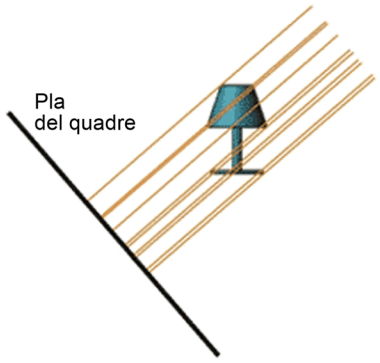
Direccions dels rajos de projecció respecte al pla del quadre

Convergents entre ells, la qual cosa significa que tots passen per un mateix punt, denominat *centre de projecció* o *punt de vista*, la qual cosa dóna lloc a les **projeccions centrals o còniques**.



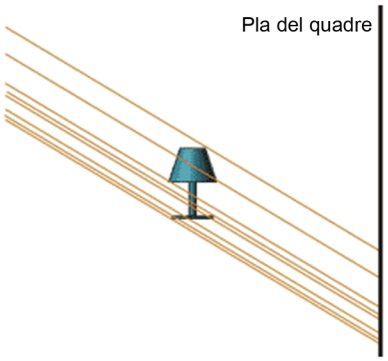
Rajos convergents: projecció central o cònica

Paral·lels entre ells i perpendiculars al pla del quadre, la qual cosa dóna lloc a les **projeccions axonomètriques ortogonals** (també denominades **projeccions cilíndriques ortogonals**).



Rajos perpendiculars al pla del quadre: projecció cilíndrica ortogonal

Paral·lels entre ells i oblics respecte al pla suport, la qual cosa dóna lloc a les projeccions **axonomètriques obliqües** (també denominades *projeccions cilíndriques obliqües*).



Rajos paral·lels entre ells i oblics al pla del quadre: projecció cilíndrica obliqua

En el cas de les axonometries obliqües, i per la seva especial rellevància, tractarem de manera detallada la posició relativa de l'objecte respecte del pla suport, en particular les **perspectives denominades cavalleres i militars**.

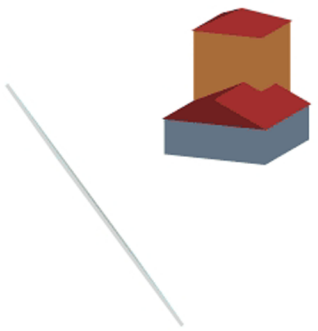
2. Projeccions axonomètriques ortogonals

2.1. Introducció

Una projecció axonomètrica ortogonal es produeix quan, una vegada situats l'objecte i el pla del quadre, projectem l'objecte amb rajos perpendiculars al pla. La imatge que es genera en el pla del quadre es denomina indistintament *projecció cilíndrica ortogonal*, *projecció axonomètrica ortogonal* o *perspectiva axonomètrica ortogonal*.

Per a poder veure la imatge, s'ha de situar el pla del quadre de manera que se'n pugui veure el contingut sense deformació, és a dir, frontalment, paral·lel a la pantalla.

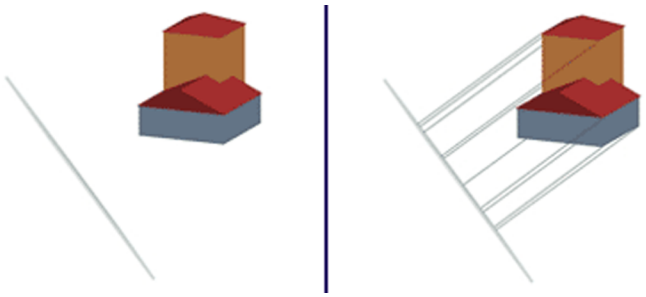
Per a il·lustrar el tema s'han preparat imatges que permeten visualitzar el procés de manera molt clara, partint d'una imatge fixa (observeu la figura adjunta) en la qual es pot veure el pla del quadre de manera projectant (perpendicular al paper) per a facilitar la interpretació de la direcció dels rajos projectants (perpendiculars al pla del quadre).



Objecte a punt de ser projectat ortogonalment sobre el pla del quadre

2.2. Projectar un objecte

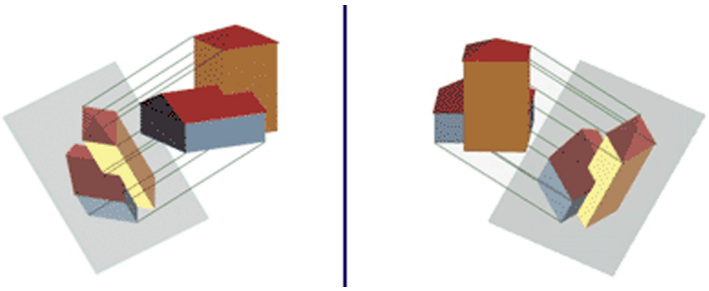
La imatge següent mostra com es projecta l'objecte sobre el pla del quadre.



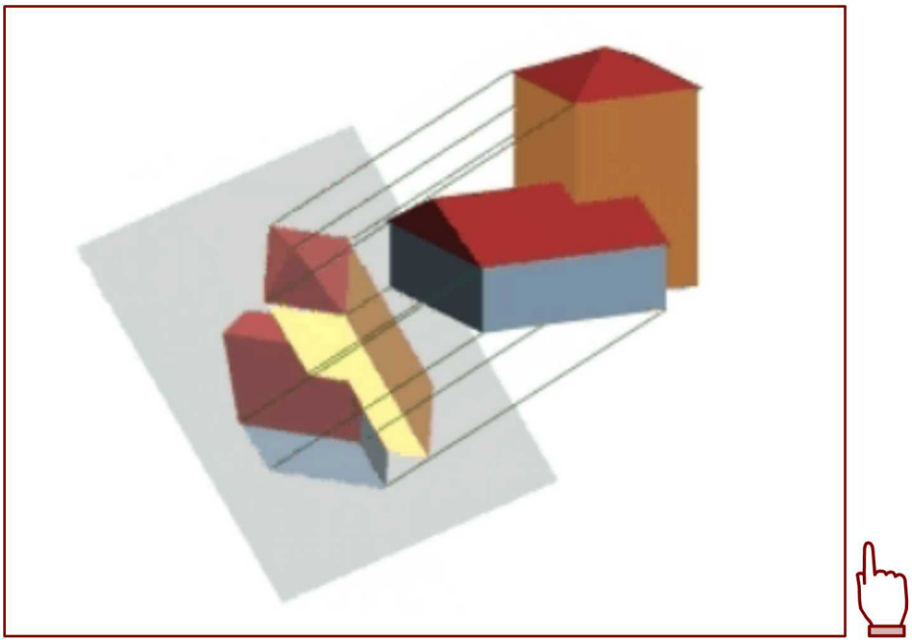
Imatge anterior amb els rajos de projecció fins al pla del quadre

2.3. Girar el sistema

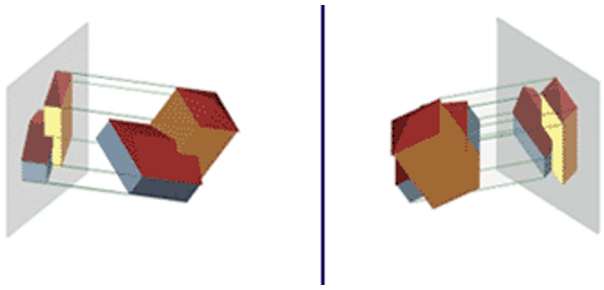
La imatge que es mostra a continuació mostra el procés anterior girant sobre un eix vertical per a aclarir la posició relativa dels elements implicats, ja que el pla del quadre deixa de ser projectant per a veure's com un rectangle projectat, que conté en l'interior la imatge resultant de projectar (com a conseqüència d'això, deixa de ser fàcil apreciar la perpendicularitat dels rajos de projecció).



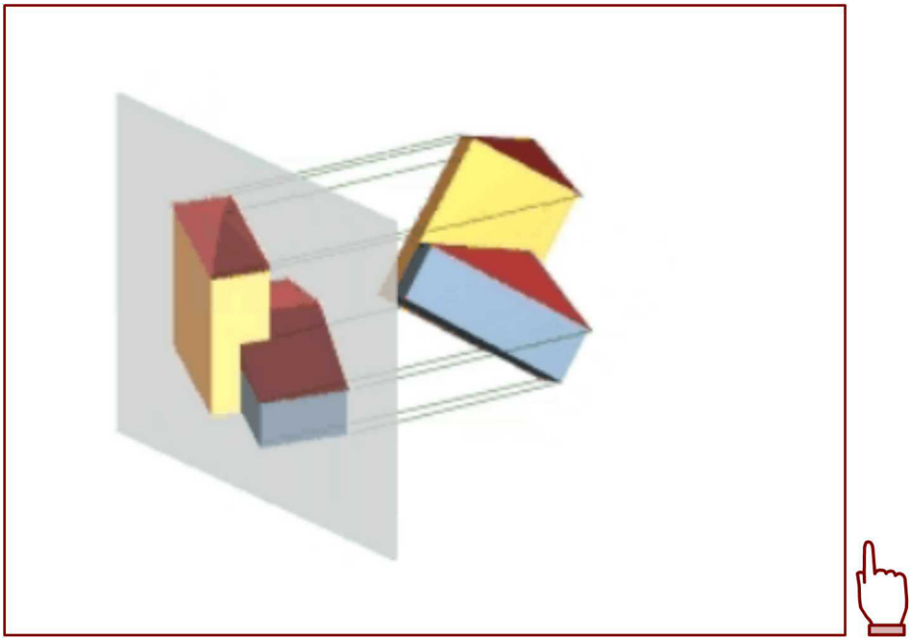
Objecte, pla del quadre i imatge projectada girant al voltant d'un eix vertical



Podem veure el sistema format pels mateixos elements quan se situa el pla en posició vertical (en conseqüència, l'objecte apareix inclinat). De nou un gir d'eix vertical ens permet observar el conjunt amb més claredat.

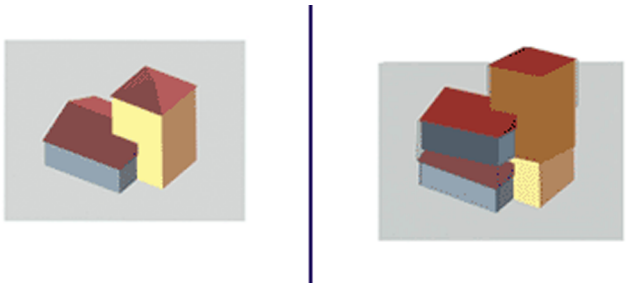


Objecte, pla del quadre i imatge projectada girant al voltant d'un eix vertical

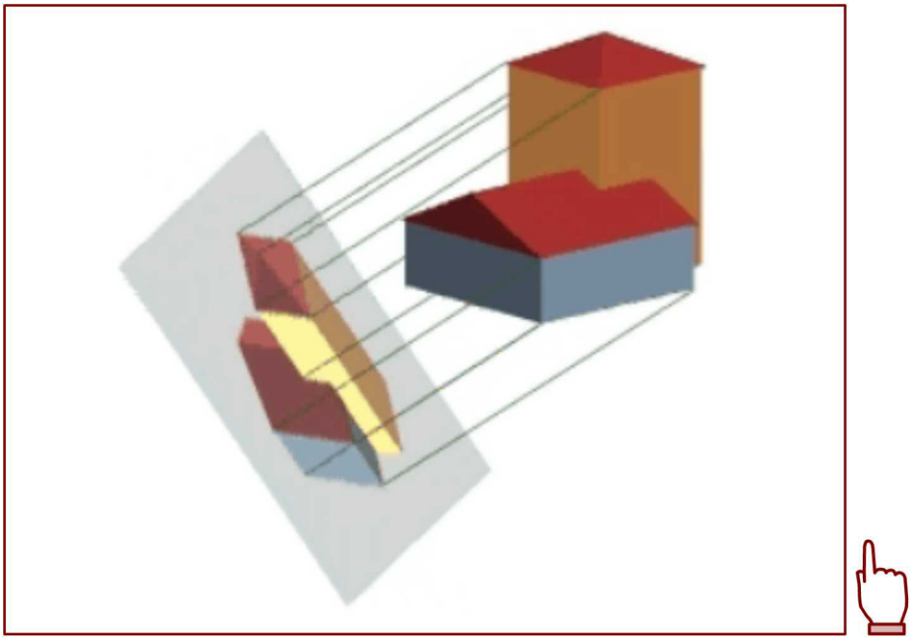


2.4. Alinear la imatge

Malgrat que en les imatges anteriors es pot observar de manera molt clara el procés, cap no mostra la imatge en la seva forma veritable, ja que l'estem observant en posicions obliqües (fixeu-vos que el pla del quadre no apareix com un rectangle, sinó com un paral·lelogram). Perquè la imatge es mostri tal com és, l'hem de situar frontalment, tal com mostra la figura següent, en la qual s'ha produït una alineació del pla del quadre amb el paper.



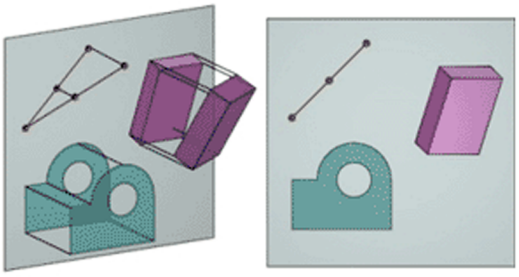
Pla del quadre i imatge projectada vistos frontalment



2.5. Propietats de les projeccions cilíndriques ortogonals

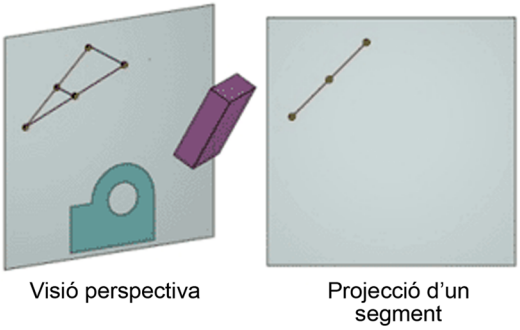
Les projeccions paral·leles ortogonals s'utilitzen amb molta freqüència en la major part dels programes que manipulen formes planes o espacials, ja que són semblants a la visió humana i tenen algunes característiques que les fan idònies com a visors. Mitjançant un exemple amb tres elements (segment dividit, figura plana i figura espacial), provarem d'apropar-nos a la comprensió de les característiques més importants, que són les següents:

Les distàncies reals, una vegada projectades, es **redueixen** en funció del cosinus de l'angle d'incidència (angle que forma una recta contra el pla de projecció).



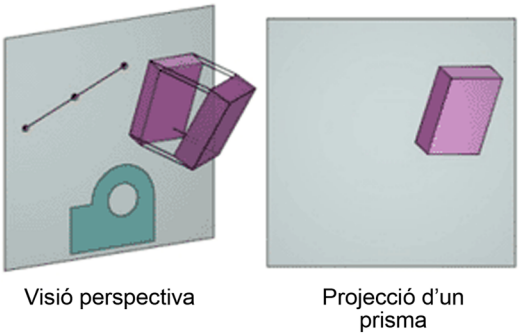
Exemple per a veure les característiques de les projeccions cilíndriques ortogonals

Les distàncies sobre un segment es projecten de manera proporcional (en l'exemple podem veure que el punt mig d'un segment es projecta en el punt mig del segment projectat).



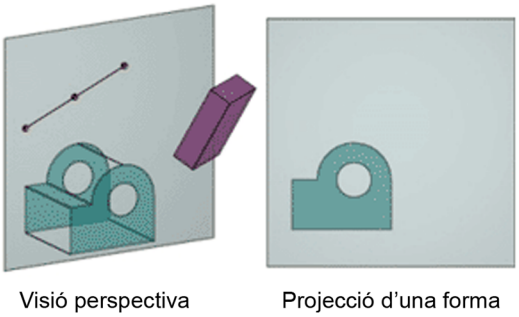
Exemple per a observar la conservació de les proporcions

Els segments paral·lels en l'espai conserven el paral·lelisme una vegada projectats. Podem observar que les arestes paral·leles del prisma rectangular de la figura també són paral·leles una vegada projectades.



Exemple per a observar la conservació del paral·lelisme

Els elements continguts en plans paral·lels al pla de projecció conserven distàncies i angles sense deformació (el seu angle d'incidència és de 0°), per la qual cosa són molt útils per a determinar dimensions i generar formes planes amb tot detall. En la figura es pot veure que hi ha una forma plana paral·lela al pla del quadre, que es projecta sense deformació de mida ni d'angles.



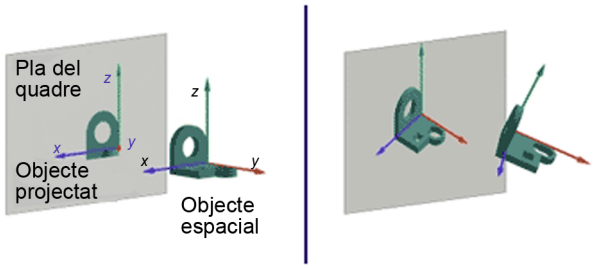
Exemple per a observar la conservació de la forma

2.6. Posicions especials: perspectiva isomètrica, dimètrica i trimètrica

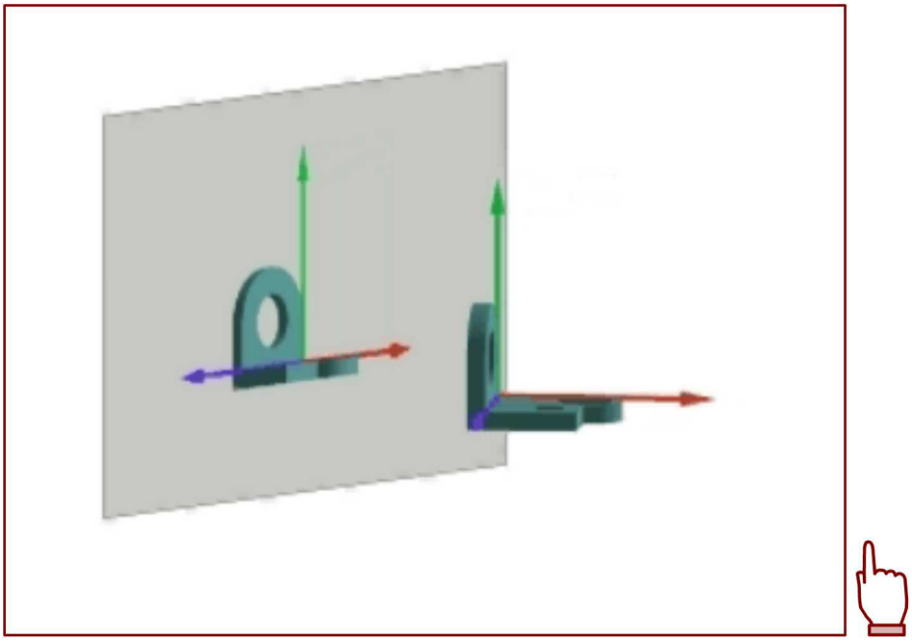
Algunes posicions de l'objecte respecte al pla del quadre tenen característiques molt interessants, la qual cosa ha fet que es considerin amb més detall i, fins i tot, que rebin noms específics.

Per a establir aquestes posicions, es recorre a associar als objectes un sistema de tres eixos coordenats que es tallen i són perpendiculars entre ells (triedre trirectangle), i que se situa sobre l'objecte de manera que les seves cares principals coincideixin amb els plans formats pels tres eixos presos de dos en dos.

És freqüent classificar aquest tipus de perspectives mitjançant les direccions dels seus eixos projectats i els coeficients de reducció que els corresponen (valors dels cosinus dels angles d'incidència dels eixos contra el pla de projecció).

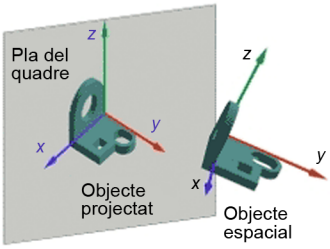


Observació de com es projecta un objecte sobre un pla vertical.



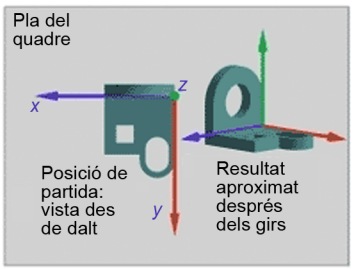
Perquè les formes projectades conservin la posició habitual de verticalitat, se situa l'objecte de manera que les rectes que són verticals en la realitat també es projectin verticals. D'aquesta manera veurem que les perspectives o projecci-

ons apareixen habitualment de manera fàcilment assimilable (seria poc comprensible veure elements que tenen una verticalitat clara com una cadira, una taula, etc. amb les potes cap amunt o decantades).



