

Capítol 4

Optimització Funcional

de la

Interfície

Persona - Màquina

(HMI)

“Una imagen vale más de mil palabras”

Anónimo

Capítol 4. Optimització Funcional de la Interfície Persona-Màquina (HMI)

4.1.- Introducció

En el disseny de la interfície cal tenir en compte la perspectiva dels usuaris: què veuen quan són davant la pantalla de l'ordinador i com ho veuen. Aquesta interpretació es pot aprofitar per definir un disseny més optimitzat de cara a oferir més capacitat d'informació amb menys quantitat d'elements visualitzables. Allò que es capta a la interfície és l'aspecte més important, així com també la distribució de la informació, i com aquesta informació es presenta a l'usuari per ajudar-lo a entendre més ràpidament i més fàcilment les dades presentades. Mullet i Sano deien que "a clear visual presentation is essential for effective communication" [MUL 95]. És evident que molts usuaris troben algunes interfícies, com les del Windows 2000 i el Windows XP, més útils i més fàcils de fer servir que les interfícies de comandes. Les comandes entre fitxers i molts dels programes d'aplicació (processadors de paraules, fulls de càlcul, etc.) actualment s'han popularitzat més, sobretot perquè els usuaris poden veure allò que volen fer. La popularització de les aplicacions contribueix a la seva estandardització; això explica perquè Microsoft ha guanyat terreny en el camp dels sistemes operatius, mentre que UNIX ha quedat relegat a entorns empresarials avançats. Linux, que és una versió de programari lliure d'UNIX (basat en el concepte de llicència gratuïta GNU) està relegat a la secció de servidors de les xarxes d'ordinadors, sobretot degut a la seva difícil interfície d'usuari.

L'ésser humà és essencialment visual: necessitem veure allò que fem per poder-ho entendre. Així, la presentació visual de dades s'ha convertit en una necessitat imperant en aquests últims anys, com es pot veure en el desenvolupament dels programes informàtics, però també en tota la varietat de productes comercials, dels quals es millora contínuament la forma de presentació. Fins i tot els logotips de les companyies s'estudien més a fons. Les grans empreses dediquen milions de dòlars a millorar dels seus logotips a fi de consolidar-se i actualitzar-se visualment (en un sentit de modernitat) en la ment dels consumidors. En aquest capítol estudiarem les necessitats perceptives, emocionals i psicològiques dels usuaris quant a la distribució de la informació. Per completar aquest estudi, presentarem les proves fetes entre diferents usuaris i les seves opinions sobre aspectes particulars del disseny i la distribució de les dades a la interfície que volem dissenyar. En el conjunt del desenvolupament de la interfície vam realitzar proves sobre l'esquema inicial de presentació de la informació, que constitueix un predisseny de la interfície i que va servir com a punt de partida per al disseny definitiu. Aquest predisseny ha servit per fer una evolució natural cap a una interfície més interactiva i per presentar millor les dades i fer-les més entenedores per a l'usuari.

4.2.- Piràmide de Complexitat

Totes les relacions i els processos de la vida estan associats a diferents graus de dificultat, i entre si també hi ha una certa relació que els fa més o menys dependents. A la figura 4.1 mostrem la relació dels paràmetres associats a la part d'interacció, mentre que a la figura 4.2 mostrem el cas concret de les interfícies d'usuari.

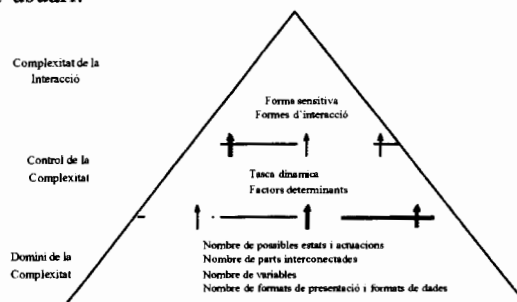


Fig. 4.1.- Piràmide de la complexitat de la Interacció

Les bases de les piràmides estan associades a un procés físic que té certes variables i que defineix la totalitat del sistema; per tant, aquesta base s'anomena domini de la complexitat. Sobre aquest tenim l'equip de control, el qual tindrà unes funcions i uns factors determinatius; aquesta part permet el control de la complexitat (que és el nostre sistema). Finalment, hi ha la part amb la qual interactua l'usuari.

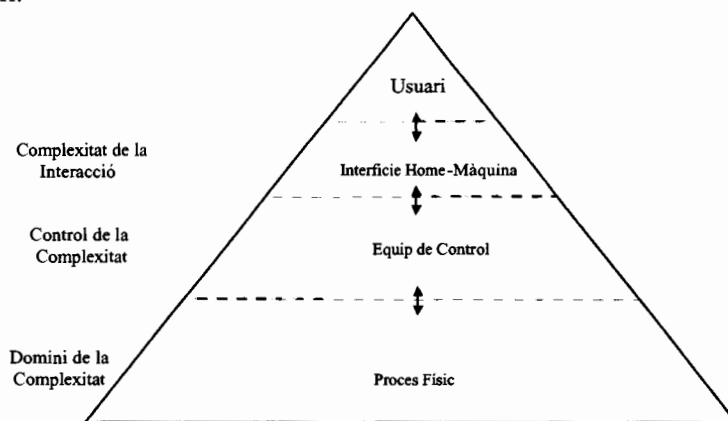


Fig. 4.2.- Sistema Persona-Màquina vist com una piràmide

4.3.- Fenòmens Psicoperceptius

Les interfícies estan compostes, en la majoria dels casos, de forma visual. Aquest és un recurs que permet a un usuari comprendre l'estat del sistema i la informació que aquest vol transmetre. El disseny visual compromet, entre altres coses:

- **Claredat visual** de la imatge, és a dir, que aquesta sigui comprensible per a l'usuari.
- **Consistència**, és a dir, diferents presentacions tenen el mateix significat.
- **Format atractiu**, és a dir, que a l'usuari li agrada la presentació.