Projecció d'un objecte mantenint la seva verticalitat

Entre totes les posicions especials possibles, i mantenint la verticalitat tal com acabem de comentar, en sobresurten algunes de particulars, que comentarem a continuació, i que obtindrem mitjançant dos girs successius a partir d'una projecció horitzontal com la que es veu en la part esquerra de la figura següent:



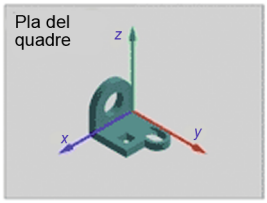
Obtenció d'una perspectiva isomètrica, dimètrica o trimètrica mitjançant dos girs

Projecció horitzontal de partida

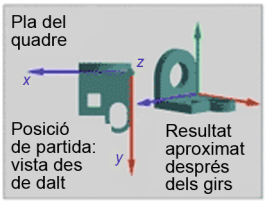
La més típica de les posicions especials és la denominada perspectiva *isomètrica*, característica pel fet que els tres eixos projectats formen el mateix angle entre ells. Si en mantenim la verticalitat, l'eix *Z* seria vertical i els altres estarien inclinats 30°, tal com es pot apreciar en la figura corresponent, aconseguida a partir de la posició anterior a la qual s'aplica un primer gir de 45° respecte a l'eix *Z* i un segon gir respecte a una recta horitzontal d'aproximadament 54,73°. Amb això aconseguim que els tres eixos espacials formin el mateix angle respecte al pla horitzontal, per la qual cosa qualsevol mesura que tingui la direcció dels eixos es projectarà amb la mateixa reducció, ja que sempre formarà el mateix angle contra el pla del quadre (90° - 54,73° = **35,27°**). La reducció de mida que pateix qualsevol mesura paral·lela als eixos serà la que correspon al cosinus d'aquest angle, és a dir, **0,816** vegades el valor de la mesura real.

La paraula *isomètrica* significa 'igual mida' i obeeix al fet que els tres eixos projectats tinguin igual reducció. Això, unit al fet que les direccions dels eixos horitzontals siguin de 30°, facilita bastant la construcció manual d'aquest tipus de perspectives. Com a conseqüència de tot el que hem dit, només hi ha

un nombre limitat de posicions isomètriques que ens permet visualitzar la figura des de tots els angles (a dalt-davant-dreta, a dalt-davant-esquerra, a dalt-darrere-dreta, a dalt-darrere-esquerra, sota-davant-dreta, etc.).

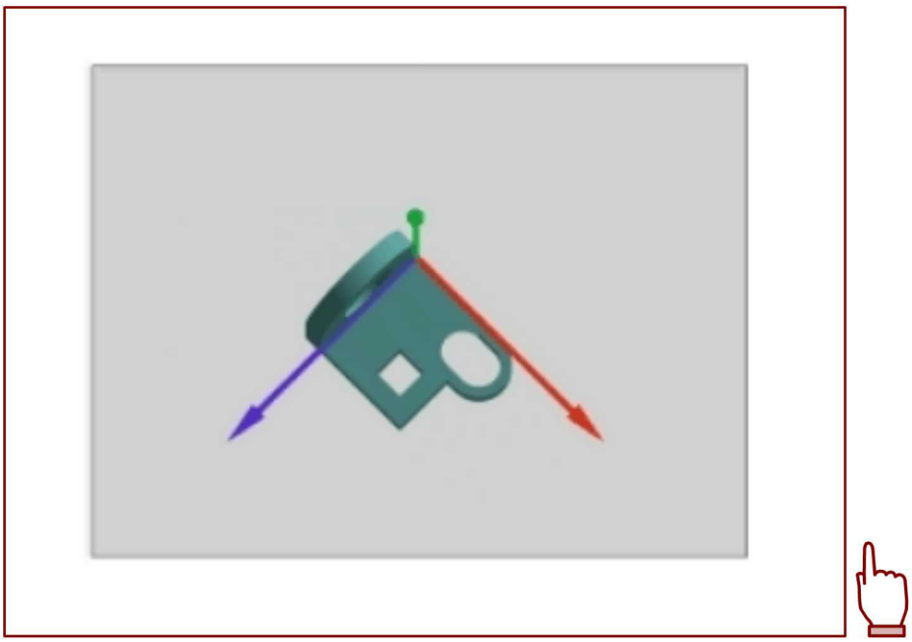


Angle entre eixos 120 º, $R_x = R_y = R_z = 0{,}816$



Obtenció d'una perspectiva isomètrica, dimètrica o trimètrica mitjançant dos girs

Perspectiva isomètrica

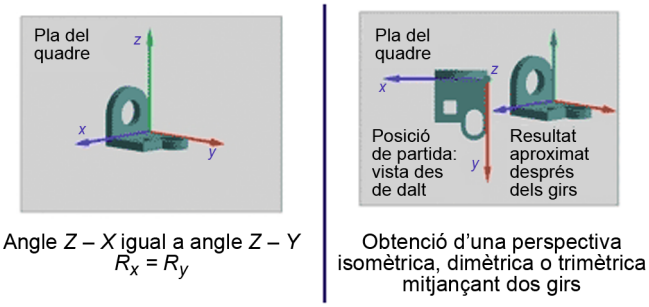


En les **perspectives dimètriques**, dos dels angles entre eixos són iguals, mentre que l'altre és diferent. Quan l'angle desigual és de 90°, tenen lloc les **vistes dièdriques**, que estudiarem per separat. En aquestes es produeix la circumstància que dos dels eixos són paral·lels al pla de projecció, per la qual cosa les formes paral·leles al pla format pels eixos esmentats es conserven projectades tal com són en la realitat.

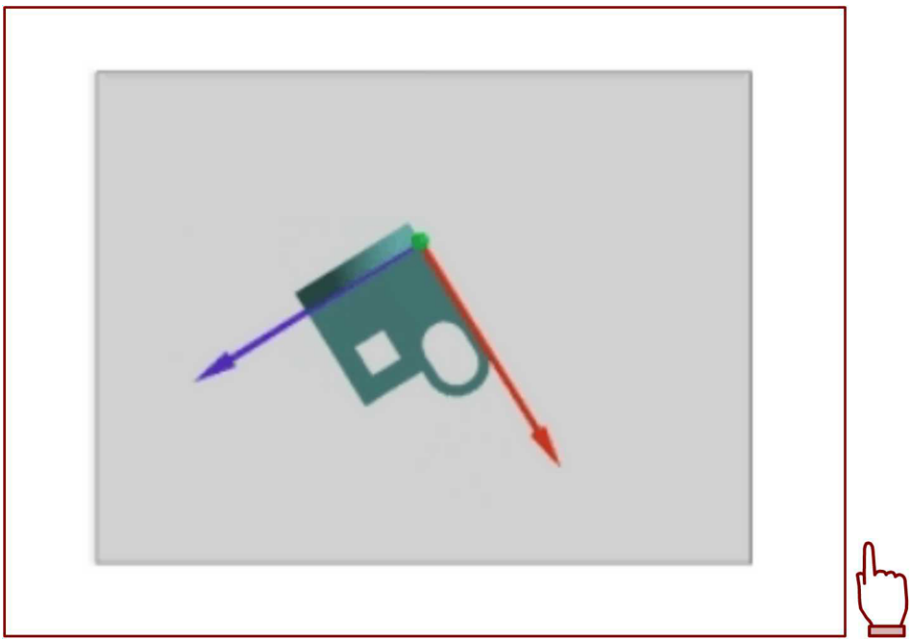
Reben aquest nom perquè hi ha dues reduccions diferents sobre els tres eixos (normalment, els eixos *X* i *Y* tenen una reducció igual entre ells i diferent de la de l'eix *Z*).

El procediment per a obtenir una perspectiva d'aquest tipus és similar a l'utilitzat amb la isomètrica; n'hi ha prou que el segon gir (al voltant d'un eix horitzontal) no sigui l'utilitzat anteriorment, és a dir, que mantingui l'eix *Z* amb un angle final diferent de 35,27° respecte al pla del quadre (totes les altres posicions donaran un coeficient de reducció diferent per a l'eix *Z* respecte al

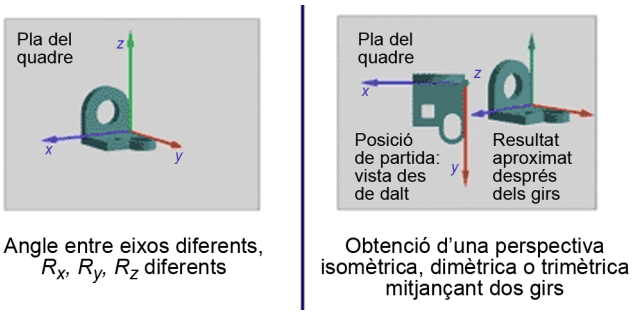
que correspongui als altres eixos, que serà el mateix perquè fem el primer gir de 45°, la qual cosa fa que els dos eixos *X* i *Y* mantinguin el seu angle d'incidència amb el pla del quadre).



Perspectiva dimètrica



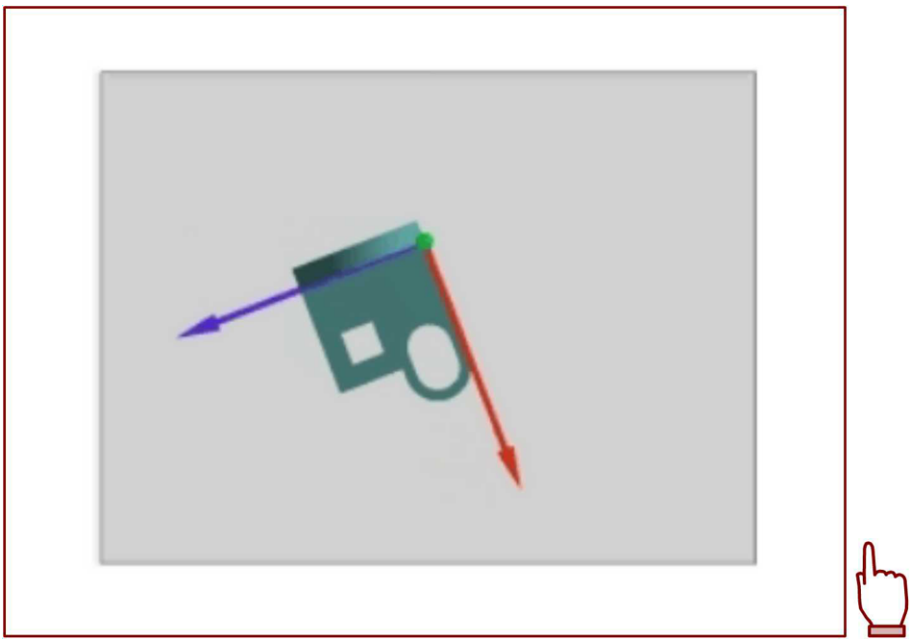
La resta de les posicions donen lloc a **perspectives trimètriques**, que són les que tenen els tres angles desiguals (per regla general, s'obtenen quan se situa l'objecte d'una manera aleatòria). En conseqüència, els coeficients de reducció de les direccions dels eixos també són desiguals, circumstància per la qual es denominen *trimètriques*, que significa 'tres mesures diferents sobre els eixos'. La figura adjunta mostra un exemple de posició trimètrica en la qual es conserva la verticalitat de la figura.



Angle entre eixos diferents, R_x, R_y, R_z diferents

Obtenció d'una perspectiva isomètrica, dimètrica o trimètrica mitjançant dos girs

Perspectiva trimètrica



2.7. Vistes especials (alçat, planta i perfil)

Hem vist que en les perspectives dimètriques, quan un dels eixos en l'espai està situat perpendicular al pla del quadre, totes les formes paral·leles als altres dos eixos i, per tant, al pla format per tots dos, queden paral·leles al pla de projecció, i en projectar-se conserven la forma original sense patir cap reducció. Aquestes posicions especials, que denominem **vistes dièdriques**, són molt útils a la pràctica a causa de les seves característiques i constitueixen la base dels sistemes de representació d'objectes.

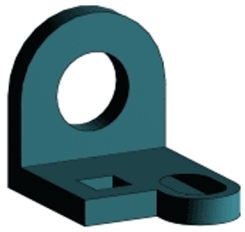
Els sistemes de representació d'objectes tenen com a finalitat determinar completament la forma i les dimensions dels objectes esmentats, de manera que puguin ser fabricats tal com han estat concebuts i sense cap indeterminació.

Encara que no és l'objecte d'aquesta matèria desenvolupar completament els sistemes de representació d'objectes, creiem que resulta de gran interès per a espavilar-se en qualsevol programa de generació d'objectes o escenes tridimensionals, ja que la major part d'aquests programes utilitza visors basats en els tipus de projecció i la seva disposició relativa.

Fonamentalment, hi ha dos sistemes de representació, que utilitzen les mateixes projeccions (sistema europeu de representació i sistema americà de representació), encara que la manera d'associar-les és diferent. Provarem d'apropar-nos a la manera d'enfocar la representació d'objectes des de tots dos vessants.

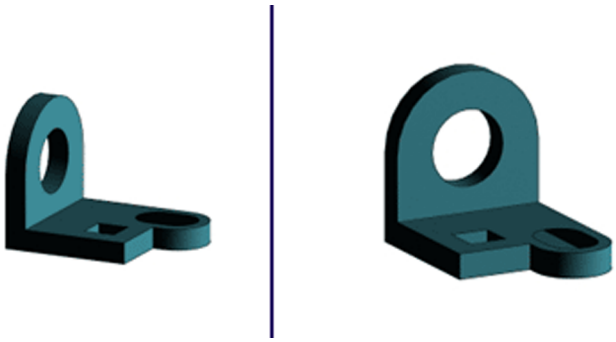
Per a determinar els objectes, tots dos sistemes utilitzen diverses projeccions ortogonals de les que hem denominat *vistes*, és a dir, projectant les formes sobre plans perpendiculars a la direcció d'un dels seus eixos principals.

Vegem per mitjà de l'objecte que hem estat utilitzant com a exemple com es produeix la determinació de les vistes en tots dos sistemes de representació.

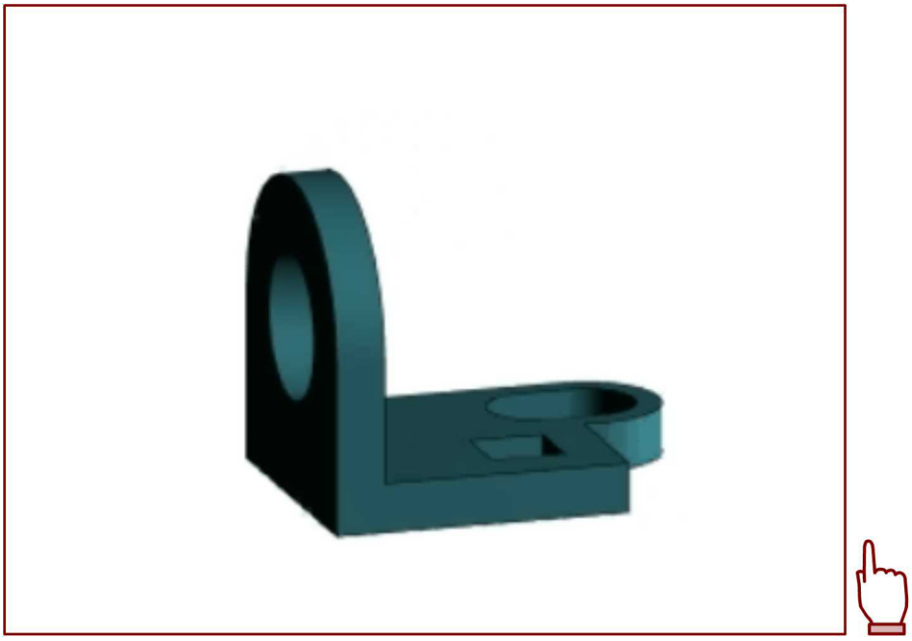


Objecte en posició de partida abans de girar

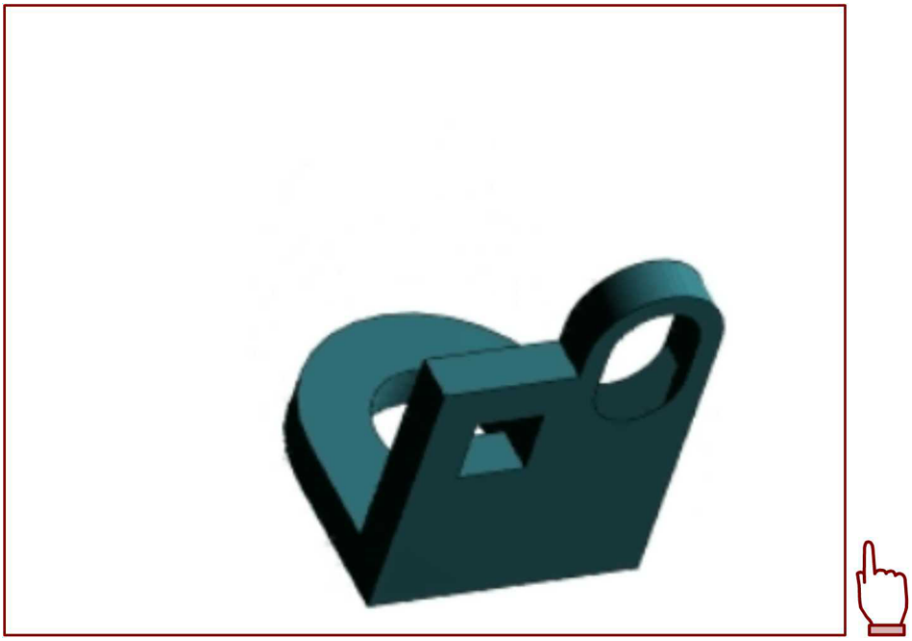
Per a això, i com a pas previ per a tenir una idea exacta de la forma de l'objecte, el podem observar des de diferents angles fent-lo girar al voltant dels eixos *X*, *Y* o *Z*.

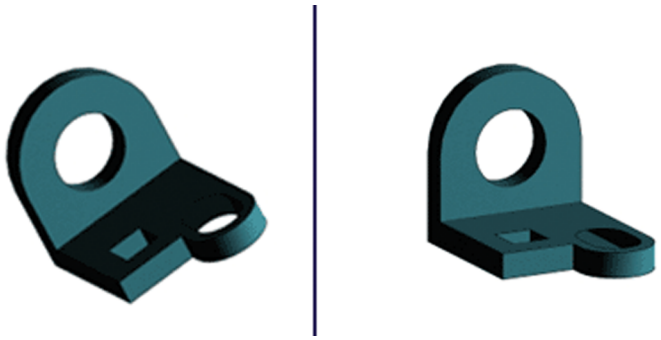


Objecte girant al voltant de l'eix vertical *Z*

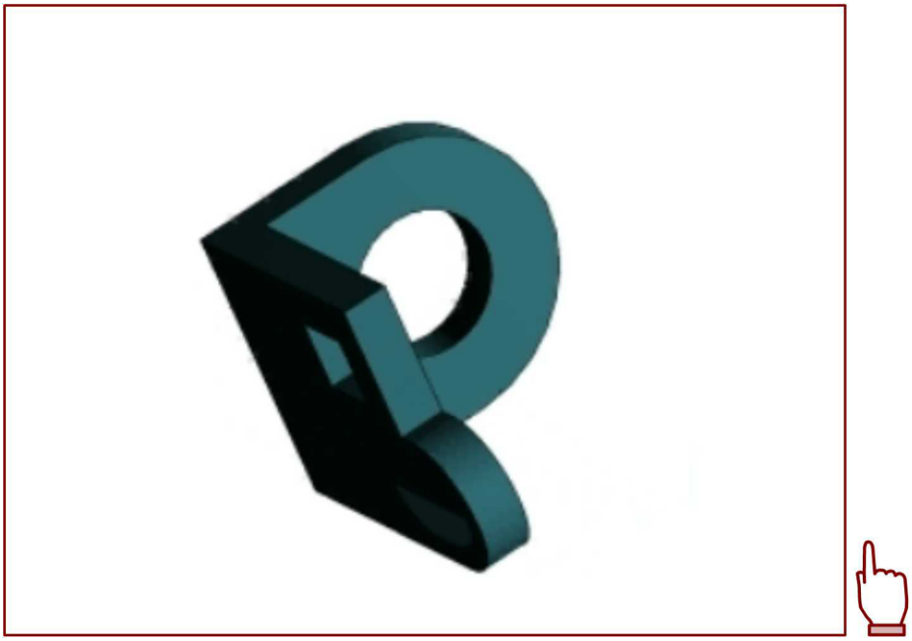


Objecte girant al voltant de l'eix horitzontal *X*



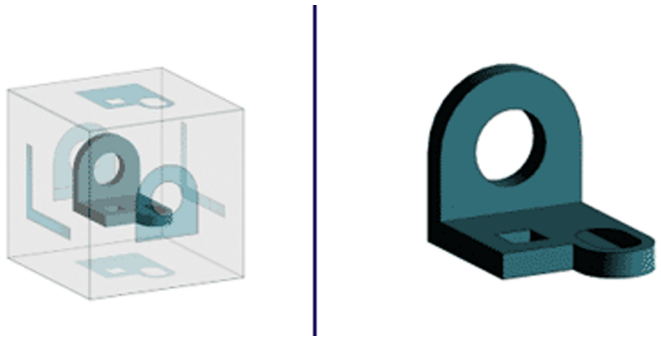


Objecte girant al voltant de l'eix horitzontal *Y*



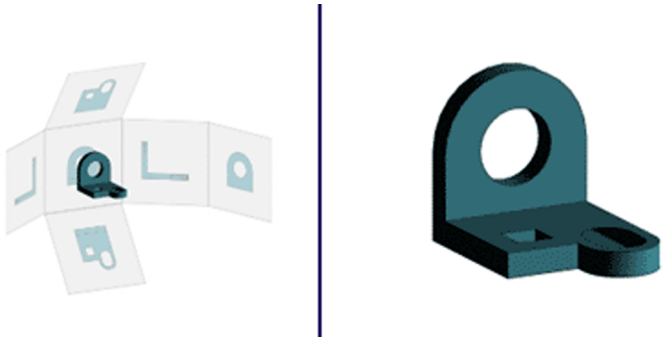
En tots dos sistemes de representació s'utilitzen com a plans de projecció les cares d'un cub. L'objecte se suposa situat en l'interior, manté la seva verticalitat i se situa de manera que els seus plans principals siguin paral·lels a les cares del cub esmentat.