Ja hem explicat que l'home aconsegueix un coneixement del món mitjançant els sentits i que això l'ajuda a formar-se una imatge mental de l'entorn que l'envolta. De la mateixa manera, tot allò que l'usuari veu a la interfície està associat a un conjunt de fenòmens psicoperceptius que, d'una o altra forma, li permetrà conèixer què és el que la interfície intenta explicar-li.

En la ment dels usuaris només el color té una interpretació que va més enllà d'allò que l'usuari ha viscut, perquè les coses percebudes fan referència a situacions específiques i depenen d'allò que l'usuari creu que veu [NAD 93, ITT 97, FEH 99]. La impressió del primer cop d'ull és molt important en la utilització de les interfícies, perquè defineix el comportament que l'usuari tindrà respecte a la interfície. Tot el que apareix a la interfície es pot interpretar sempre que l'usuari es posi a veure realment què hi ha i ho analitzi sobre la base de la informació complementària que li aporti el sistema. El procés de percepció, ja sigui visual o auditiu, no és un procés mecànic i passiu, sinó una actitud d'interpretació dinàmica i d'associació d'idees.

En general, podem trobar que el procés perceptiu té associats tres fenòmens perceptius:

- a) Vista
- b) Oïda
- c) Tacte

Aquests fenòmens constitueixen tot l'entorn que ens envolta, i ens ajuden a interpretar les coses que veiem, incloent-hi les interfícies.

4.3.1.- Percepció Visual

Entre les múltiples formes de descriure com són les coses que percebem, podem dir que els objectes no són més que contorns i textures. Hi ha molts treballs en què es tracta d'extreure les textures dels objectes o d'extreure'n els contorns a fi de determinar-los [CAS 97, MAR 00].

4.3.1.1.- Formes

Les línies limiten els objectes i marquen les separacions entre ells. Es pot parlar de dos tipus de línies: rectes i corbes, que segons l'orientació i la forma produeixen una sensació psicològica específica. Les línies rectes suggereixen força i senzillesa, mentre que les línies corbes fan sensació de moviment. Les línies rectes semblen masculines i les línies corbes semblen femenines. A la figura 4.3 podem observar com la distribució i la forma de les línies originen diferents sensacions.

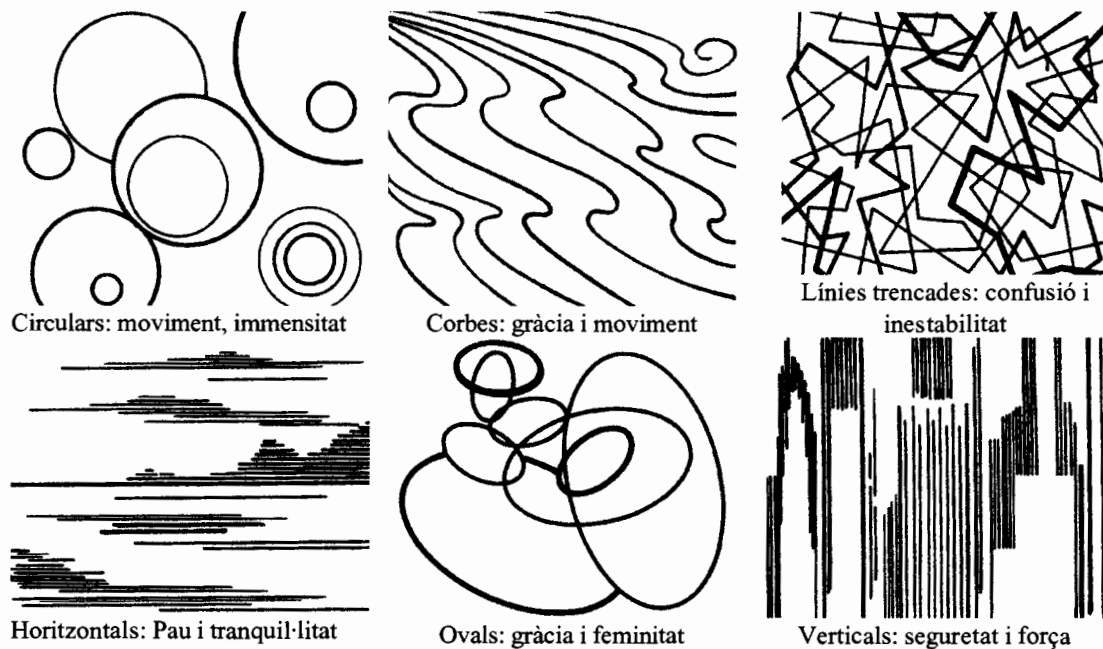


Fig. 4.3.- Sensacions que es poden "obtenir" de les figures

Aquesta sensació psicològica que es deriva de les línies individuals també afecta l'entorn de la imatge que l'usuari percep. Les imatges rectangulars fan la sensació d'unitat i d'estabilitat, mentre que les circulars fan la sensació de moviment i immensitat.

4.3.2.- Espai

La visió tridimensional es deu al principi de visió estereoscòpica que tots els éssers humans tenim: les imatges capturades per l'ull no són del tot idèntiques i la seva combinació en el cervell produeix la sensació de tridimensionalitat espacial [BAS 89, CAN 97].

La sensació de profunditat també prové d'unes normes adquirides, o raonaments lògics, que s'aprenen a la vida, com són:

- **Superposició d'objectes.** Quan un objecte és darrere d'un altre, l'objecte de davant es veu, però el de darrere no. Això no vol dir que l'objecte que no es veu hagi desaparegut. Malgrat que l'observador no el vegi, sap que és darrere. Per tant, quan un objecte queda darrere d'un altre restarà amagat, i l'objecte de davant hi serà en primer lloc, més proper a l'observador. A la figura 4.4 podem veure un llapis darrere el portallapis: podria tractar-se de dos llapis travessant el got, però el sentit intuïtiu ens fa imaginar que es tracta d'un llapis darrere el got. Aquest sentit també ens fa veure que dins del got hi ha altres llapis.



Fig. 4.4. - Superposició d'objectes

- **Grandària relativa.** A una certa edat, l'ésser humà coneix la majoria de les coses del seu entorn; així, algunes coses tenen una grandària específica que serveix com a mesura relativa de la proximitat i llunyania de les coses. Aquest coneixement de la grandària també es pot aprofitar per saber quin objecte és més proper quan estem veient un conjunt d'objectes junts. A la figura 4.5 podem veure vaixells de diferents grandàries. Aquestes diferents grandàries també ens fan veure que el vaixell més gran és més a la vora de l'observador, i que el vaixell més petit està més allunyat. Mentalment, l'usuari ha fet una organització espacial dels objectes per justificar la diferència de grandària, que prové del fet que els vaixells es veuen més petits si estan més allunyats.



Fig. 4.5. - Tamany relatiu

- **Alçada respecte a l'horitzó.** L'horitzó és un important marcador del nostre entorn i es pot fer servir com a mesura de proximitat dels objectes i indicador de l'espai que els envolta. A la figura 4.6 es veu com la ubicació dels objectes segons la línia de l'horitzó fa que els objectes semblin més propers de l'observador, malgrat que tots tres vaixells siguin de la mateixa grandària. L'horitzó ens sembla que està allunyat respecte de l'espectador; per tant, quan els objectes estiguin més a la vora de l'horitzó, ens farà la sensació que estan més allunyats de l'observador.

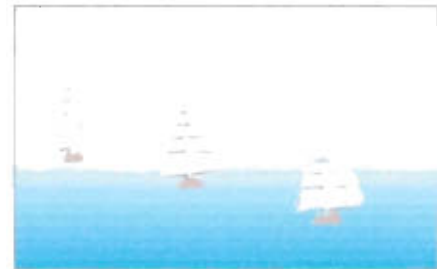


Fig. 4.6. - Objectes en l'horitzó

- **Claredat relativa.** Els objectes més allunyats es veuen més borrosos, imprecisos, fins i de color blavós. És molt difícil veure els detalls dels objectes allunyats; llavors, la possibilitat de precisar-los també ens serveix de mesura per saber si són a prop o lluny (figura 4.7). Els contrastos de tonalitats ajuden els usuaris a formar-se una idea de la distància relativa d'objectes similars.



Fig. 4.7. - Claredat relativa

Aquestes normes de percepció de l'espai les aprofitarem més endavant en la definició d'una interfície virtual, la qual farà servir aquests principis per informar l'usuari de com està constituït l'espai exterior i la relació del robot amb l'entorn.

4.3.3.- Moviment

L'espai, en la vida real d'una persona, no és del tot estàtic, ja que els objectes sempre estaran en moviment, ja sigui perquè l'usuari es mou o perquè els mateixos objectes es mouen. Llavors, en els nostres ulls veiem imatges que es van desplaçant a una velocitat específica. El moviment es pot veure com un canvi de posició, direcció, forma, mida, color, claredat, detalls o estimulació persistent i variable.

Molts anuncis aprofiten la capacitat de persistència a la retina de l'ull per mostrar una sensació de moviment mitjançant llums que s'engeguen i s'apaguen seqüencialment i, malgrat que les llums romanen estacionàries, la sensació de moviment s'obté de la correcta seqüència d'operació. Així mateix, les pel·lícules treballen mitjançant una seqüència d'imatges estàtiques.