En el sistema de representació europeu, una vegada situat l'objecte, aquest es projecta sobre cada una de les seves cares, de manera que el que s'observa des de qualsevol costat del cub es veu projectat en el costat contrari (el que veiem des del costat dret es veu projectat en el costat esquerre del cub, i així amb els sis costats, tal com es veu en la figura).



Cub de projeccions europeu

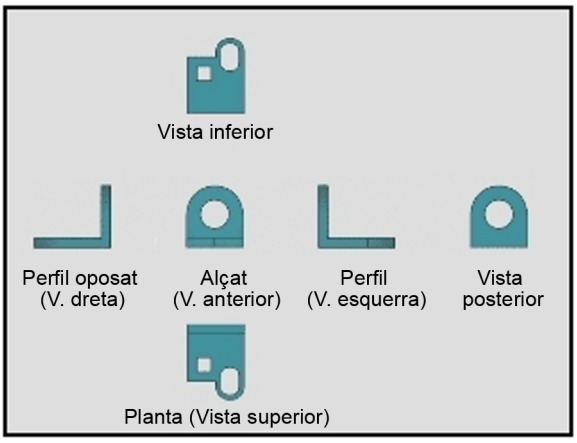
Una vegada projectat l'objecte sobre totes les cares, es desdobla per a situar totes les projeccions o vistes en un únic pla. Per a això s'ha d'escollir una de les vistes (la que considerem més representativa dins de la verticalitat), sobre la qual situarem el pla que la conté i que contindrà totes les altres, que es fan girar al voltant de les arestes del cub situades en el pla esmentat de la manera que veiem en la imatge següent.



Desdoblament del cub de projeccions europeu

Cub de projeccions europeu, una vegada desdoblat en un pla

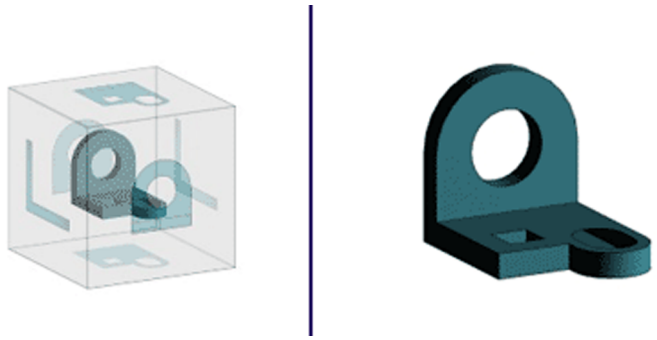
Una vegada les vistes són en el mateix pla, desapareixen les divisions degudes a les arestes del cub. Les vistes reben noms especials, de manera que la que hem utilitzat com a més representativa és l'**alçat** o vista anterior, i al voltant d'aquesta tenim la **planta** o vista superior, el **perfil** o vista esquerra, juntament amb les altres que veiem en la figura i que en general tenen menys rellevància. És molt important que mantinguin aquesta disposició relativa, ja que això permet localitzar qualsevol element de l'objecte sense cap dificultat.



Disposició relativa de la vistes en el sistema europeu

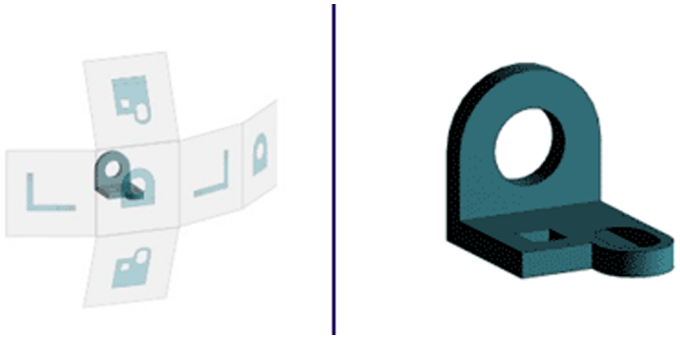
En el sistema de representació americà, com veurem, el procediment és molt similar. També utilitza un cub per a projectar les vistes dels objectes, però la projecció es produeix de manera diferent, ja que en aquest sistema les cares del cub són com vidres en els quals es dibuixa la projecció del que estem observant des del mateix lloc des del qual observem (és a dir, dibuixa a la cara dreta del cub el que observa des de la dreta de l'objecte, i així amb totes les vistes).

És evident que tots dos sistemes són molt similars, però cal saber quin s'ha utilitzat per a evitar confusions degudes al canvi de criteri.



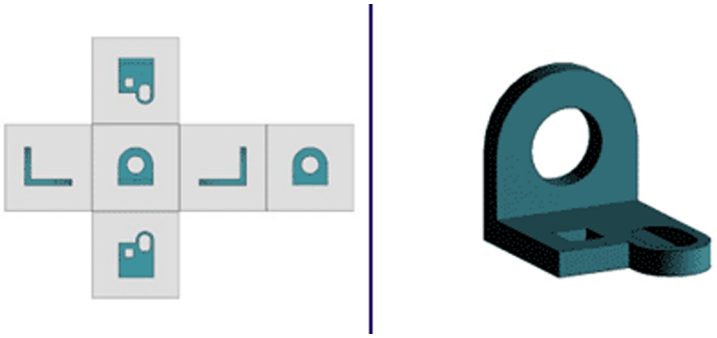
Projeccions en el sistema americà abans del desdoblament

El desdoblament del cub per coherència en aquest cas es produeix al voltant de la cara anterior, tal com es pot observar en la figura que acompanya aquest text.

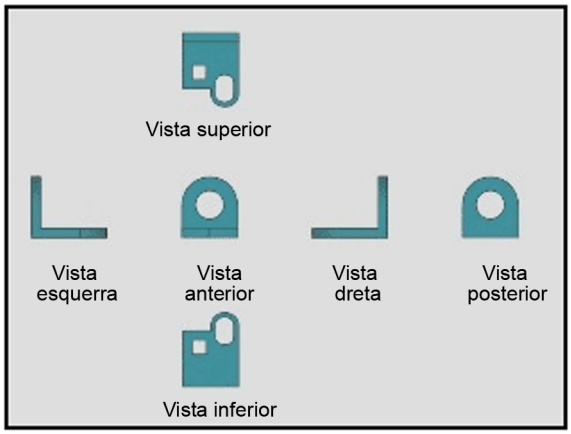


Desdoblament sobre la cara anterior del cub en el sistema americà

Una vegada situades totes les vistes en un sol pla i eliminades les línies de les cares del cub, tal com hem fet en el sistema europeu, tenim el resultat que mostra la figura següent, en la qual a més hem posat els noms de les vistes perquè es puguin relacionar amb el que hem exposat en el sistema europeu.



Cub de projeccions americà, una vegada desdoblat en un pla



Posició relativa de les vistes en el sistema americà

És interessant observar que qualsevol element de l'objecte queda situat d'una manera rígida en les vistes, per la qual cosa la seva identificació i la determinació en altura, amplada, espessor, profunditat, etc. es fan extremadament senzilles si es coneixen les regles utilitzades per al desdoblament. Aquesta és justament la base dels sistemes de representació, sobre la qual després s'incorporen altres elements sense els quals no seria possible la determinació completa dels objectes reals.

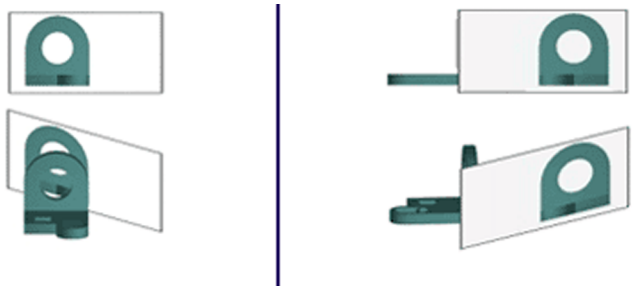
3. Projeccions axonomètriques obliqües

3.1. Introducció

La projecció axonomètrica obliqua d'un objecte es produeix quan projectem aquest objecte amb rajos paral·lels entre ells i inclinats respecte al pla del quadre.

3.2. Perspectives obliqües degenerades

En aquest tipus de projeccions es poden produir grans deformacions (quan això passa, es denominen *perspectives obliqües degenerades*). Les figures següents mostren dues visions d'un objecte i la seva projecció obliqua sobre el pla del quadre.



Perspectiva obliqua degenerada. Posició de partida en l'observació

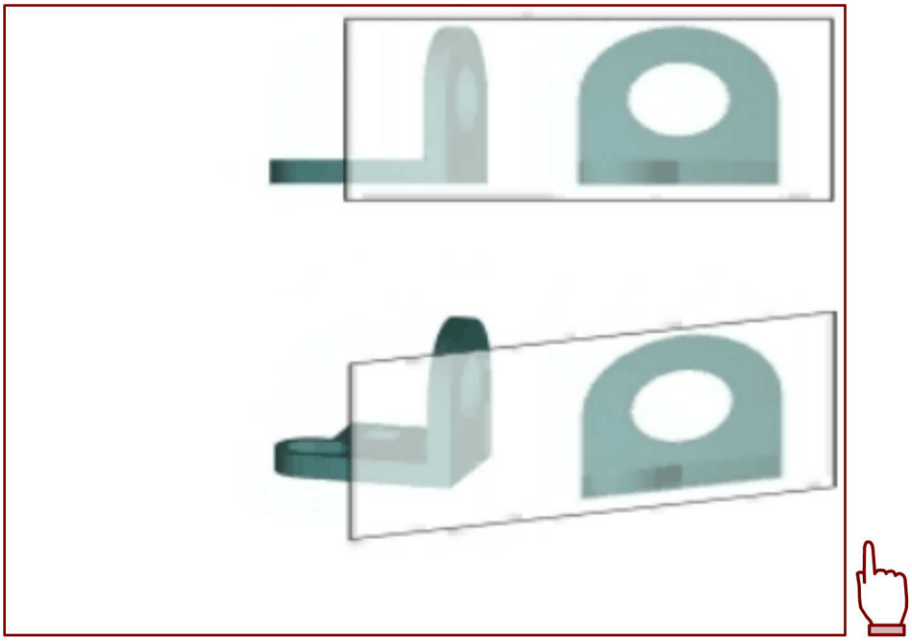
La part superior mostra l'escena des d'una posició frontal a l'objecte, mentre que en la part inferior l'observació es fa des d'un pla superior per a apreciar millor la profunditat de l'objecte.

Perspectiva obliqua degenerada. Observador girant

En la posició de partida, pot semblar que la projecció no està deformada, però si girem l'escena s'aprecia la gran deformació de la imatge com a resultat de projectar.

En la posició del gir en què el pla del quadre es veu tal com és, podem apreciar que la perspectiva resultant s'allunya força de la realitat, ja que la figura que queda situada en el pla sembla força més ampla que l'objecte real. Aquest efecte es produeix a causa de la posició relativa de l'objecte respecte al pla del quadre i a la direcció escollida per als rajos projectants.

En la part superior de la figura, pla del quadre sense deformació



3.3. Perspectiva cavallera

Com a conseqüència del que hem exposat, per a obtenir resultats semblants a la visió humana cal efectuar les projeccions amb algunes restriccions. Les restriccions consisteixen en el següent:

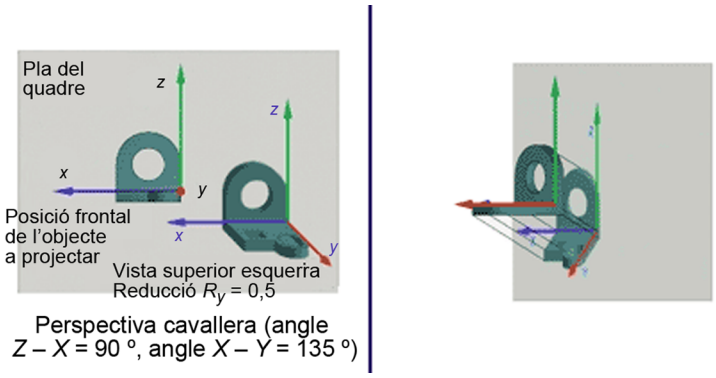
- Situar els objectes amb alguna cara paral·lela al pla del quadre (aquest fet produeix que les cares esmentades apareguin sense deformació en la perspectiva).

- Controlar la direcció en la qual es projecten els rajos (angles d'incidència i orientació que possibilitaran escollir la direcció en profunditat i la seva reducció respecte a la mesura real).

Per a concretar la direcció de projecció s'utilitza amb freqüència l'angle d'incidència, que produeix una reducció de 0,5 en els segments perpendiculars al pla del quadre (26°, 33', 54"), mentre que les orientacions més utilitzades són les que situen la projecció d'aquests segments a 45°.

Les projeccions axonomètriques obliqües més conegudes per la seva utilització són les denominades **perspectives cavalleres**. En la figura següent podem observar l'objecte que hem estat utilitzant com a exemple en una de les posicions en les quals es pot presentar una perspectiva cavallera (vista des de la part davantera superior esquerra).

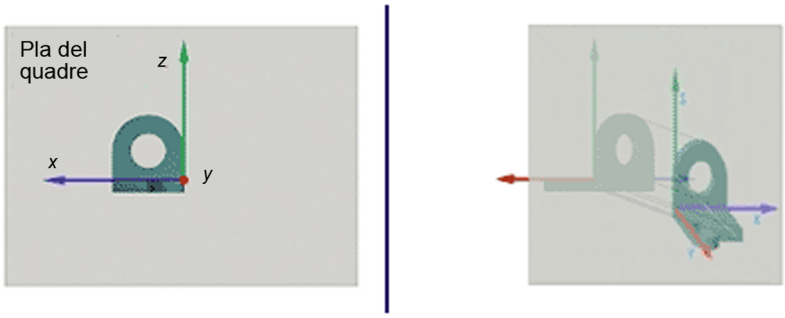
S'ha triat com a pla principal paral·lel al quadre el que conté la circumferència del forat més gran, que apareix sense deformació, mentre que els elements en profunditat es mostren reduïts en mida i disposats de manera que l'eix que assenyala la profunditat està situat a 45° dels eixos del pla principal.



Perspectiva obliqua amb restriccions. Perspectiva cavallera

A continuació es mostra la manera d'aconseguir una imatge d'aquest tipus:

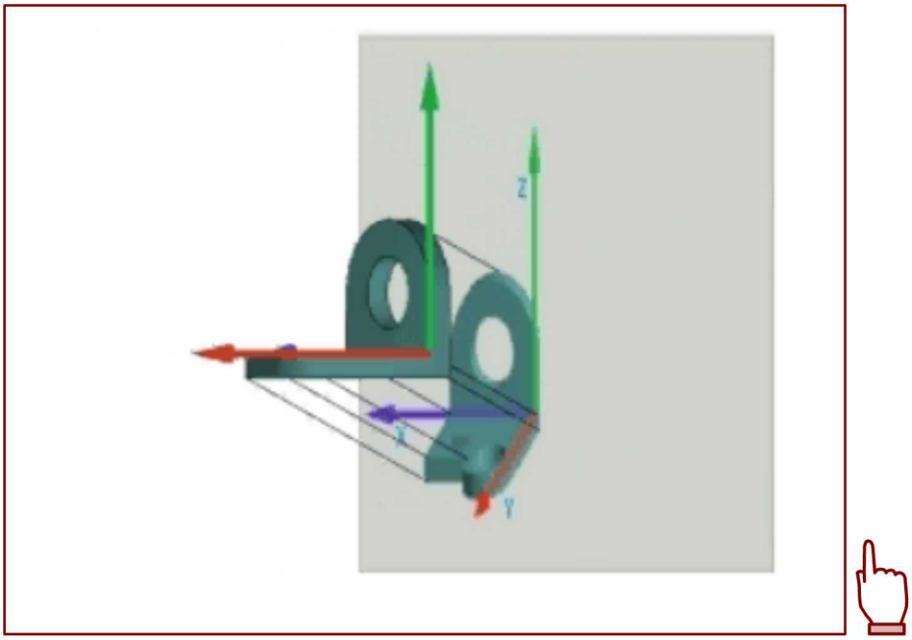
En primer lloc, disposem l'objecte paral·lel al pla sobre el qual s'efectuarà la projecció obliqua, de manera que els plans principals de la figura conservin la verticalitat de l'objecte a fi que l'eix *Z* continuï essent vertical després de ser projectat.



Obtenció d'una perspectiva cavallera. Posició de partida

L'escena següent mostra com els rajos de projecció parteixen des de l'objecte original fins al pla del quadre i descriuen un recorregut contingut en un pla perpendicular al pla del quadre i a 45° d'inclinació respecte a l'horitzontal del paper. La imatge projectada, que no és més que la perspectiva cavallera de l'objecte que s'obté des de la part superior davantera dreta, es veu tal com és, ja que el pla del quadre està situat frontalment respecte a l'observador, i se'n poden apreciar les característiques malgrat que la imatge queda una mica tapada per l'objecte original, que encara resta en escena.

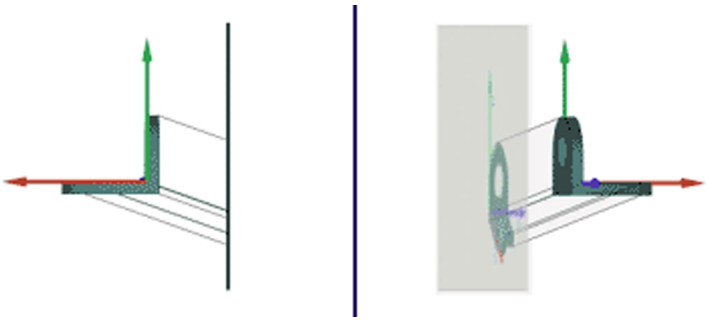
Obtenció d'una perspectiva cavallera. Objecte i imatge projectada



Per entendre millor el procés, en les imatges següents l'observador extern girarà al voltant de l'objecte, el pla del quadre i els rajos de projecció. D'aquesta manera podrem situar el pla perpendicular al paper i veure clarament la direcció dels rajos d'incidència.

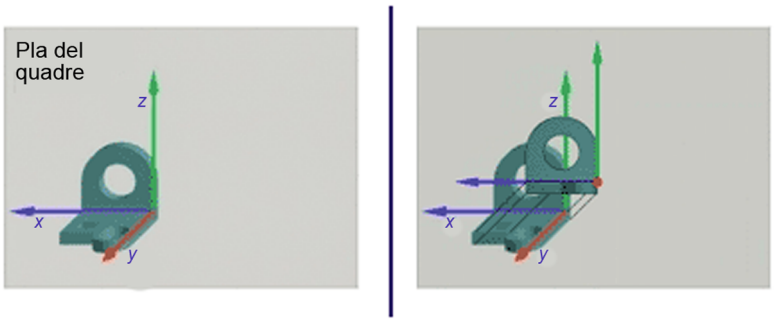
Obtenció d'una perspectiva cavallera. Observador girant al voltant del sistema

Durant el gir hi ha una posició en la qual el pla del quadre se situa perpendicular al paper (es diu llavors que està situat en posició projectant, ja que totes les línies del pla queden contingudes en una sola línia). En aquesta posició es pot apreciar molt bé el caràcter oblic dels rajos de projecció, encara que no en puguem apreciar l'angle d'incidència veritable, ja que en aquest moment els rajos no són paral·lels al pla del quadre.