4.3.4.- La Claredat Visual

Segons la cultura a la qual pertany, cada persona té una forma de veure el món. Les persones occidentals acostumen a llegir d'esquerra a dreta i de dalt a baix; això vol dir que tenim una forma preestablerta de començar a veure les coses. A cop d'ull les coses es capturem en aquesta direcció i tenen un sentit implícit: les coses d'esquerra a dreta ens donen la sensació que pugem; però això només és veritat a la cultura occidental, ja que pels pobles àrabs la situació és a la inversa.

La presentació de la informació és un aspecte que cal estudiar [NAN 99, HOR 99, MAE 01] cercant el format de la informació més adequada per als usuaris, perquè cada aplicació té un format diferent en el qual l'usuari podrà obtenir una comprensió més gran de la seva tasca. Moltes de les regles de disseny gràfic són el resultat de tres estudis bàsics:

- a) L'escola Gestalt
- b) Les variables visuals de Jacques Bertin
- c) Les primitives de Fernand Saint-Martin

Aquests conceptes s'han d'aprofitar per definir una interfície persona-màquina (HMI) que sigui sobretot fàcil d'entendre per nous usuaris.

4.3.4.1.- L'Escola Gestalt

Els estudis de l'escola de psicologia Gestalt ("forma" en alemany), fundada el 1912, tenien com a objectiu investigar com són percebudes les formes pels usuaris. Entre els investigadors hi havia Max Wertheimer, Kurt Koffka i Wolfgang Kohler [GOD 91, AND 93, WAR 93, HOR 99, WAR 00]. Les regles d'aquests investigadors estan relacionades amb els següents conceptes:

- **Semblança** (*similarity*): objectes similars seran interpretats com si fossin un sol objecte diferent (figura 4.8.A).
- **Encapsulament** (*closure*): els usuaris, mentalment, tancaran les figures per agrupar-les visualment (figura 4.8.B).
- **Continuïtat** (*connectedness*): l'ull intentarà donar sentit a la continuïtat dels objectes (figura 4.8.C).
- **Proximitat** (*proximity*): símbols pròxims semblants es veuran com si fossin un sol objecte (figura 4.8.D).
- **Forma i contraforma** (*good continuation*): els objectes encoberts seran interpretats com objectes de forma contínua d'acord a la forma més coneguda per l'usuari (figura 4.8.E).
- **Regió tancada** (*closed region o common region*): les figures que estiguin dins d'una regió tancada seran interpretades com un sol grup (figura 4.8.F).

A la figura 4.8 es veuen diferents figures geomètriques simples, però la distribució fa que l'usuari afegeixi una altra interpretació a les figures, cosa que li permet veure les formes agrupades d'una altra manera (figures A i D) o fa que vegi figures que no estan representades (figura B, en la qual es poden veure quadrats, i la figura E, en la qual l'objecte té una altra forma real) o li fa fer interpretacions espacials addicionals a les que veiem (a la figura C, en la qual es veuen dues línies entravessades, i la figura F, en la qual les imatges es consideren agrupades d'acord amb la línia externa, que serveix com un llinar visual d'agrupació).

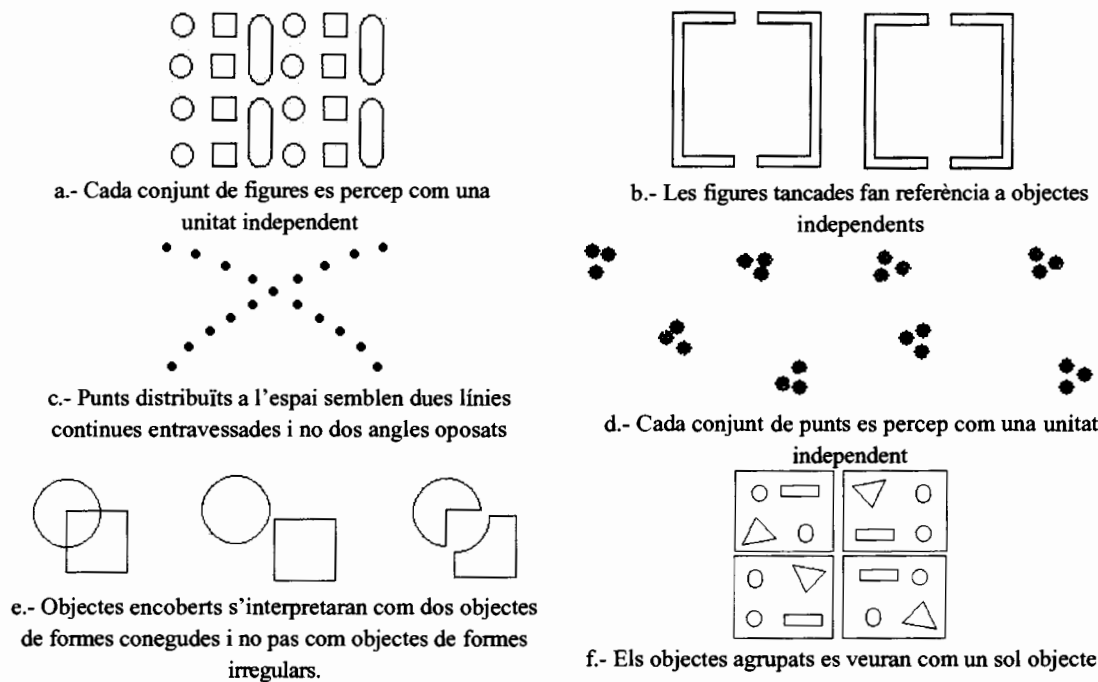


Fig. 4.8.- Principes de claredat visual basats en els principis psicològics Gestalt

4.3.4.2.- Les Variables Visuals de Jacques Bertin

Les variables visuals, definides per Jacques Bertin (1983) en el seu treball *Semiology of Graphics*, plantegen que, perquè un disseny sigui efectiu, s'han de considerar les capacitats i limitacions visuals i que, per tant, cal aprofitar els principals diferenciadors per ressaltar les imatges [MUL 95, HOR 99]. Part d'aquest fenomen està associat a la manipulació de les quantitats perceptives, com són: grandària, valor, saturació (hue), orientació, textura, forma i posició. Totes aquestes variables poden anomenar-se "variables retinals" (retinal variables), ja que poden ser fàcilment identificades en un pla visual.

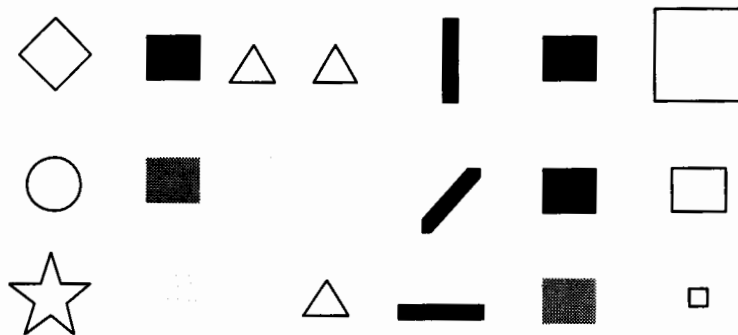
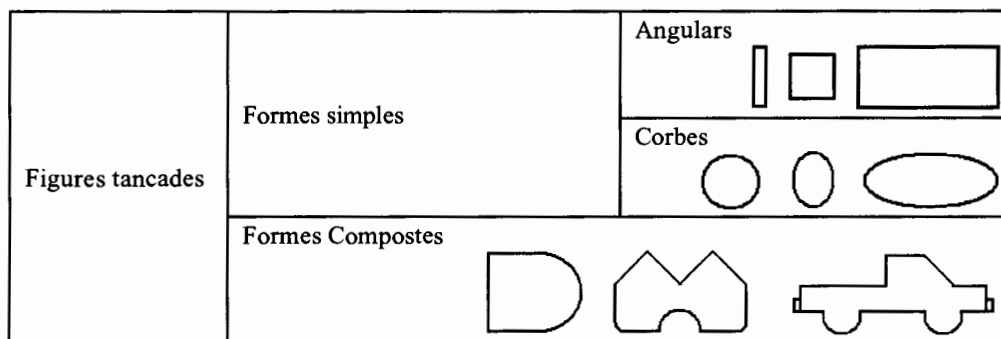


Fig. 4.9.- Exemples de les Variables retinals de Bertin [MUL 95]



Taula 4.2.- Primitives Obertes de Fernande Saint-Martin

4.4.- Llindar entre el Disseny Artístic i el Disseny Intel·lectual: El Disseny Creatiu

Wurman va comentar que “a weekday edition of The New York Times contains more information than the average person was likely to come across in a lifetime in seventeenth century England” [WUR 89]. Això és quelcom innegable: el món està ple d’informació. Més endavant, Wurman amplia l’explicació de l’impacte de l’abundància i de l’excés d’informació. De fet, aquest investigador defineix l’ansietat com: “the black hole between data and knowledge. It happens when information doesn’t tell us what we want or need to know” [WUR 00]. A la Universitat de Califòrnia, Berkeley té un projecte anomenat Quanta informació? (How Much Information? <<http://www.sims.berkeley.edu/research/projects/how-much-info/index.html>>) en el qual estima que “...the world’s total yearly production of print, film, optical, and magnetic content would require roughly 1.5 billion gigabytes of storage”. Tot el que envolta les persones constitueix el seu entorn d’informació, que pot afectar els seus sentits. Cal considerar tot l’entorn artificial de dades que envolta l’ésser humà: televisió, ràdio, Internet, telèfon, fax, etc., i a més a més es pot pensar en nous avanços, que seguiran enriquint, canviant i transformant la vida de l’home actual (tecnologia sense fils, informàtica ubíqua, etc.). La informació és pertot arreu des de fa temps, i segueix creixent a un ritme impressionant [KEI 01]. Els ordinadors van sorgir fa gairebé 60 anys, i la preocupació per les interfícies es va manifestar a principis dels vuitanta. Mountford va dir que “the science and art of computer interface design is a relatively young discipline within a world of more mature design traditions”. Les matemàtiques, la biologia i fins i tot les lletres tenen un llarg temps d’utilització. Les interfícies que vam presentar al capítol 2 no parteixen de cap estudi ergonòmic, sinó que són una solució tècnica a un problema d’enginyeria. Eick [EIC 01] va explicar que “the information visualization research challenge is how to invent new visual metaphors for presenting information and developing ways to manipulate these metaphors to make sense of the information”. Aleshores, s’han d’inventar noves formes de comunicació que simplifiquin la transferència d’informació.