Obtenció d'una perspectiva cavallera. Pla en posició projectant

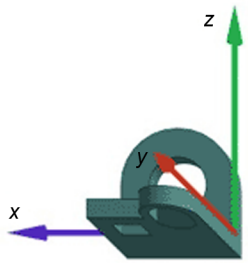
Finalment, podem apreciar la perspectiva cavallera obtinguda sense la interferència que representa tenir l'objecte davant. En la imatge podem observar que les circumferències contingudes en els plans paral·lels al quadre es mantenen com a circumferències, mentre que les que estan situades en els plans *X-Y* o en els plans *Y-Z* es converteixen en el·lipses.



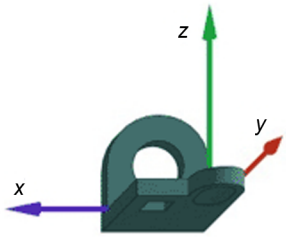
Perspectiva cavallera (des de la part anterior, superior dreta)

En aquestes perspectives, l'objecte sempre es projecta sobre un pla vertical, de manera que una de les cares principals apareix paral·lela al pla i en posició vertical, per a projectar l'objecte en la direcció adequada.

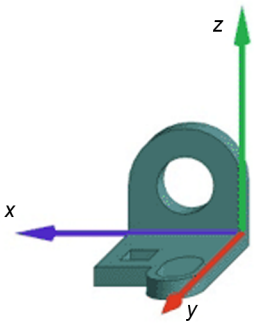
Les il·lustracions següents mostren les quatre perspectives cavalleres que es poden obtenir de l'objecte mantenint la seva verticalitat natural, la posició de la cara principal paral·lela al pla del quadre i projectant des de la part anterior.



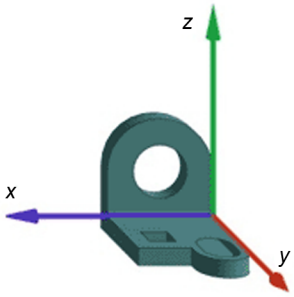
Perspectiva cavallera. *Ry* = 0,5. Angle *ZY*: 45°
Vista inferior davantera dreta



Perspectiva cavallera. *Ry* = 0,5. Angle *ZY*: (-45°)
Vista inferior davantera esquerra



Perspectiva cavallera. *Ry* = 0,5. Angle *ZY*: 135°
Vista superior davantera dreta



Perspectiva cavallera. *Ry* = 0,5. Angle *ZY*: (-135°)
Vista superior davantera esquerra

3.4. Perspectiva militar

Una altra variant de la perspectiva cavallera és la perspectiva denominada *militar*, que s'obté de la mateixa manera però projectant sobre un pla horitzontal. Les quatre imatges següents corresponen a la perspectiva militar de l'objecte emprat com a exemple, considerant com a pla principal el pla de la base.

Perspectiva militar des de dalt, el davant i l'esquerra

Perspectiva militar des de dalt, el davant i la dreta

Perspectiva militar des de dalt, el darrere i la dreta

Perspectiva militar des de dalt, el darrere i l'esquerra

4. Projecció central o cònica

4.1. Consideracions prèvies

Es denomina *projecció cònica* o *central* la imatge plana que es produeix utilitzant rajos de projecció que convergeixen en un punt. Aquest punt es denomina **punt de vista** o també **centre de projecció**. La imatge resultant és molt semblant a la que s'obté per mitjà de la visió humana que es produeix si l'observador se situa amb un ull tancat i l'altre obert en el punt de vista.

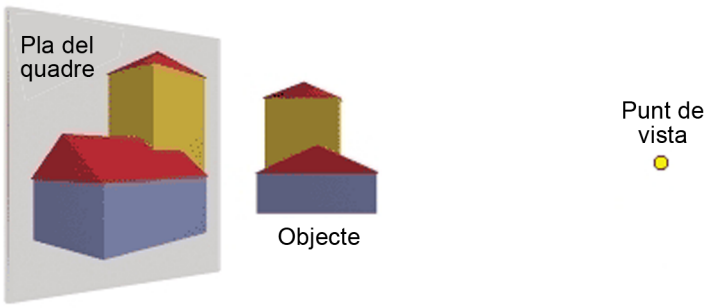
És possible variar la posició relativa del pla del quadre, l'objecte i el punt de vista i, tanmateix, obtenir imatges semblants.

Les imatges obtingudes mitjançant aquest sistema de projecció plana es denominen **perspectives còniques**.

4.2. Elements que intervenen. Característiques

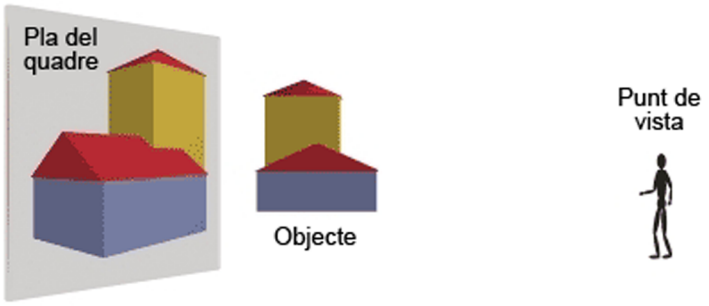
Ateses les característiques d'aquest tipus de perspectives, per a introduir-les és convenient utilitzar un objecte sobre el qual es puguin apreciar la majoria. Per aquesta raó s'ha escollit aquesta espècie de caseta, que aporta les característiques principals següents:

- És un objecte que té una verticalitat clara.
- Conté arestes paral·leles als tres eixos principals.
- Conté arestes paral·leles entre elles i que no tenen la direcció dels eixos.

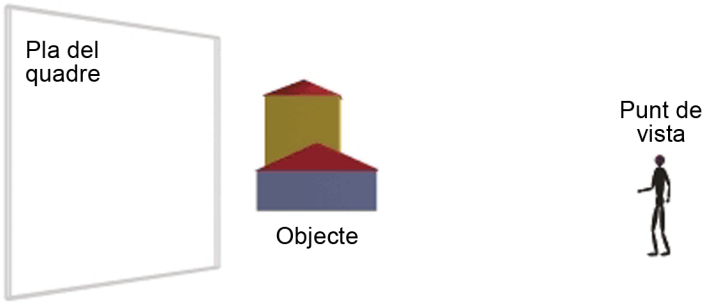


Projeccions còniques. Escena vista des de l'exterior

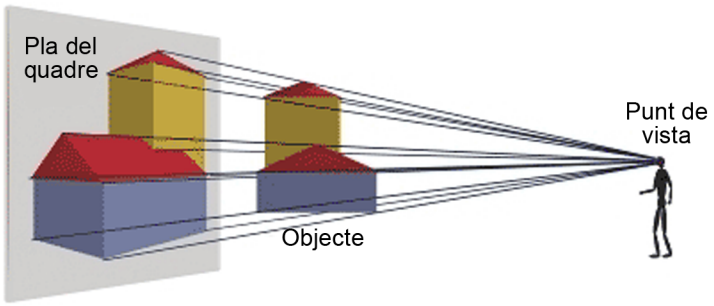
Per entendre el procés d'obtenció, anomenem els elements que intervenen en l'escena i després els disposem un a un.



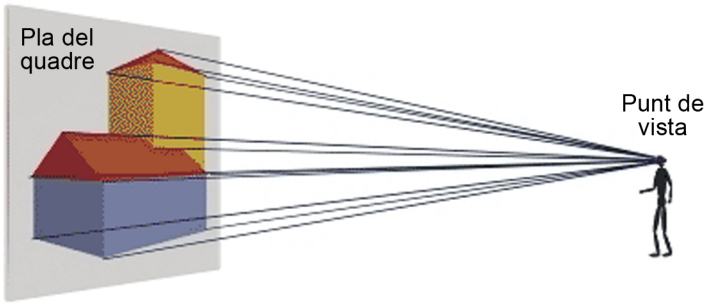
Projeccions còniques. Elements de l'escena



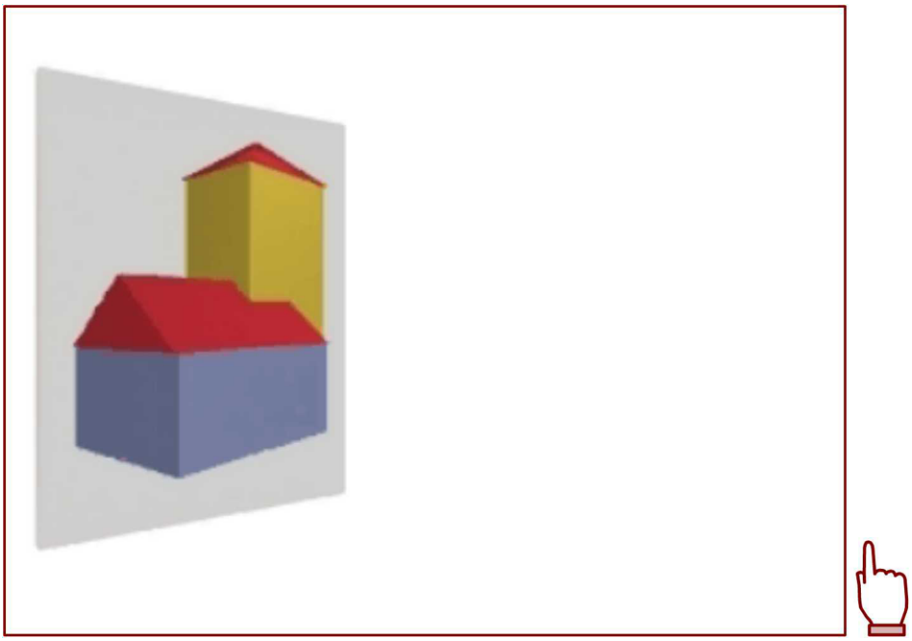
Projeccions còniques. Disposició dels elements



Projeccions còniques. Projecció de l'objecte



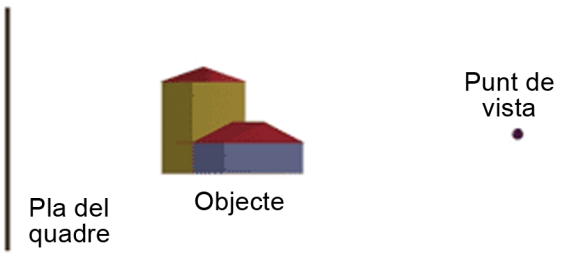
Projeccions còniques. Extracció de l'objecte de l'escena



4.3. Punts de fuga en les perspectives còniques

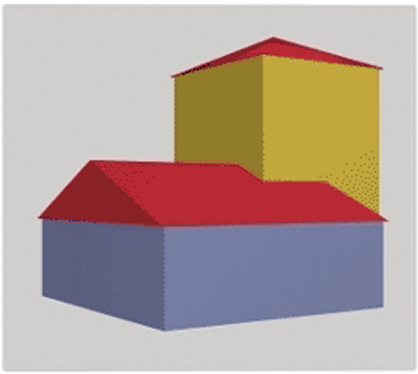
Una de les característiques de les perspectives còniques és que **qualsevol feix de rectes paral·leles en l'espai convergeix cap a un punt**.

En aquest apartat veurem com s'obté el punt de fuga d'una direcció, i també les característiques dels punts de fuga. Per a això utilitzarem la figura adjunta, en la qual es pot veure el pla de projecció (pla del quadre) juntament amb l'objecte i el centre de projecció (punt de vista).



Punts de fuga. Elements de l'escena

El resultat de projectar l'objecte des del punt de vista es pot veure en la imatge següent. En aquesta es pot apreciar que les línies de l'objecte que abans eren paral·leles en l'espai ara s'apropen. De manera que, si les prolonguem en el seu sentit convergent, cada feix de rectes arriba a tocar-se en un punt, si exceptuem les línies verticals, que es mantenen paral·leles.

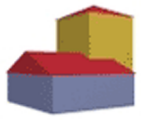


Punts de fuga. Perspectiva obtinguda

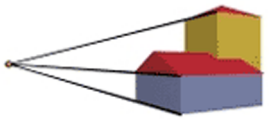
El punt en què concorre un d'aquests feixos de rectes s'obté com a intersecció de la recta paral·lela al feix esmentat, que passa pel punt de vista contra el pla del quadre. Quan la recta és obliqua al pla, es diu que el punt és propi i es denomina *punt de fuga d'aquesta direcció*. Quan és paral·lela al pla, es diu que el punt és impropi i llavors les rectes convergeixen en l'infinit i són paral·leles entre elles (és el cas dels segments verticals).

Quan les rectes són paral·leles als eixos, apareixen els punts de fuga dels eixos ***X***, ***Y*** i ***Z***.

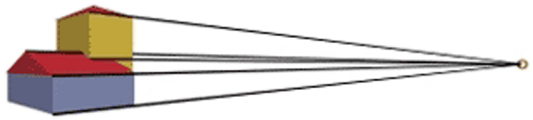
En la figura adjunta podem veure la projecció anterior a una mida reduïda per a poder apreciar de manera diferenciada els diferents punts de fuga.



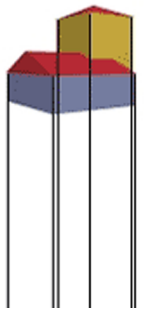
Punts de fuga. Allunyament per a veure els punts de fuga



Punts de fuga. Direcció de fuga de l'eix *Y*

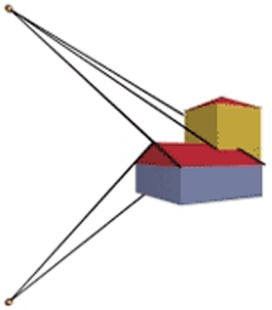


Punts de fuga. Direcció de fuga de l'eix *X*



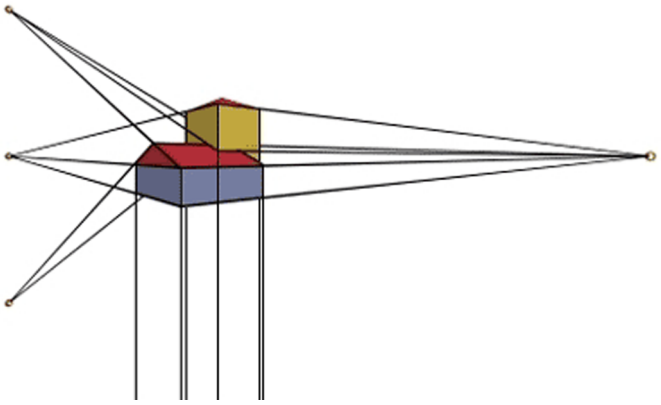
Punts de fuga. Direcció de fuga de l'eix *Z*

Es pot remarcar que qualsevol feix de rectes paral·leles genera un punt de fuga (propi o impropi), amb la qual cosa si l'objecte té altres direccions paral·leles, també els seus punts de fuga es poden trobar de la mateixa manera que quan es tractava de les direccions dels eixos. Observeu els punts de fuga de les dues direccions de la teulada inclinada en la caseta.



Punts de fuga. Direcció de fuga de dos feixos de rectes paral·leles

També es poden veure tots aquests punts de fuga simultàniament:



Punts de fuga. Múltiples direccions de fuga

4.4. Cònica frontal o d'un punt de fuga

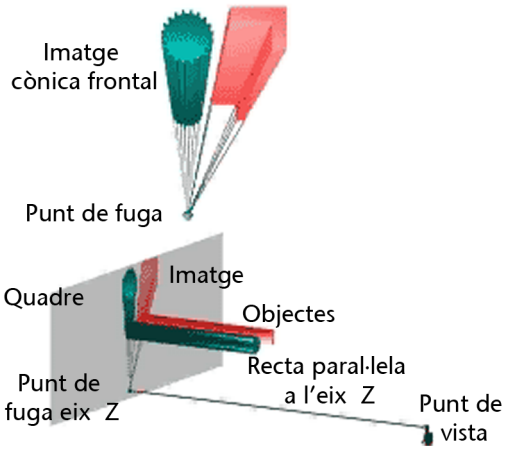
Quan algun eix principal de l'objecte és paral·lel al pla del quadre, les projeccions de les arestes paral·leles a aquest eix són rectes paral·leles entre elles, mentre que les arestes paral·leles a eixos oblics respecte al pla del quadre, una vegada projectades, concorren en un punt.

Aquesta característica ha fet que les perspectives còniques es puguin classificar de la manera següent:

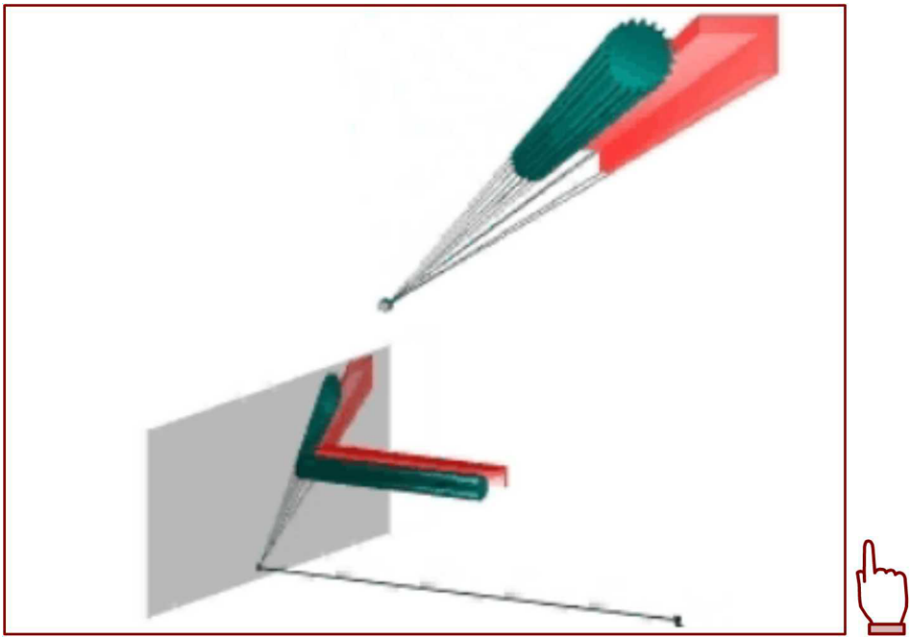
Cònica d'un punt de fuga.
Cònica de dos punts de fuga.
Cònica de tres punts de fuga.

La figura que acompanya aquest text mostra un exemple de perspectiva amb un punt de fuga.

Observeu l'efecte que produeix en la imatge un **moviment horitzontal del punt de vista**.

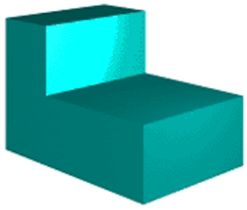


Perspectiva cònica amb un punt de fuga

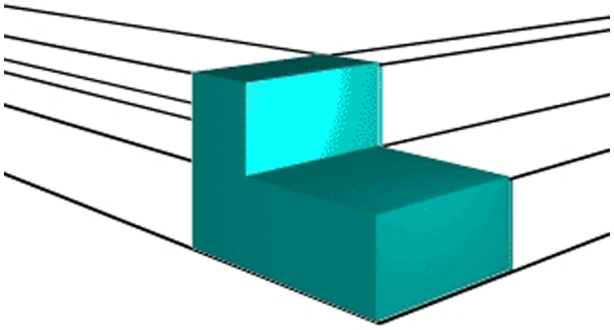


4.5. Perspectiva cònica amb dos punts de fuga

Es denominen d'aquesta manera les projeccions còniques en què l'objecte està situat amb l'eix vertical paral·lel al pla del quadre, mentre que els altres dos són oblics. Totes les rectes que tenen direcció paral·lela a l'eix X o a l'eix Y es dirigeixen, després de ser projectades, cap al punt de fuga F_x o F_y, respectivament.