L’aspecte artístic de les interfícies fa pensar que només uns quants talents poden fer bones creacions, en les quals la quantitat d’informació es correspongui amb l’índex de qualitat [MAE 01]. Això deixaria fora totes les interfícies que, d’una manera o altra, han estat desenvolupades seguint la normativa o dissenyades amb sentit comú. En el disseny d’interfícies és molt difícil predir les intencions i les necessitats dels usuaris i, per tant, cal aprendre-les amb usuaris que utilitzen la interfície per saber com hi treballen, tenint en compte les seves respostes [GOD 91, NIE 94ab, BON 99b]. D’aquesta interacció usuari-interfície-avaluador moltes vegades s’obté informació sobre la comunicació interpersonal entre usuari i ordinador, el comportament de l’usuari amb el sistema i l’adaptabilitat de l’usuari. Les eines actuals de disseny gràfic faciliten la creació d’interessants esquemes de presentació, però encara que la utilització de la interfície pugui satisfer l’usuari, sempre s’hi poden introduir millores, com, per exemple, nous comandaments, o simplificar-ne la utilització i millorar-ne la comunicació amb l’usuari. Cal, però, evitar les confusions creades per falta de consistència [HAR 85, BIA 92, VEE 00].

4.4.1.- Idioma de la Interfície

És molt fàcil pensar en les diferències idiomàtiques, sobretot a Catalunya, on conviuen dues llengües: el castellà i el català. Triar un llenguatge per a una interfície dependrà molt dels gustos dels usuaris. Un complet estudi sobre les diferències d'interpretació d'interfícies en persones de tot el món i en diferents cultures el podem trobar a "Global Interface Design", de Tony Fernandes [FER 95], i també en el llibre de Jakob Nielsen "International User Interfaces" [NIE 96]. Aquests autors fan un recorregut pels diferents hàbits, llenguatges, costums, aspectes visuals, formats internacionals, cultures, símbols i tabús que s'han de considerar a l'hora de definir una interfície que s'ha d'experimentar a tot el món. A la taula 4.4 presentem el so dels gossos segons la cultura de diferents països.

<i>País</i>	<i>Só del gos</i>
Dinamarca	vo vo
França	ouah ouah
Japó	wan wan
Portugal	beu beu
Alemanya	wow wow
USA	bow wow

Taula 4.4.- So dels gossos en diferents llenguatges. Modificat de [FER 95]

El problema cultural més fort és entre la cultura oriental i l'occidental, i no només per la diferència de llengua, sinó per la forma d'actuar i fins i tot de llegir. La gent oriental llegeix de dalt a baix i de dreta a esquerra. Llavors, el significat subjectiu d'algunes imatges no vol dir el mateix que per a la gent occidental, que llegeix d'esquerra a dreta.

4.5.- Priorització de la Informació en la Pantalla

Segons Bergman i Jhonson [BER 88], els usuaris cecs requereixen un altra estructura de presentació de la informació, ja que a causa de la seva particularitat l'esquema d'introducció de dades per a ells és totalment diferent al que s'acostuma a fer: distribució de la interfície, característiques i mapa del teclat. La distribució d'informació és molt important a totes les interfícies. Com diu Richard Nass, "when building a user interface, one of the most important aspects is what's displayed on the screen" [NAS 00]. Segons treballs d'Ivergard [IVE 89], la distribució preferible de les dades a una pantalla és com s'indica a la figura 4.12. En principi, aquest treball s'orienta a usuaris amb una visió normal i sense altres defectes físics que puguin dificultar la feina amb la interfície. Aquesta distribució és també recomanada per als estàndards militars d'interfícies d'usuari.

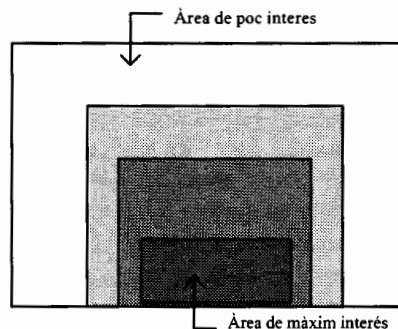


Fig. 4.12.- Distribució d'informació recomanada sobre la pantalla [IVE 89]

A la figura 4.12 es pot veure que, partint de l'àrea de mínim interès i anant cap a l'àrea de màxim interès, hi ha diferents nivells d'atenció als quals l'usuari prestarà més o menys atenció segons

la secció que estigui veient. L'àrea de màxim interès és a la part inferior i està molt relacionada amb la manera d'actuar dels éssers humans. Aquesta distribució parteix d'una base realista, ja que les persones acostumen a mirar sempre de dalt a baix: el nostre camp visual té la tendència d'anar cap avall perquè sempre ens cal mirar avall per caminar; per tant, els nostres ulls reposen més fàcilment la part inferior central que a qualsevol altra part.