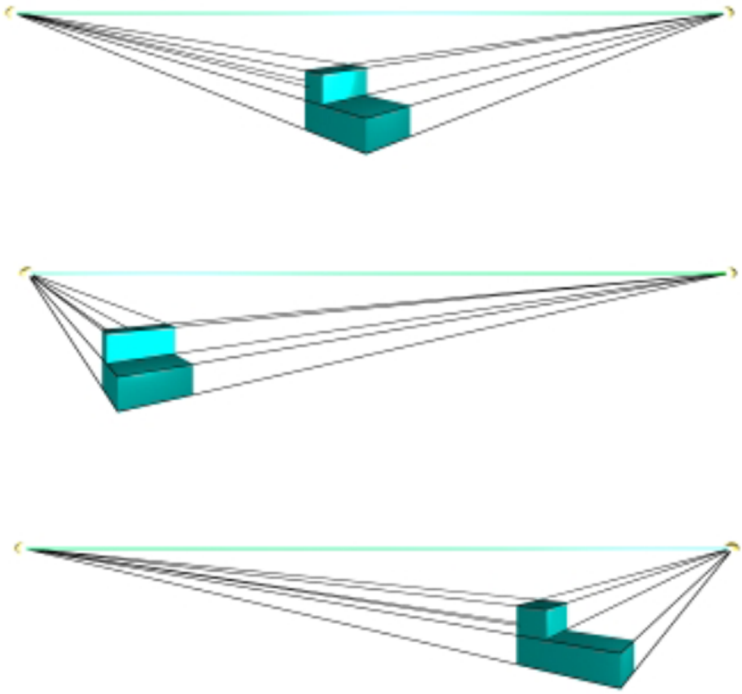
Perspectiva cònica amb dos punts de fuga



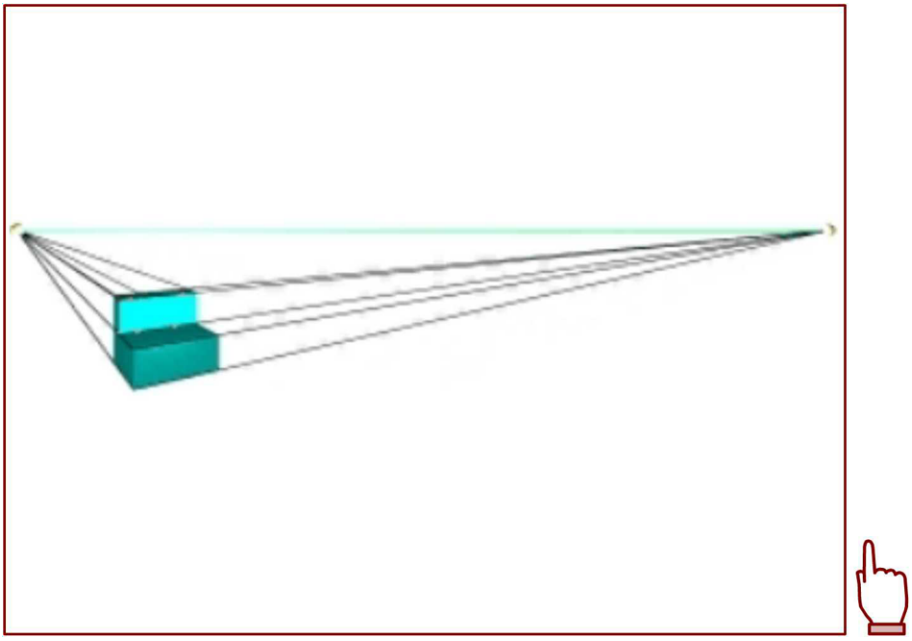
Perspectiva cònica amb dos punts de fuga i les direccions de fuga

En les tres imatges següents podem veure l'efecte que es produeix en desplaçar horitzontalment l'objecte i mantenint el punt de vista. El mateix efecte es produeix si desplacem horitzontalment el punt de vista sense variar la direcció de projecció respecte al pla del quadre.

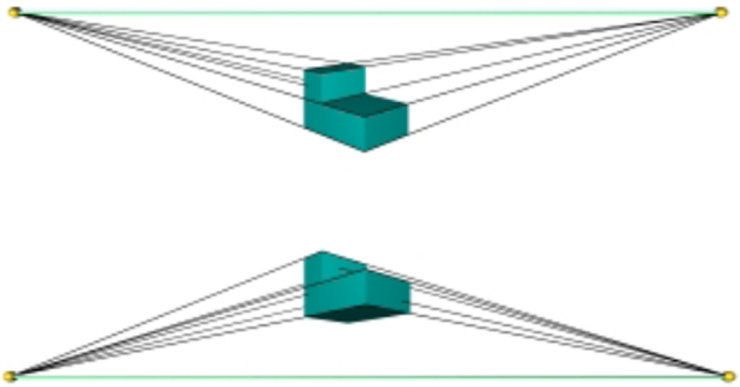
Fixeu-vos que la línia horitzontal correspon a l'altura del punt de vista i es correspon amb la denominada *línia de l'horitzó*.



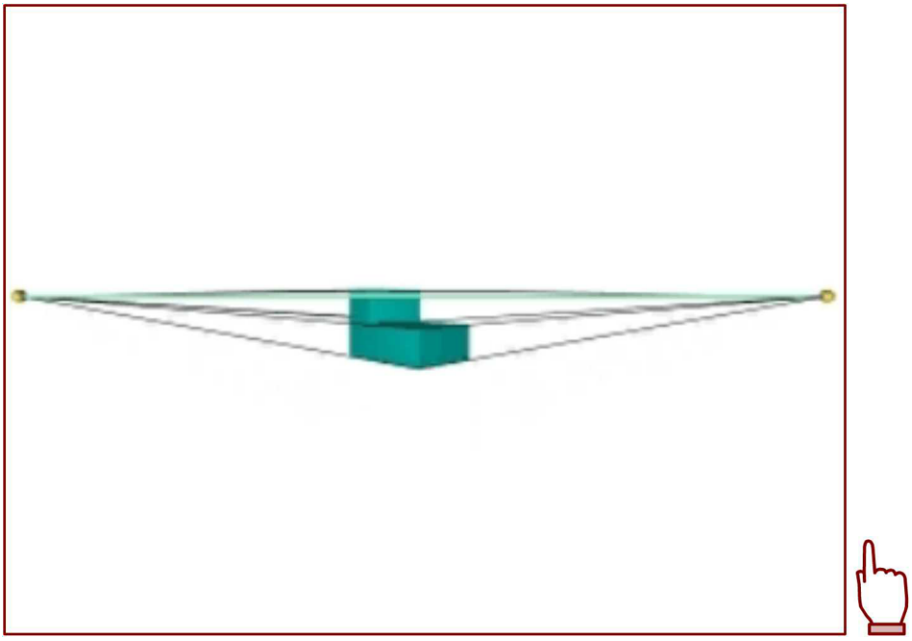
Perspectiva cònica amb dos punts de fuga



De la mateixa manera, podem veure l'efecte que produeix un desplaçament vertical del punt de vista (la línia de l'horitzó ens pot ajudar a veure a quina altura es troba el punt de vista en cada moment respecte a la posició de l'objecte).

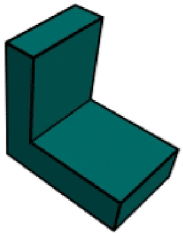


Perspectiva cònica amb dos punts de fuga

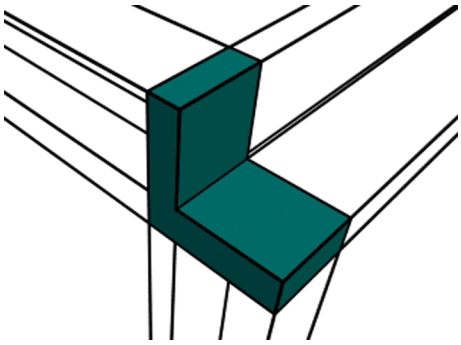


4.6. Perspectiva cònica amb tres punts de fuga

Es denominen d'aquesta manera les perspectives còniques en què l'objecte se situa de manera que els tres eixos principals *X*, *Y* i *Z*, són oblics respecte al pla del quadre.

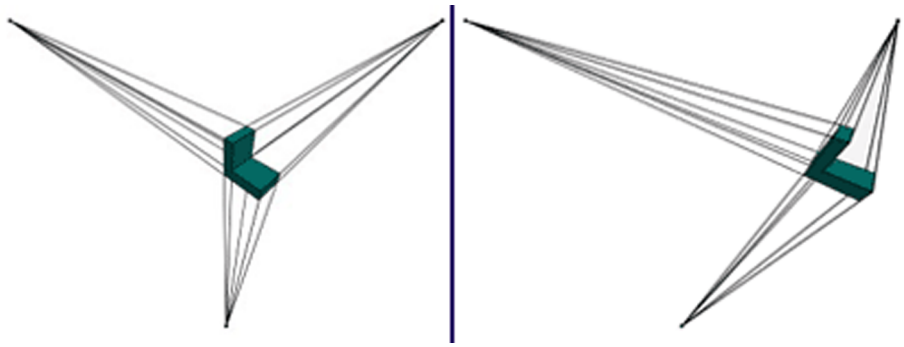


Perspectiva cònica amb tres punts de fuga

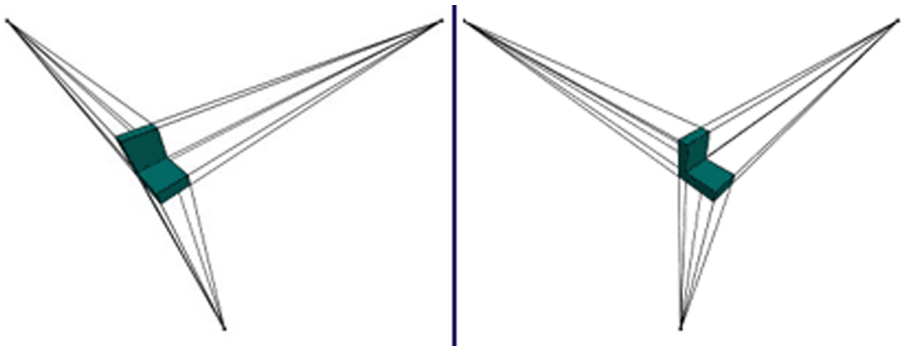


Perspectiva cònica amb tres punts de fuga

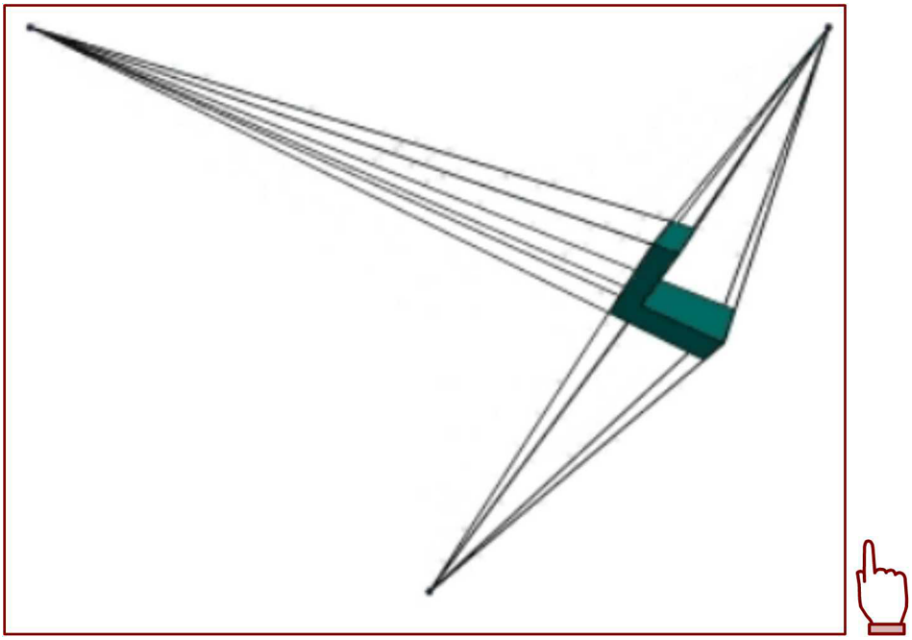
Observeu l'efecte que es produeix en moure horitzontalment el punt de vista en una cònica amb tres punts de fuga mantenint alhora la posició relativa entre el pla del quadre i l'objecte.



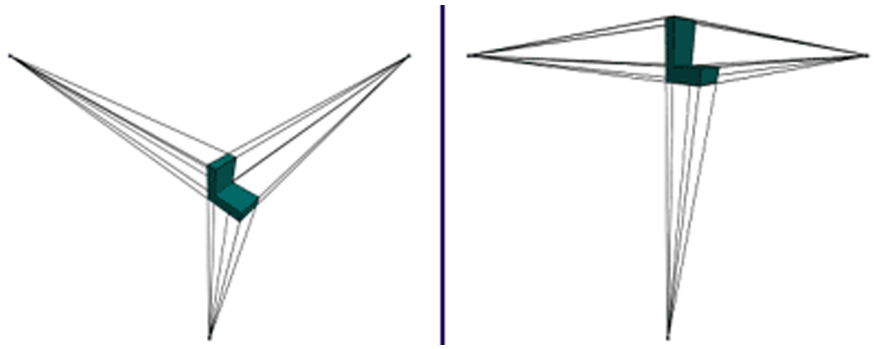
Perspectiva cònica amb tres punts de fuga. Moviment horitzontal del punt de vista



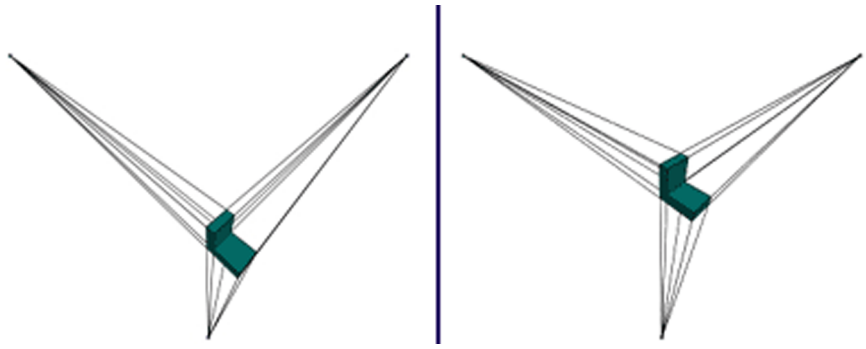
Perspectiva cònica amb tres punts de fuga. Moviment horitzontal del punt de vista



De la mateixa manera, en les imatges següents podem veure l'efecte que produeix un moviment vertical del punt de vista sobre la perspectiva resultant.

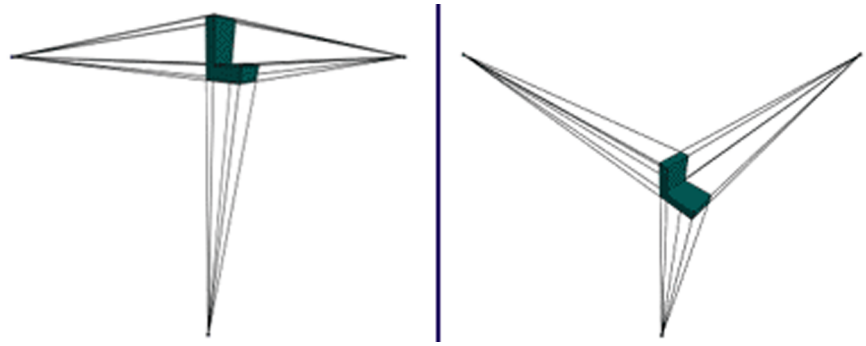


Perspectiva cònica amb tres punts de fuga. Moviment vertical del punt de vista

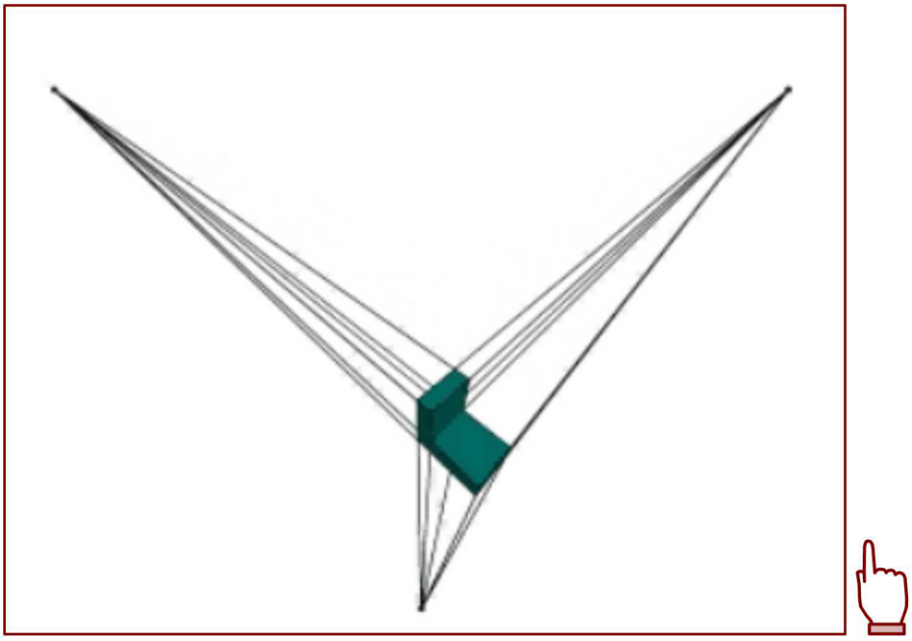


Perspectiva cònica amb tres punts de fuga. Moviment vertical del punt de vista

Es pot destacar la gran deformació que es produeix en la imatge resultant quan ens allunyem de la perpendicular al pla del quadre, tant en el moviment horitzontal com en el vertical. Llavors es diu que sortim del con de visió òptima que veurem en l'etapa següent.



Perspectiva cònica amb tres punts de fuga. Moviment vertical del punt de vista



5. Estudi, característiques i comparació dels diferents mitjans

5.1. Introducció

Els programes informàtics de disseny i animació tridimensional estan implementats amb ordres i utilitats que ens permeten generar, transformar i manipular càmeres sintètiques a fi d'obtenir instantànies o animacions d'una escena amb tots els seus components.

Aquestes càmeres sintètiques generalment són concebudes per a emular el procés que es produeix en les càmeres fotogràfiques convencionals i, per aquesta raó, comparteixen la terminologia i els conceptes bàsics de coneixement necessari per al seu bon ús, que seran l'objectiu d'aquest capítol.

El funcionament de les càmeres fotogràfiques es basa en fenòmens físics relacionats amb l'òptica, però els seus resultats, les imatges que es poden obtenir (fotografies), es fonamenten en conceptes gràfics de projectivitat relacionats amb les perspectives còniques i axonomètriques, analitzades en les etapes anteriors.

També el procés de la visió comparteix en certa mesura els mateixos fonaments físics i gràfics comentats per a les càmeres fotogràfiques, a més de fenòmens fisiològics relacionats amb els òrgans implicats (els ulls, amb les diferents parts que els integren, i el cervell, encarregat de concebre el resultat final i la seva interpretació), que ja han estat comentats des d'altres vessants en els continguts d'altres assignatures amb diferent orientació (percepció, etc.).

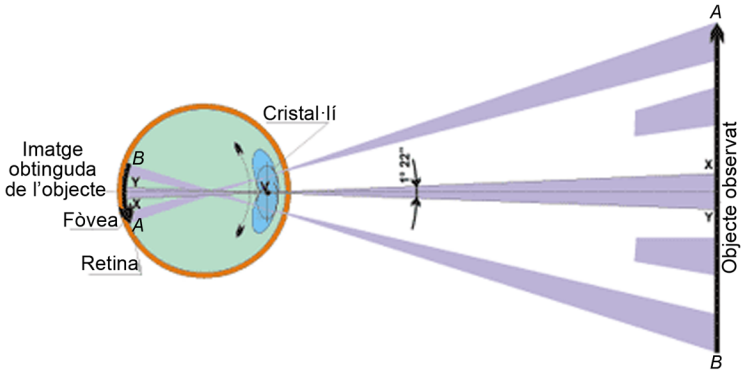
En el fons, els diferents mitjans comentats tenen com a objectiu comú crear imatges, la generació i les característiques de les quals es poden analitzar des del punt de vista gràfic, per la qual cosa a l'hora de controlar els resultats podrem extreure conclusions útils de la seva comparació i anàlisi.

Primer es descriuran somerament les característiques i els processos implicats en cada cas, per a després comparar-los i fer les deduccions corresponents.

5.2. Visió

En la figura següent es representa el funcionament de la visió monocular i es pot veure un doble con amb vèrtex comú en el cristal·lí, que representa la trajectòria que segueix la llum en el procés de formació de la imatge. Bàsicament, el cristal·lí és capaç d'adaptar la seva forma per a aconseguir un enfocament correcte a la retina, que té forma esfèrica, però possiblement a causa d'aquesta

forma només s'aconsegueix un fragment d'imatge nítida (corresponent a un con l'angle del qual en el vèrtex és aproximadament d'1°, 22'). Per això, per a aconseguir una imatge completa, l'ull fa una sèrie de moviments inconscients amb què genera una espècie d'escombratge, la informació de la qual és enviada al cervell, que serà l'encarregat de recompondre la imatge completa i nítida del que s'ha observat.



Esquema del procés visió

Així s'aconsegueixen imatges correctes, malgrat problemes com el provocat per la sensibilitat diversa a la llum que tenen els receptors disposats a la retina en funció de la zona en la qual es trobin, que fins i tot pot arribar a ser nul·la com passa, per exemple, a la zona de connexió amb el nervi òptic. També es corregeixen problemes d'imatge invertida.