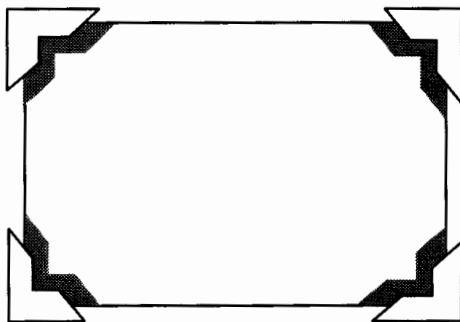


Fig. 4.13.- Distribució d'informació en els angles de la pantalla

Per altre banda, en proves fetes durant el desenvolupament d'aquest projecte es va determinar que els usuaris també tenen preferències pels quatre angles de la pantalla (sobretot en la part inferior) i en menor grau pels canto de les pantalles, perquè són àrees d'escape visual. Com s'il·lustra en la imatge 4.13, els angles de la pantalla són punts d'atenció, així mateix en menor grau, en la imatge 4.14, els canto de les pantalles són fàcils de visualitzar.

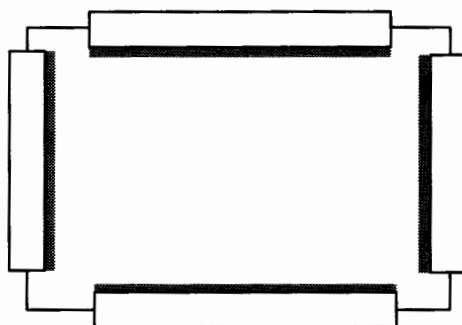


Fig. 4.14.- Distribució d'informació en els canto de la pantalla

4.6.- El Pre – Disseny: Informació d'Inici en el Disseny

El treball de [HUT 86] descriu la importància de la interacció en el procés de disseny, entès com un procés cíclic que té dos components majoritaris: l'avaluació de les conseqüències d'una acció i la planificació de la pròxima acció. La complexitat d'aquests processos d'avaluació i planificació determinen la dificultat d'aprenentatge i rendiment d'una tasca.

Per desenvolupar una interfície cal començar per determinar les característiques dels elements que hi apareixeran. Això vol dir:

- **Determinació de la grandària de la imatge a presentar de la zona de treball de la pantalla.** Com ja hem explicat anteriorment, vam treballar per desenvolupar una interfície per al comandament i el seguiment d'un vehicle submergit; així doncs, calia tenir en compte la necessitat de mostrar a l'usuari la imatge d'allò que hi havia davant el vehicle.
- **Ubicació dels indicadors operatius.** A l'usuari se li hauria de presentar la informació operativa del vehicle. Potser no caldria donar-los tota la informació, però almenys se li podrien presentar les dades fonamentals.

- **Ubicació dels controls del vehicle.** Per comandar el vehicle s'ha de disposar de controls en la interfície que en facilitin la conducció. Aquests controls han de permetre operar amb un vehicle; és a dir: anar endavant, endarrere, cap a la dreta, cap a l'esquerra, pujar, baixar, etc.
- **Ubicació dels controls de la tasca.** L'usuari requereix certes eines que l'ajudin a desenvolupar la seva tasca, amb informació rellevant respecte a l'activitat a desenvolupar.
- **Ubicació dels controls de la interfície.** Com en tot programa informàtic, cal disposar d'algunes funcions que permetin fer servir les facilitats de l'ordinador, és a dir: obrir fitxer, desar fitxer, etc.
- **Grandària i ubicació de la finestra d'ajuda.** Per facilitar l'ajuda del sistema cal posar una finestra amb ajuda en línia que informi l'usuari de què i de com ha de fer certes tasques i què volen dir les icones o les funcions presents.

4.7.- Requeriments de les Interfícies de Sistemes Teleoperats de Robots Mòbils

Les interfícies per a sistemes teleoperats han de poder representar una sèrie mínima de funcions. Alguns autors que van escriure sobre sistemes teleoperats ja van destacar aquestes funcions [FON 01a, FIO 98, RIG 98]. Les necessitats de les interfícies de sistemes teleoperats poden resumir-se en:

- **Saber el lloc on està situat el vehicle teleoperat.** Com que l'usuari no està físicament dins del vehicle, el robot ha de tenir prou indicadors i sensors per enviar-li la informació d'on és.
- **Decidir cap a on ha d'anar el vehicle.** Aquí hi ha implícita la facilitat de determinar l'objectiu de la tasca.
- **Moure el vehicle.** La facilitat del sistema per conduir el robot es fa evident quan es vol moure d'un lloc a un altre.

Péruch, a propòsit del control de vehicles teleoperats, va dir: "A major issue is the format of visual information, and some important components of the navigation tasks are the location of the vehicle, the control of its displacement, and the interaction between the two" [PÉR 99]. Altres dades d'interès estan relacionades amb les dades de l'entorn en què està situat el vehicle teleoperat. Així, la següent sèrie d'interfícies intenta complir aquestes premisses inicials i d'altres que sorgeixen a causa de la tecnologia que es fa servir. Com va ressaltar Stary, "Task-based and user-oriented user interfaces utilize knowledge about user tasks and end user characteristics to the utmost extent. They not only support end users throughout the work flows they are involved in their business, but need also to be constructed through a development process that allows to proceed without loss of application context and user feedback from requirements specifications to code generation" [STA 00]. El treball de desenvolupament es realitzarà tenint en compte les necessitats del sistema i les expectatives dels usuaris, així com també l'enfocament que els usuaris poden tenir respecte a les interfícies i les preferències que poden mostrar usuaris inicials.