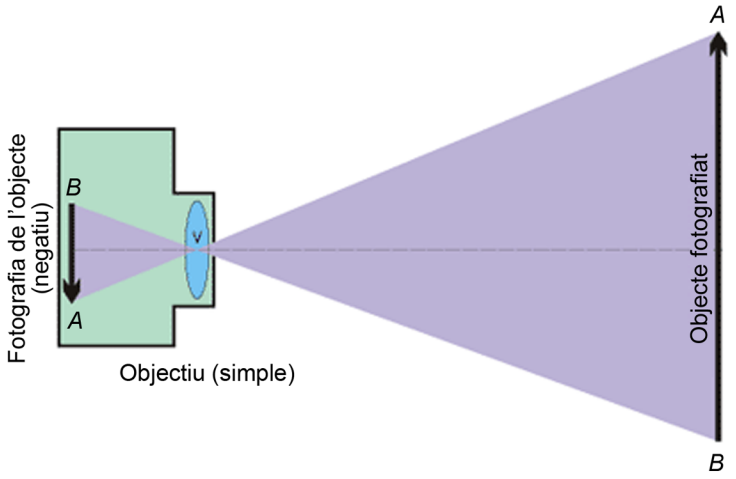
Sens dubte, el procés es repeteix de manera similar per a l'altre ull, que constitueix la visió binocular que proporciona la informació que, després de ser processada pel cervell, ens permet apreciar i avaluar la profunditat. No es descarta res, fins i tot la informació corresponent al límit del que abraça la visió s'utilitza per a desenvolupar el que es coneix com a *visió perifèrica*, de vital importància.

La conclusió que es treu del que hem exposat és que el procés de la visió és altament complex i que presenta grans diferències respecte a la resta dels mitjans d'obtenció d'imatges que s'estudien en aquesta etapa.

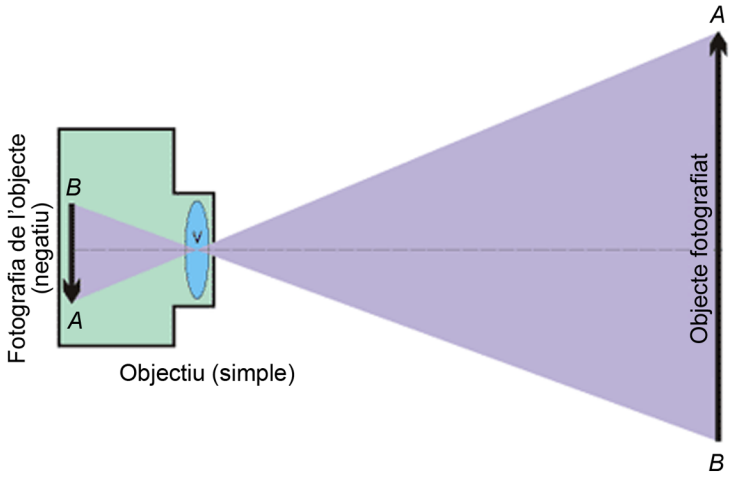
5.3. Càmera fotogràfica

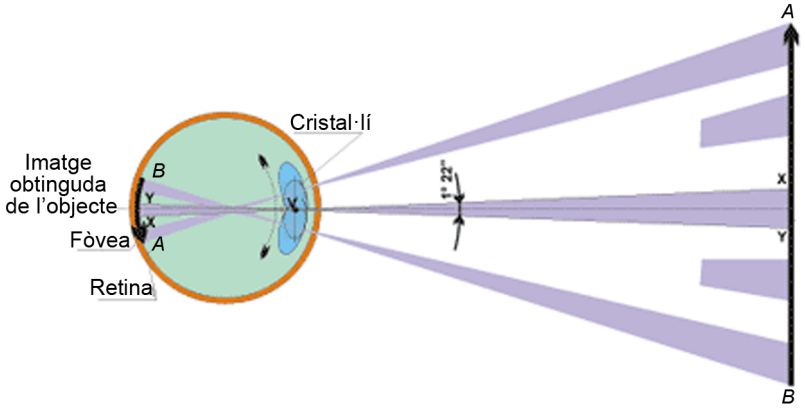
El procés comença quan s'acciona el disparador de la càmera fotogràfica i entra en funcionament l'obturador, que per un espai de temps breu i controlat, i mitjançant l'acció del diafragma, deixa passar la llum en més o menys mesura. La trajectòria de la llum també forma, com a l'ull, un doble con (doble piràmide en el cas de la càmera, considerant la pel·lícula com a base d'una d'elles) amb vèrtex comú en l'objectiu de la càmera, generalment format per un grup més o menys complex de lents, ja que una sola lent no produeix una imatge prou nítida. Tanmateix, el procés es pot simplificar a una sola lent per a la seva explicació.

La figura següent mostra el procés gràfic, en el qual *BA* seria la imatge (el negatiu) invertida de l'objecte *AB*, obtinguda per projecció cònica des del punt de vista *V*, en el qual es forma l'angle de visió.



Si comparem el procés d'obtenció de la imatge fotogràfica amb la imatge obtinguda en el procés de la visió per al mateix element *AB*, podem avaluar que diferents són tots dos processos, que, *a priori*, moltes persones consideren similars.



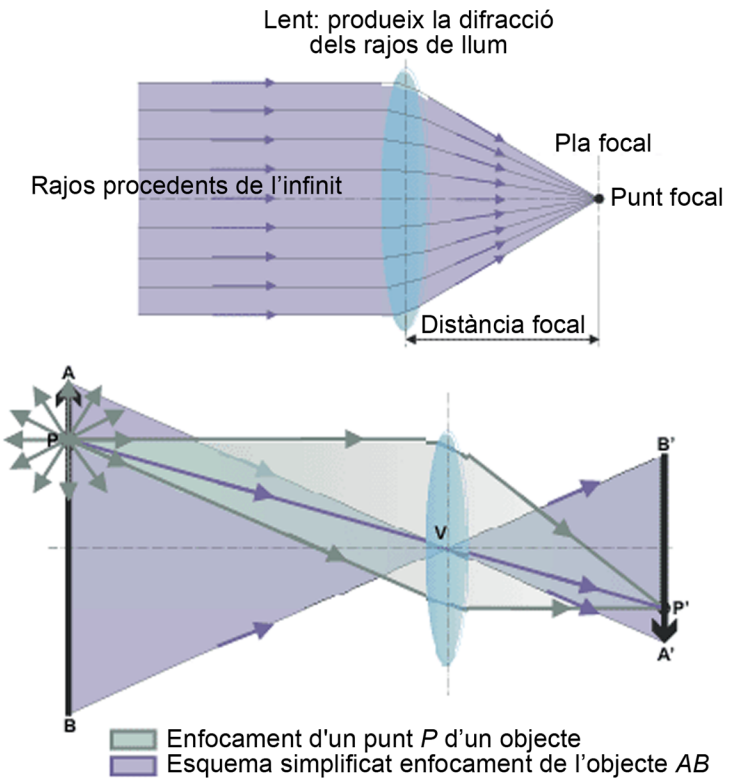


Sens dubte, en la càmera fotogràfica intervenen multitud de mecanismes complicats i de vegades sofisticats per a mesurar, controlar i regular determinades característiques que afecten de manera important el resultat final obtingut. Tanmateix, per a l'estudi gràfic que ens ocupa, no ens interessen tant aquests mecanismes com el concepte de les propietats que controlen, i que usen tant les càmeres fotogràfiques com les sintètiques que volen imitar-les, conceptes que, al seu torn, es basen en els processos gràfics de projecció.

5.3.1. Distància focal i objectius

Tal com mostra la figura, la distància focal d'una lent convexa mesura la distància en mil·límetres que separa el centre òptic de la lent de la posició en la qual convergeixen els rajos de llum (paral·lels perquè procedeixen de l'infinit) quan la lent enfoca a l'infinit (a efectes pràctics, una distància molt allunyada de la càmera).

El punt de convergència dels rajos de llum se sol denominar *punt focal*; en el seu lloc es localitza el pla focal, que és on se situa la pel·lícula.



La distància de separació entre el centre òptic de la lent i el punt focal augmenta a mesura que s'enfoquen objectes cada vegada més pròxims a fi d'aconseguir una imatge nítida, la qual cosa es coneix com l'acció **d'enfocar**.

En qualsevol cas, la distància focal es converteix en una característica utilitzada per a classificar les lents o els objectius, que poden ser de distància focal fixa o variable i es coneixen amb el nom de ***zoom***.

Quan la distància focal d'un objectiu és de la mateixa dimensió que la diagonal del rectangle de la pel·lícula utilitzada en la càmera, es diu que l'objectiu és **normal**; quan és inferior a aquesta distància, es coneix com a **gran angular**, i quan és més gran, es denomina **teleobjectiu**.

Així, doncs, per a una càmera fotogràfica estàndard de 35 mm (amplada de la pel·lícula), la imatge es forma en un rectangle de 36 mm per 24 mm, per la qual cosa la seva diagonal valdrà 43,26 mm. I per això un objectiu de distància focal 43 es considera **normal**; quan és inferior a aquesta xifra és **gran angular** i, finalment, quan és superior, és un **teleobjectiu**.

5.3.2. Angle de visió, camp visual (FOV)

Cada objectiu proporciona un angle de visió, localitzat en el vèrtex del con (piràmide en el cas de la càmera), per mitjà del qual ens podem fer una idea de la quantitat d'escena que és capaç de captar, la qual cosa es coneix com a *poder de cobertura o camp visual de la càmera* (*field of view*, amb la sigla *FOV*).

Així, doncs, s'entén que l'angle de visió i la distància focal estan relacionats. Tanmateix, a una distància focal determinada poden correspondre angles de visió diferents, ja que cal considerar les dimensions de l'element en el qual es forma la imatge (tant si és pel·lícula com, en cas de càmera digital, el CCD).

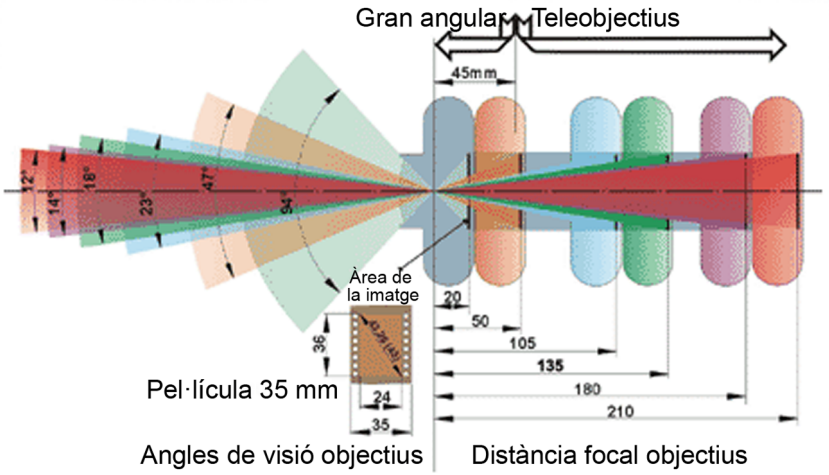
Aquest angle es mesura, en graus, de diverses maneres:

- Entre els vèrtexs oposats d'una de les diagonals que defineix el rectangle de la pel·lícula i el vèrtex del con (és la manera habitualment utilitzada en fotografia).

- Entre els dos costats més petits oposats del rectangle de la pel·lícula i el vèrtex del con.

- Entre els dos costats més grans oposats del rectangle i el vèrtex del con.

En la imatge següent es pot veure com varia l'angle, sempre mantenint el format constant de la pel·lícula, amb objectius de distàncies focals diferents, com també algunes mostres de l'efecte que produeix en la imatge resultant.



Com es pot veure, un objectiu de tipus gran angular té un angle de visió gran, per la qual cosa és capaç de captar una gran quantitat d'escena. Tanmateix, aquesta es pot arribar a deformar i sens dubte falseja les distàncies, de manera que els objectes més propers semblen molt més grans que els més allunyats.

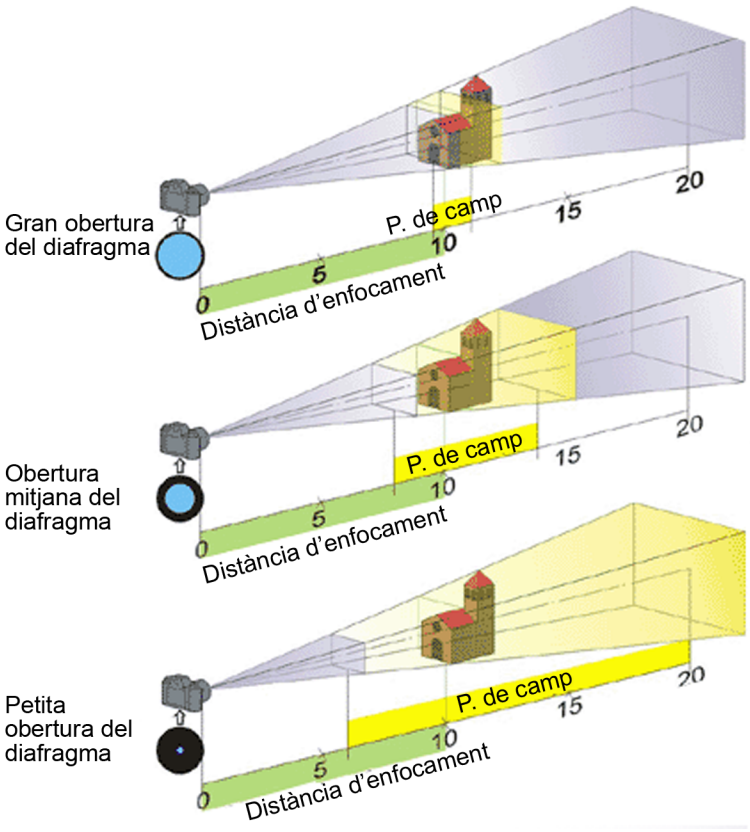
A un teleobjectiu correspon un angle de visió petit, la qual cosa fa que l'escena captada sigui més petita, però queda situada en el mateix espai destinat a aquesta finalitat en el dispositiu receptor de la imatge. Per aquest motiu, els objectes s'engrandeixen i donen la sensació de ser més a prop. Al contrari, la imatge obtinguda perd profunditat (la imatge s'aplana) i en observar-se més el detall de seguida s'aprecien els errors de focus.

5.3.3. Profunditat de camp

Quan amb una càmera fotogràfica s'enfoca cap a un objecte determinat, la distància entre la lent i la pel·lícula s'ajusta per a obtenir la imatge nítida de l'objecte esmentat. Tanmateix, en la imatge també apareixen nítids els objectes situats davant i darrere del de referència, amb la qual cosa es defineix un cert rang de distàncies entre les quals els objectes apareixen nítids. En realitat, dins del rang de distàncies, la nitidesa a partir de l'objecte de referència va disminuint fins i tot els límits superior i inferior, en els quals els objectes ja s'aprecien totalment borrosos.

El rang de distàncies esmentat és variable i està influït per la quantitat de llum que permet passar el diafragma de la càmera, de manera que com menys quantitat de llum, més profunditat de camp s'obté.

La figura il·lustra esquemàticament el procés, l'interès del qual per a l'estudi que estem fent rau en el fet que algunes càmeres virtuals imiten els seus resultats en les imatges obtingudes.



La profunditat de camp també està influïda pel tipus d'objectiu que s'utilitza. Un gran angular sembla augmentar la profunditat de camp perquè en comprimir la imatge dels objectes, aquests semblen nítids dins d'un rang de distàncies més gran. Amb els teleobjectius passa el contrari: magnifiquen la imatge, i es troben objectes amb errors de focus en un interval de distàncies aparentment més curtes.

Un altre element que afecta la profunditat de camp és la distància de l'objectiu a l'objecte fotografiat. Com més gran és aquesta distància, més profunditat de camp s'obté.

El diafragma, a més d'afectar a la profunditat de camp, en general s'utilitza per a adaptar les condicions d'il·luminació exterior d'acord amb les necessitats de sensibilitat a la llum de la pel·lícula utilitzada i obtenir així fotografies exposades correctament, és a dir, ni excessivament clares (sobreexposades) ni excessivament fosques (subexposades). Per a això es combinen tant la regulació del diafragma com el control de la velocitat d'obturació, que també afecta la quantitat de llum final que rep la pel·lícula (també s'utilitza per a aconseguir fotografies nítides d'objectes en moviment). Aquests aspectes, relacionats amb la il·luminació correcta en el disseny tridimensional, no es confien a la càmera sintètica, sinó a la il·luminació virtual de l'escena, per la qual cosa s'abordaran en un altre capítol.

Quant a la quantitat de llum que deixa passar el diafragma per la seva obertura, s'utilitza el nombre *f*, que és la relació entre la distància focal de l'objectiu i el diàmetre d'obertura del diafragma. D'aquesta manera, s'aconsegueix un valor que és en funció de la distància focal, la qual cosa el converteix en constant per a qualsevol objectiu i permet la intercanviabilitat. Així, doncs, per exemple, per a un valor de *f*6 se sap que el diàmetre de l'obertura del diafragma serà 1/6 de la distància focal de l'objectiu que s'estigui usant.

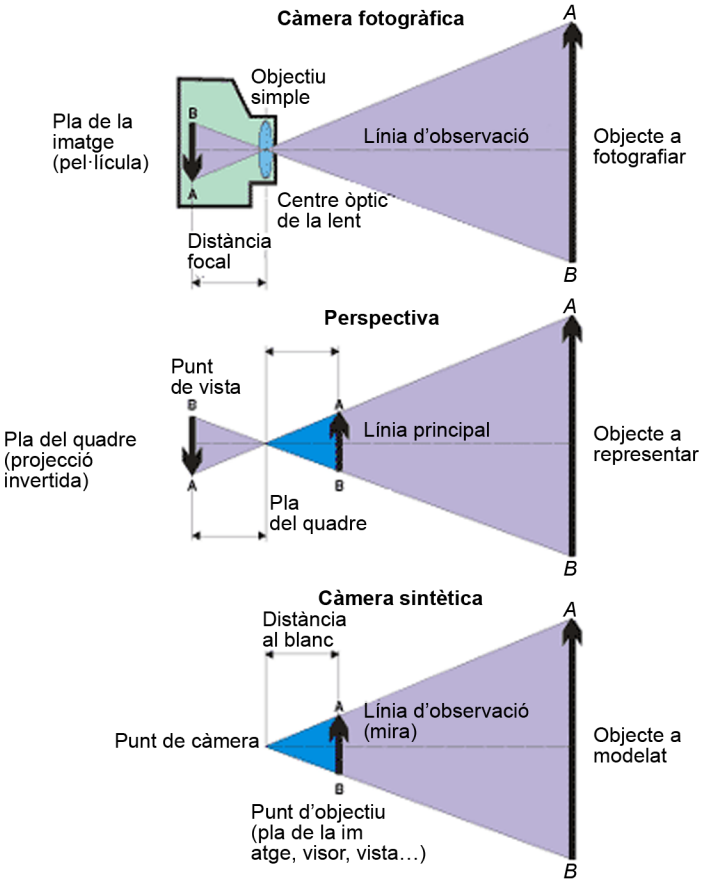
Els fotògrafs professionals usen de diverses maneres el fenomen de la profunditat de camp, com per exemple per a fer un enfocament selectiu en què tot es veu borrós menys l'objecte seleccionat, la qual cosa fa que s'hi centri l'atenció visual.

5.4. Càmeres sintètiques

Les càmeres sintètiques o virtuals són les que utilitzen els programes informàtics de disseny tridimensional per a obtenir imatges o animacions de les escenes que s'hagin generat.

Són les rutines de programació i els algoritmes matemàtics basats en la geometria projectiva els que implementen les ordres necessàries que permeten la generació i el control de les càmeres sintètiques en els programes. El procés conclou amb l'ombrejat (renderització), que permet l'obtenció final de les imatges dels objectes de l'escena, possiblement barrejats amb fons i efectes especials. Tanmateix, respecte a l'usuari d'aquests programes, les càmeres virtuals es comporten com les càmeres fotogràfiques, i per això comparteixen alguns paràmetres i conceptes, i fins i tot s'arriben a usar d'una manera similar, fins i tot en l'àmbit creatiu.

La figura següent mostra, des del punt de vista gràfic, la similitud del procés en les càmeres convencionals, la perspectiva i les càmeres sintètiques quan s'utilitzen paràmetres iguals (angle de visó, etc.).



La imatge que es produeix en la pel·lícula (el negatiu), situada a l'interior de la càmera fotogràfica a la distància d'enfocament del centre òptic de l'objectiu, és invertida respecte a l'original, sense que això afecti el resultat de la fotografia obtinguda ni l'operador que la fa, que també observa la imatge correctament, ja que el disseny de la càmera disposa de mecanismes addicionals per a això.

En la perspectiva, també es pot obtenir una imatge projectada invertida (situant el pla del quadre abans del punt de vista a la mateixa distància d'enfocament que es va utilitzar en la càmera). Tanmateix, interessa que la imatge no s'inverteixi, per la qual cosa només caldrà avançar el pla del quadre la mateixa distància que abans el separava del punt de vista. D'aquesta manera, el pla del quadre continua mantenint les mateixes dimensions que abans de desplaçar-lo i, per tant, es manté el format de la fotografia, encara que cal ressenyar que, si s'ultrapassa la distància esmentada, el pla del quadre augmentarà les seves dimensions de manera proporcional, igual com els objectes representats (tot serà proporcionalment més gran). Això passa perquè el raig de projecció que produeix el punt en perspectiva només l'afecten la posició del punt de vista i la de l'objecte que cal representar.

La càmera sintètica, basada en el procés projectiu que utilitza la perspectiva, manté les seves mateixes característiques. També interessa que la imatge projectada de l'escena modelitzada o vista que es formarà en el visor aparegui sense invertir-se, per la qual cosa s'avança el visor respecte al punt en què es tingui situada la càmera.

Tanmateix, en les càmeres virtuals, la imatge final resultant s'obté mitjançant algoritmes d'ombrejat, processant dades de forma i les seves masses interiors sobre la base de paràmetres d'il·luminació, etc., per la qual cosa la posició en què se situa el visor (que afecta la mida proporcional de tota la imatge) deixa de tenir importància, ja que l'ombrejat s'encarregarà d'ajustar la imatge al format requerit.

El punt sobre la línia d'observació en què el visor se situa perpendicularment es denomina de diferents maneres (*punt de destinació –target–*, *objectiu de càmera*, *distància al blanc*, etc.). En els programes informàtics es verifica que el seu desplaçament en la direcció de la línia d'observació no afecti el resultat obtingut (encara que sí s'utilitza en relació amb altres conceptes com, per exemple, en la definició del volum de càmera).

5.4.1. Volum de càmera

El volum de càmera d'una càmera sintètica es pot definir com el volum del cos generat en unir el punt en què està situada la càmera amb els vèrtexs del rectangle en el qual es representa la imatge (visor, vista, etc.).

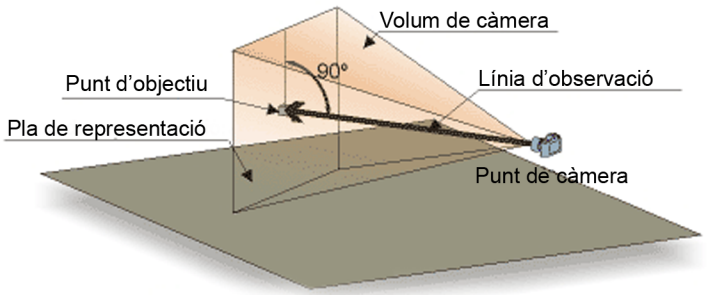
En funció de si la càmera utilitza projecció cònica o paral·lela, el cos definit serà una piràmide o un prisma recte (paral·lelepípede), cossos, des del punt de vista informàtic, més senzills de generar i manipular que cons o cilindres rectes de revolució.

És important ressenyar que l'eix de la piràmide o paral·lelepípede del volum de càmera sempre és perpendicular al pla en què es representa la imatge i passa pel seu centre de simetria.

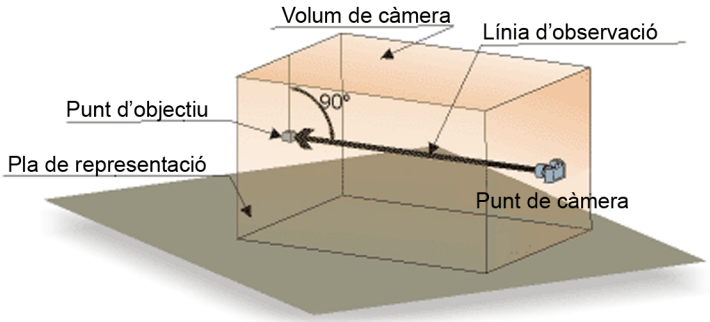
Aquest eix es coneix com a *línia d'observació* o *de visió* i el seu equivalent en perspectiva cònica és la línia principal que passa pel punt principal (punt del pla del quadre que s'obté en traçar una recta perpendicular a aquest pla des del punt de vista). La distància del punt principal al punt de vista defineix la distància principal.

En les càmeres fotogràfiques convencionals també passa el mateix, però hi ha càmeres especials en les quals l'objectiu es pot girar a voluntat respecte a la posició de la pel·lícula, amb la finalitat de produir imatges especials o per a

corregir la perspectiva (per exemple, per a disminuir o eliminar l'efecte de fuga de la direcció vertical, la qual cosa es coneix com a *paral·laxi*), per la qual cosa es dedueix que aquest procediment no es pot emprar en les càmeres virtuals.



Càmera que utilitza projecció cònica

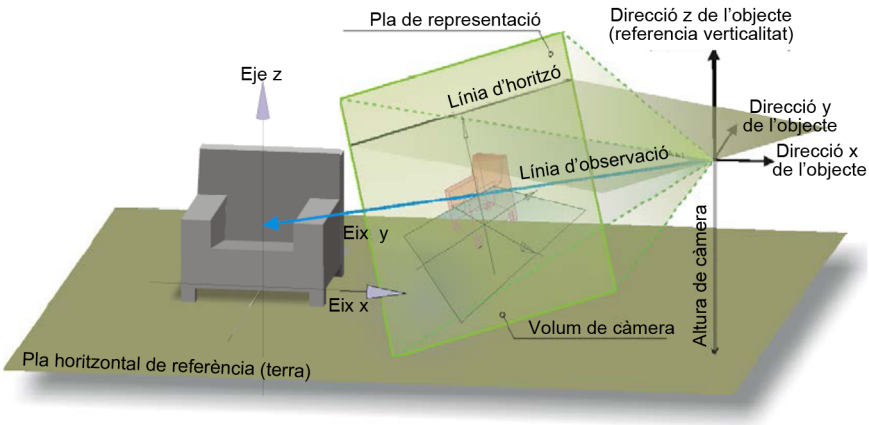


Càmera que utilitza projecció paral·lela

5.4.2. Línia d'horitzó

Es tracta d'una característica que de vegades incorporen les càmeres sintètiques dels programes de disseny 3D, consistent en una línia horitzontal que apareix dibuixada en l'escena i serveix de referència visual per a informar sobre l'angle d'inclinació i l'altura de la càmera respecte al terra (generalment, la seva visualització es controla mitjançant opcions).

En la figura següent s'explica el sentit gràfic de la línia d'horitzó i es pot veure que es tracta de la intersecció del pla de l'escena amb un pla paral·lel al terra, utilitzat com a referència i que passa pel punt de vista.

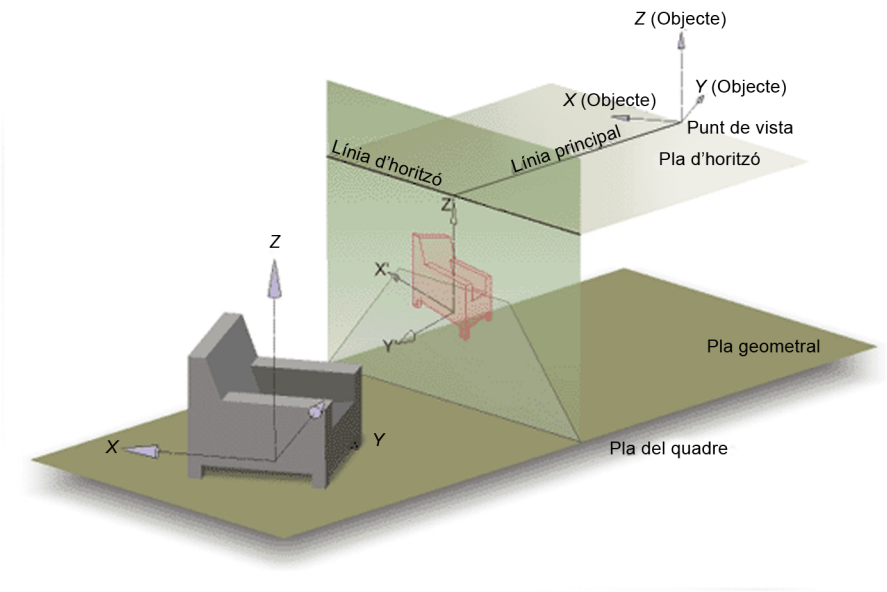


Com conseqüència, i atès que l'escena sempre es manté perpendicular i centrada respecte a la línia de visualització de la càmera, es dedueix que, si varia la inclinació de la línia de visualització respecte al terra, també varia la posició de la línia d'horitzó, pujant o baixant en l'escena (en aquest cas, el tipus de perspectiva que produeixen els objectes varia, com també la seva posició en l'escena, i la línia d'horitzó es desplaça mantenint la seva separació relativa als objectes representats).

Si es manté la inclinació de la línia de visualització respecte al terra, però es modifica la distància de la càmera (punt de vista) al terra, la línia d'horitzó no varia la seva posició en l'escena (en aquest cas, el tipus de perspectiva que produeixen els objectes no canvia, encara que sí que ho fa la seva posició en l'escena, mentre que la línia d'horitzó resta constant sense desplaçar-se ni mantenir la seva posició relativa respecte a la perspectiva dels objectes).

Per a una persona amb la mirada en la llunyania i paral·lela al terra, la seva línia d'horitzó natural (definida pels objectes llunyans en convergir per efecte de la perspectiva) estaria determinada per la seva estatura. D'aquesta manera, altres persones d'estatura similar comparteixen el mateix horitzó, que s'alinea a l'altura dels ulls i permet determinar visualment si una persona és més alta o més baixa que les altres.

En la perspectiva cònica, la línia d'horitzó s'obté per intersecció del pla del quadre, en el qual es representa la perspectiva, amb el pla horitzontal (perpendicular al pla del quadre i paral·lel al pla geometral del terra) que conté el punt de vista. Per aquest motiu, sobre aquesta es troben els punts de fuga de totes les direccions horitzontals de l'objecte. La figura següent il·lustra el procés.

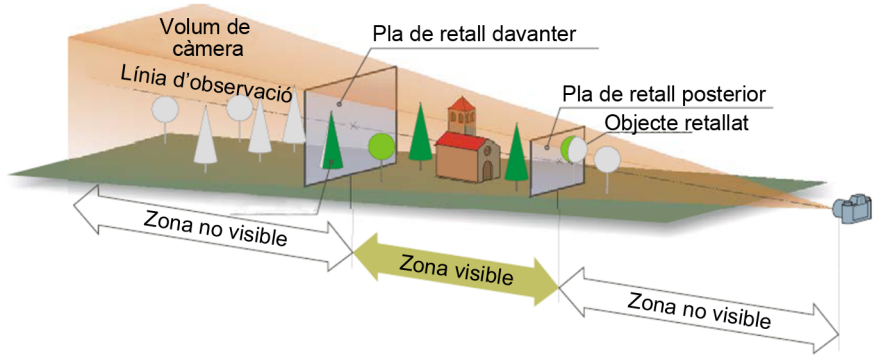


Atès que la línia d'horitzó baixarà o pujarà respecte a la perspectiva de l'objecte, dibuixada en el pla del quadre, segons com variï la separació del punt de vista al pla geometral del terra, podrem saber si el punt de vista és alt o baix.

5.4.3. Plans de retall

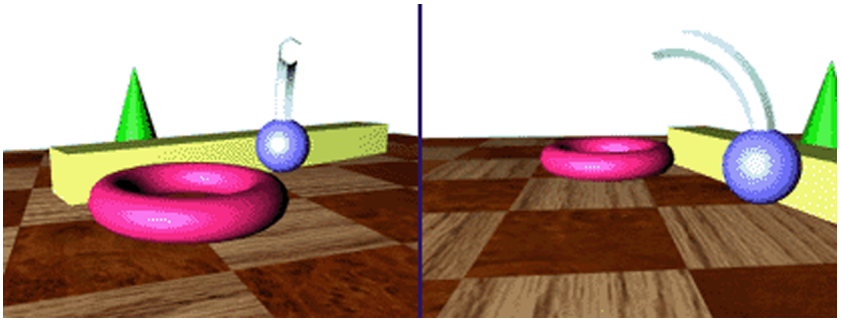
Les càmeres sintètiques també tenen algunes característiques pròpies, com poden ser els **plans de retall**. Es tracta de dos plans, un més proper al punt de vista (davanter) i un altre a més distància (posterior), perpendiculars a la línia de visió (eix del con, piràmide) i que podem situar a voluntat. La seva missió és fer que en la imatge resultant només es vegin els objectes compresos entre els plans esmentats.

Si un pla de retall, per exemple davanter, travessa un objecte, el retallarà i deixarà veure el seu interior, propietat de gran utilitat, ja que permet superar les barreres físiques del món real.

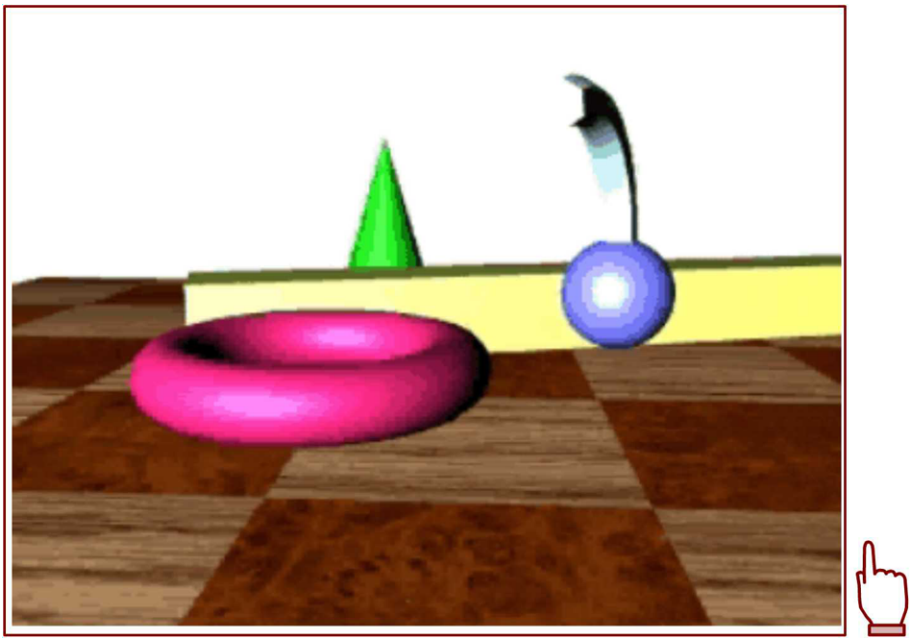


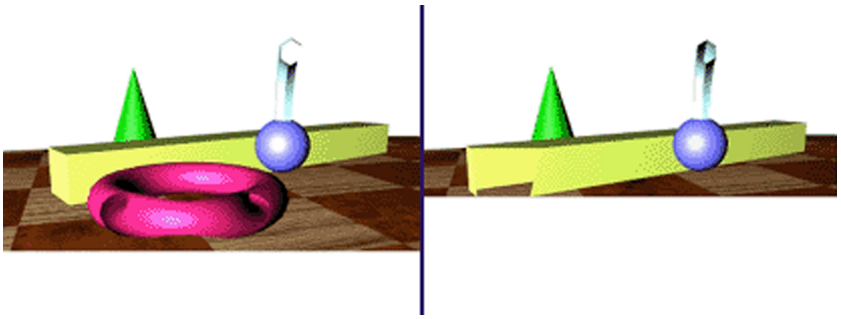
La utilització dels plans de retall permet eliminar els objectes que, en estar molt allunyats, són massa petits, així també aclarir una escena molt complexa i eliminar, en la representació, els objectes que en compliquen l'anàlisi.

Fixeu-vos en les figures següents el resultat de retallar mitjançant un pla anterior i mitjançant un pla posterior.

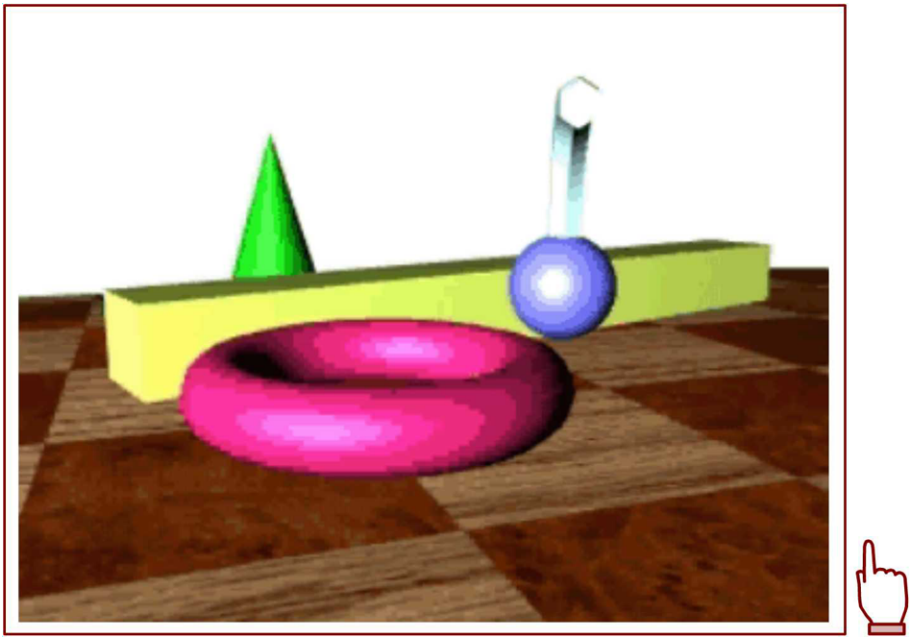


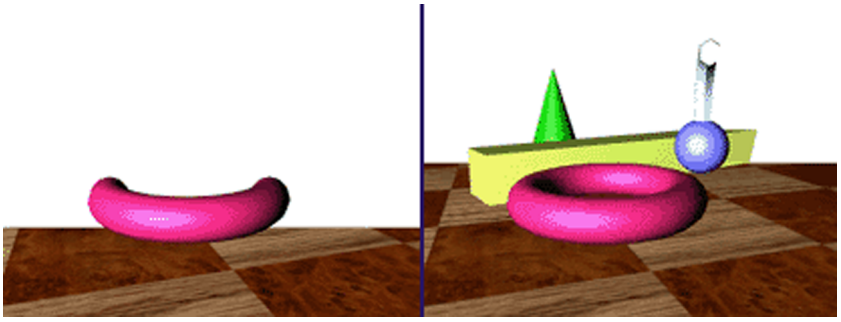
Escena de referència per a observar accions de càmera



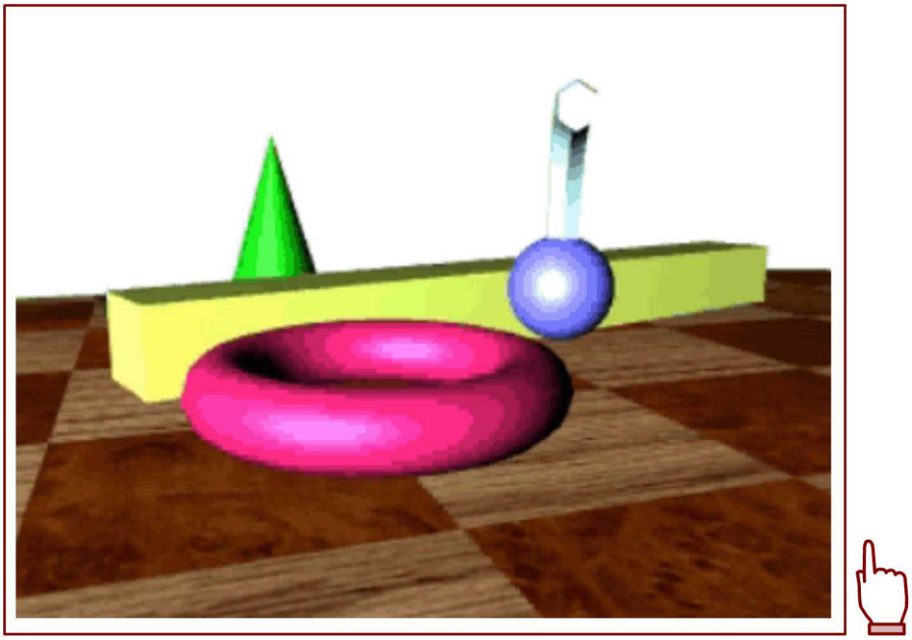


Exemple de retall pla anterior





Exemple de retall pla posterior



5.4.4. Profunditat de camp, trets d'entorn

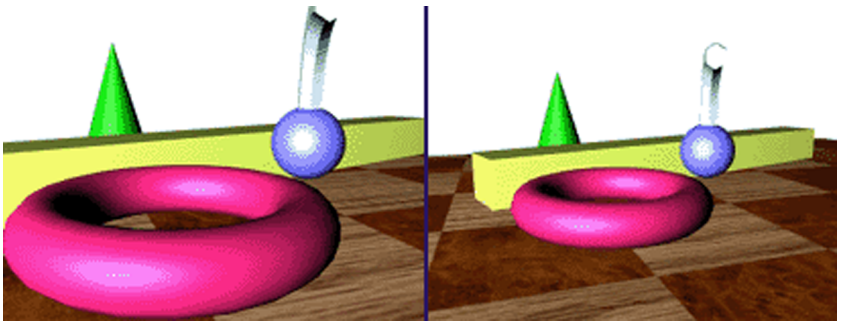
Les càmeres virtuals també poden simular la profunditat de camp, si bé tots els programes informàtics no incorporen aquesta característica. En aquest cas s'ha de recórrer a altres procediments per a la seva simulació, com ara el desenfocament selectiu d'objectes i l'aplicació de filtres en el procés d'ombrejat (*render*) o com a procés posterior aplicat a la imatge (postprocés).

Una altra característica que poden incorporar les càmeres virtuals és la possibilitat d'utilitzar rangs d'entorn i definir una distància mínima i una distància màxima d'influència, que després es podran utilitzar per a controlar la generació d'efectes especials (com, per exemple, la boira).

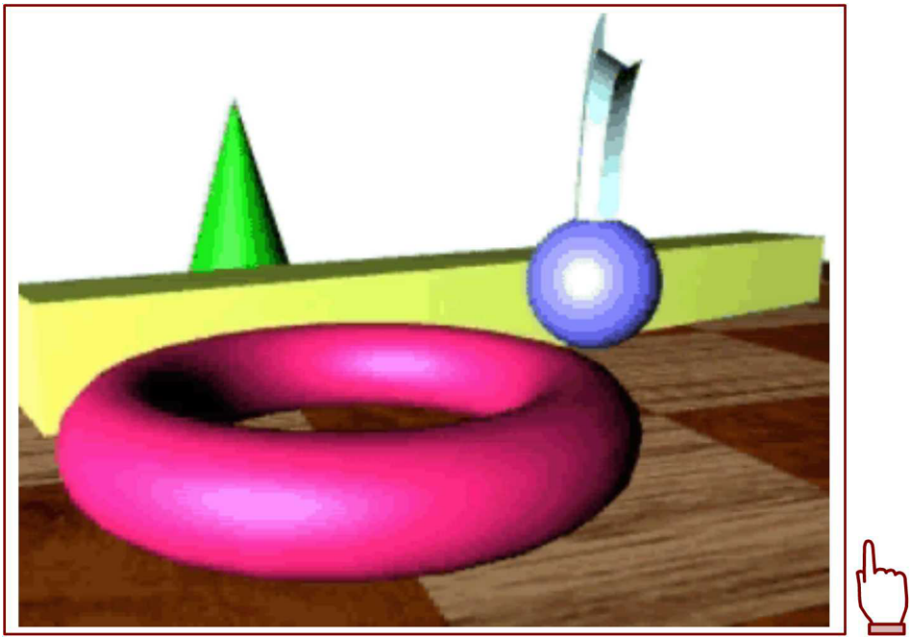
La manera de representar, controlar i aplicar els rangs d'entorn de la càmera és pròpia de cada programa informàtic concret utilitzat.

Les possibilitats de generació d'imatges realistes mitjançant els programes informàtics de disseny tridimensional utilitzant càmeres sintètiques es veuen realçades amb la incorporació de característiques com les esmentades, i fins i tot poden arribar a superar la realitat en permetre la creació d'efectes sense parangó en la vida real (i, per això, impossibles o molt difícils de crear amb càmeres fotogràfiques).

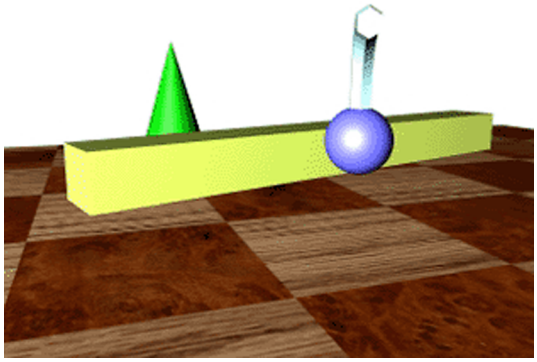
La imatge següent mostra l'efecte *zoom* (acostament de la càmera a l'objecte en la direcció de la visual) en l'escena anterior.



Efecte *zomm* en l'escena



Una altra de les possibilitats de la visualització informàtica és ocultar objectes perquè no apareguin en l'escena. La figura següent mostra com s'ha ocultat l'objecte anterior en l'escena.



Ocultació d'objectes

5.4.5. Imatges fotogràfiques de fons

Quan en un programa informàtic de disseny tridimensional s'utilitza una càmera sintètica per a generar una imatge d'una escena conjuntament amb imatges fotogràfiques com a fons, pot passar que els paràmetres de càmera (localització del punt de vista, objectiu, angle visual, etc.) no concordin amb els que es van utilitzar per a fer la foto del fons. El resultat més probable en aquest cas és que, en la imatge obtinguda, els objectes apareguin amb una perspectiva diferent respecte al fons, amb la qual cosa sembla que flotin, no es mantenen les proporcions, etc. Quan la diferència de paràmetres és notable, és fàcil apreciar els defectes de concordança, però de vegades els defectes són més difícils d'apreciar i, simplement, es percep que alguna cosa està malament.

Per a solucionar aquest problema hi ha diverses possibilitats, entre elles fer la fotografia que s'utilitzarà com a fons prenent nota de les dades necessàries per a restituir la càmera en el programa informàtic utilitzat. Una altra manera seria extreure les dades necessàries per a la restitució mitjançant traços dibuixats en la mateixa fotografia sobre la base de coneixements de geometria descriptiva i projectiva.

De vegades, els programes informàtics de disseny tridimensional incorporen rutines que són capaces de restituir amb més o menys aproximació una càmera sintètica (amb els paràmetres corresponents) a partir de la imatge fotogràfica utilitzada com a fons, sobre la base de dades reals dels objectes que apareixen en la imatge del fons. Tanmateix, això no es pot aplicar si no coneixem les dades.

També és possible situar la càmera sintètica de manera aproximada basant-nos en l'experiència, movent-la de manera adequada i provant amb diferents angles de visió, i utilitzar com a referència la imatge fotogràfica ja situada en el fons de l'aplicació.

En la imatge de l'edifici singular (masia Freixa, edifici modernista dissenyat per l'arquitecte Moncunill), es veu la modelització parcial de la seva teulada particular sobre la base d'una fotografia de catàleg utilitzada com a fons en una aplicació informàtica de disseny 3D.

Els elements modulars de la teulada es modelen en tres dimensions d'acord amb les seves posicions espacials, utilitzant com a element de referència la imatge fotogràfica en perspectiva situada com a fons. Es localitzen els paràmetres de càmera que corresponen a la imatge fotogràfica i amb aquests es genera la càmera virtual corresponent.

En el mercat hi ha aplicacions informàtiques especifiques destinades a facilitar la modelització d'objectes en tres dimensions a partir d'imatges fotogràfiques.

5.5. Distorsions perspectives, òptiques

En circumstàncies determinades, tant en les càmeres fotogràfiques com en la perspectiva o en les càmeres virtuals, es poden produir distorsions en la imatge obtinguda que, tanmateix, no són percebudes per l'ull humà, que en molts casos corregeix automàticament aquests defectes.

Es pot percebre el procés de manera pràctica mitjançant l'exemple següent:

Si observem una pilota de futbol, sempre en percebrem la forma esfèrica com un cercle perfecte, sigui quina sigui la direcció d'observació que escollim. Tanmateix, si fotografiem la pilota, la seva forma circular en la imatge dependrà de la direcció en la qual hagi estat fotografiada, de manera que com més al centre de la fotografia se situï, més circular en serà la forma (si la pilota se situa en els laterals de la imatge, la forma deixa de ser circular i es converteix en el·líptica).

Si considerem els rajos de llum del volum interior del con (piràmide, considerant el format rectangular de la pel·lícula, el pla de quadre o el visor) com a línies de projecció que en incidir sobre el pla de representació determinen un punt de la imatge, es comprèn que, com més gran sigui l'angle particular d'incidència d'aquests rajos amb el pla, més es deformarà la imatge. Per aquest motiu, un gran angular (distància focal petita o angle gran en el vèrtex) produeix imatges més distorsionades com més ens allunyem del centre.

D'aquesta manera, per a apropar la imatge fotogràfica, la representació de la perspectiva o la imatge sintètica de la càmera virtual, a la consideració humana de percepció natural, és aconsellable limitar l'angle de visió (angle en el vèrtex del con o piràmide) a certs valors, amb la qual cosa s'introdueix el concepte d'angle de visió òptim, sobre el qual hi ha diversitat de criteris.

A més, en el cas de la fotografia, cal afegir els efectes de distorsió de la imatge produïts per les lents òptiques dels objectius (aquestes distorsions consisteixen bàsicament a fer que les línies rectes no es percebin com a tals, fenomen que es veu amb més claredat en les línies rectes horitzontals i verticals que semblen bombar-se en els extrems).

Hi ha càmeres fotogràfiques de cost elevat, utilitzades per a propòsits específics, en les quals s'han minimitzat les aberracions produïdes per les lents òptiques utilitzant lents d'alta qualitat, tallat precís i tractament superficial, juntament amb mecanismes sofisticats.

5.6. Tractament de les càmeres sintètiques en els programes informàtics. Tipus de càmeres

Els programes informàtics de disseny tridimensional que implementen ordres per a la creació i manipulació de càmeres sintètiques presenten particularitats pròpies de tipus divers com, per exemple, els models disponibles, les icones utilitzades per a representar les càmeres o alguns dels seus elements, o fins i tot les opcions disponibles.

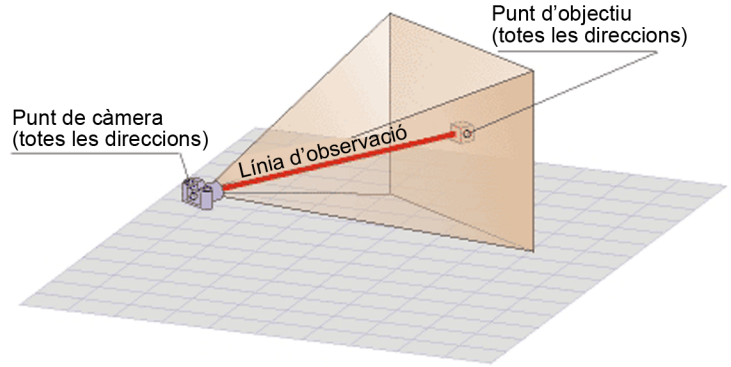
Els elements mínims a partir dels quals es pot generar una càmera sintètica són la localització concreta en l'escena (punt de vista), la direcció d'observació i la direcció de verticalitat. La resta de les característiques (objectiu, format, etc.) poden aparèixer com a opcions.

D'aquesta manera, de la diferent manera d'introduir les dades mínimes esmentades es deriven els diferents tipus de càmeres sintètiques.

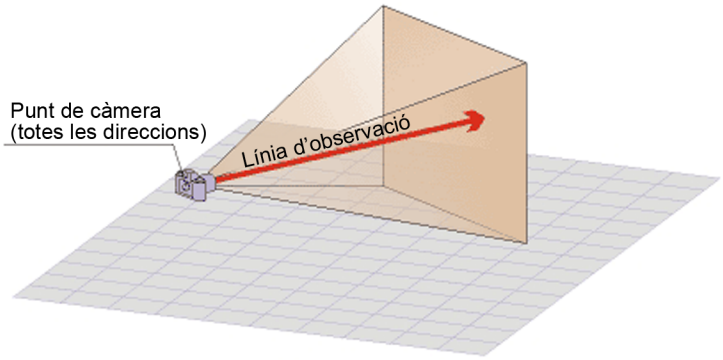
És corrent la utilització de càmeres lliures, bàsicament caracteritzades perquè la direcció d'observació es defineix mitjançant dos punts, el propi de localització de la càmera i un més, pel qual passarà la línia visual.

Un altre tipus corrent de càmera és la direcció, bàsicament caracteritzada perquè la direcció d'observació es defineix mitjançant el punt de localització de la càmera i un angle. Aquest procés pot estar més o menys automatitzat.

Cal tenir en compte que normalment les càmeres sintètiques tenen dues maneres d'obtenir les imatges: utilitzant projecció cònica (les explicades fins ara) i utilitzant projecció paral·lela (sistema explicat en aquest mateix mòdul). De vegades les representacions generades mitjançant el segon procés no es consideren vistes de càmera, sinó directament vistes d'usuari, ortogonals (alçat, perfil, planta, etc.), vistes focals o tenen altres noms, i en el seu procés de creació no intervé la càmera.



Generada per dos punts
Càmera objectiu



Generada per un punt i una direcció
Càmera lliure

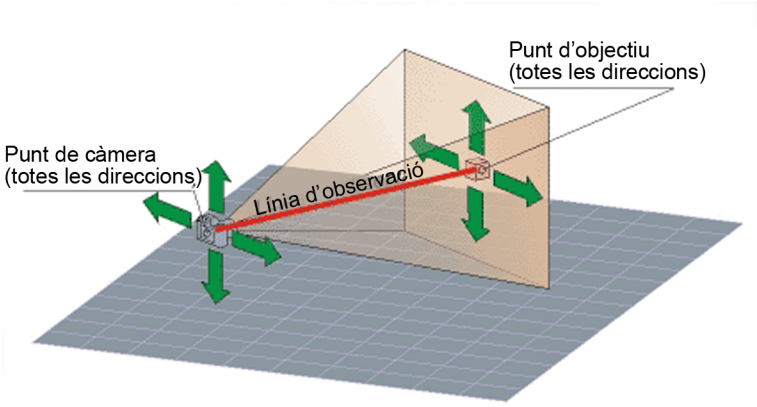
5.7. Transformació

Del mateix procés de generació de les càmeres sintètiques es deriven les possibilitats de transformació.

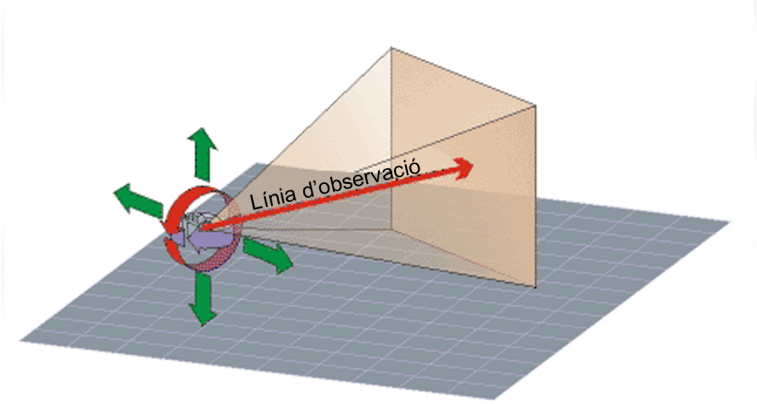
D'aquesta manera, les càmeres lliures podran controlar la línia visual, mitjançant la transformació independent de qualsevol dels punts que en defineixen la trajectòria, però si es tracta de desplaçar la càmera a una altra posició de l'escena sense variar la línia visual, la transformació dels punts serà conjunta. La resta de les característiques seran opcions concretes de la càmera.

En el cas de les càmeres direccionals, la línia visual es pot transformar mitjançant la rotació entorn del punt de localització de la càmera i, si es tracta d'un desplaçament mantenint la línia visual, n'hi haurà prou de desplaçar el punt de vista a un altre lloc de l'escena.

D'altra banda, atès que els moviments de càmeres es poden animar, els processos d'animació també estaran relacionats amb les formes de transformació i, per tant, amb els tipus de càmera emprats (per exemple, generar una animació a partir del fet que el punt de localització d'una càmera segueixi una trajectòria determinada).



Control de la línia d'observació per dos punts
Càmera objectiu



Control de la línia d'observació per angles
Càmera lliure

Exercicis d'autoavaluació

1. Com representa la pantalla de l'ordinador els objectes tridimensionals?

a) En tres dimensions reals.
b) En dues dimensions reals.
c) En una dimensió real més dues dimensions simulades.
d) En una dimensió real més tres dimensions simulades.

2. Quin és l'artefacte que s'utilitza per a representar objectes tridimensionals en un pla?

a) Els sistemes de projecció plana.
b) Els sistemes de modelització.
c) Els sistemes d'il·luminació.
d) Els sistemes d'ombrejat en color.

3. Quin és l'element bàsic utilitzat per a obtenir la perspectiva d'un objecte?

a) Una imatge de l'objecte.
b) Una foto de l'objecte.
c) Un dibuix de l'objecte.
d) Línies.

4. Com s'aconsegueix una projecció axonomètrica ortogonal d'un objecte?

a) Quan l'objecte que volem projectar se situa amb el màxim de cares paral·leles al pla de projecció.
b) Projectant l'objecte amb rajos de projecció que parteixen d'un punt (punt de vista).
c) Projectant l'objecte amb rajos de projecció perpendiculars al pla de projecció i paral·lels entre ells.
d) Projectant l'objecte amb rajos de projecció no rectilinis.

5. En projecció axonomètrica ortogonal...

a) els elements de l'objecte paral·lels al pla de projecció conserven la seva forma veritable.
b) els elements de l'objecte paral·lels al pla de projecció no conserven la seva forma veritable.
c) els elements de l'objecte paral·lels entre ells perden el paral·lelisme en la projecció.
d) els elements de l'objecte paral·lels no conserven el paral·lelisme en la projecció.

6. Quan direm que la representació d'un objecte és una perspectiva trimètrica?

a) Quan dues de les direccions ortogonals principals de l'objecte formen un mateix angle respecte al pla de projecció.
b) Quan les tres direccions ortogonals principals d'objecte formen un angle diferent respecte al pla de projecció.
c) Quan les tres direccions ortogonals principals de l'objecte formen un mateix angle respecte al pla de projecció.
d) Quan dues de les direccions ortogonals principals de l'objecte són perpendiculars al pla de projecció.

7. Una vista és...

a) una projecció axonomètrica qualsevol.
b) una projecció cònica.
c) una projecció axonomètrica en la qual només es veuen dues de les direccions principals de l'objecte.
d) una projecció axonomètrica obliqua qualsevol.

8. Per a obtenir una perspectiva cavallera, a més de rajos de projecció paral·lels entre ells i oblics respecte al pla de projecció, com s'hauria de situar l'objecte respecte al pla de projecció?

a) Amb dues de les seves direccions principals paral·leles al pla de projecció.

b) Amb qualsevol posició de l'objecte respecte al pla de projecció.
c) De manera que les tres direccions principals de l'objecte formessin un mateix angle respecte del pla de projecció.
d) És indiferent la posició relativa de l'objecte respecte del pla de projecció.

9. En una perspectiva cònica, totes les projeccions de direccions paral·leles d'un objecte convergeixen en un punt que s'anomena...

a) *punt de vista.*
b) *centre de projecció.*
c) *punt de fuga.*
d) *punt d'horitzó.*

10. Els rajos de projecció que s'utilitzen per a obtenir una perspectiva cònica...

a) són paral·lels entre ells.
b) són paral·lels entre ells i oblics respecte del pla de projecció.
c) són convergents.
d) són paral·lels entre ells i perpendiculars al pla de projecció.

11. En perspectiva cònica, si desplacem l'objecte respecte del pla de projecció sense canviar-ne l'orientació i mantenim fixa la posició de l'observador...

a) veurem que la posició dels punts de fuga es manté.
b) veurem que la posició dels punts de fuga també varia.
c) veurem que els punts de fuga desapareixen.
d) veurem que no hi ha punts de fuga.

12. Com es denomina freqüentment en els programes informàtics de dibuix l'aparell que permet obtenir representacions dels objectes en perspectiva cònica?

a) Visor.
b) Vista d'usuari.
c) Vista ortogràfica.
d) Càmera.

13. En un programa informàtic que utilitzi la perspectiva cònica, si aproximem el punt de vista a l'objecte, estem...

a) fent un enquadrament.
b) canviant de lent.
c) fent una perspectiva.
d) fent un *zoom.*

Solucionari

Exercicis d'autoavaluació

1. b

2. a

3. d

4. c

5. a

6. b

7. c

8. a

9. c

10. c

11. a

12. d

13. d