4.8.- Requeriments del Sistema

Les necessitats dels usuaris les hem comentades en els capítols 2 i 3. En el darrer apartat hem comentat els objectius finals de la tasca. En aquesta secció parlarem de les necessitats operatives del sistema. Els robots s'utilitzen en tasques repetitives, difícils, perilloses, de precisió o llunyanes. Pollack va dir que és molt costós dissenyar i fer robots que es puguin adaptar fàcilment a diferents tasques i entorns igual com ho fan les persones [POL 01]. Però mitjançant la teleoperació s'espera fer servir el robot amb les mateixes habilitats dels éssers humans. D'aquesta manera els robots poden fer tasques en entorns especialitzats, com poden ser mines, espais submarins, espai, etc. [BYR 92, AMA

95, BEJ 96, KAB 97b]. Per fer aquestes activitats els robots porten un conjunt de sensors especialitzats i de motors que permeten que executin les seves tasques [ENG 89, BUR 93, CAS 97, RIG 98].

Les dificultats per obtenir una acurada especificació per al disseny del sistema les van explicar Smith i Reinertsen: "The design process requires the common solution of conflicting requirements by making trade-offs [...] The best design is therefore probably not the single point suggested in the specifications but rather some other combination of values that suits the user better. The designer needs information beyond what is written in the specification in order to make appropriate trade-offs decisions" [SMI 98]. Per altra banda, Meyers va comentar les dificultats de dissenyar sistemes amb múltiples punts de vista [MEY 93]. Per això, les necessitats de fer una preavaluació del disseny és molt important de cara a definir la quantitat òptima de dades que un usuari pot processar. Cal recordar, però, que "le mieux est l'ennemi du bien" (la perfecció és l'enemic d'allò que és bo). El procés iteratiu d'analitzar les necessitats dels usuaris i la definició del producte tenen una finalitat que madura en un producte, que després evolucionarà d'acord amb les necessitats del mercat.

4.8.1.- Necessitats de Control

Un robot teleoperat està equipat amb múltiples motors, cada un adequat al grau de llibertat amb què es vol que es mogui i, a més, porta altres motors especialitzats als braços per efectuar tasques de recollida de materials i altres feines [CAS 87, THO 91b, FIO 93, AMA 95, RIG 98]. La capacitat de navegació dels robots mòbils (desplaçament del robot per l'entorn de treball) és una de les tasques més importants de controlar, perquè aquesta és una de les tasques bàsiques de l'usuari [ELF 89, DAR 93, RUD 96, BOW 01]. També cal que hi hagi llums que permetin que el robot pugui veure-hi a les zones fosques. Altres eines també poden acompanyar el robot en les tasques d'exploració, recollida i recerca. Qualsevol element de control requereix unes entrades específiques, i donarà una sortida específica d'acord amb la seva configuració.

Els usuaris han de disposar dels controls necessaris per executar les activitats definides. La facilitat de controlar qualsevol equip dependrà, en gran mesura, de la disponibilitat de recursos que hi hagi a la interfície [THO 91a, RAH 92, ALS 94, VIC 95, RIG 98]. Això explica el disseny de les interfícies presentades en el capítol 2. Totes les interfícies intenten posar les funcions de control (i visualització) a la mateixa interfície. Òbviament, en aquest cas parlem d'usuaris molt avançats, capaços d'aprofitar totes les funcions sense cap dificultat.

Avui dia és força conegut que els administradors de xarxes d'ordinadors no fan servir mai el manual d'ajuda fins que l'aplicació no s'espatlla. De tota manera, en cas que s'espatlli, la solució també es coneix prou bé: es reinicia l'ordinador! Per resoldre aquesta situació, l'ajuda en línia destinada als usuaris nous és molt important, i també ho són les metàfores de representació gràfica de què parla Eick [EIC 01], ja que faciliten l'accés de funcions en el sistema.

4.8.2.- Necessitats de Visualització

Normalment, el robot té sensors redundants per obtenir una informació més precisa. Tos els sensors ofereixen una informació només parcial que, a més, està carregada de soroll [ELF 89, ZRN 91]. La integració d'aquestes dades ajuda a tenir una imatge més acurada de l'entorn en el qual es mou el robot teleoperat [BAS 89, RAY91, PAT 93, RIG 98].

A la figura 4.15 presentem les activitats a realitzar durant les inspeccions marines, d'acord amb Childs [CHI 01]. Totes les activitats estan basades en l'habilitat de l'operador a visualitzar la situació actual i prendre decisions sobre les dades rebudes inicialment. Els usuaris necessiten concentrar-se en la tasca que han de desenvolupar, i això significa eliminar les dades innecessàries de la imatge de treball [TUF 01]. Per altra banda, és molt conegut el problema de la navegació en sistemes

teleoperats, d'acord amb Chen: "Users have difficulties maintaining knowledge of their location and orientation while moving throughout the designed space" [CHE 99]. Això també s'observa en molts dels treballs desenvolupats en l'àrea d'estratègies de navegació i orientació [DAR 93, ROB 97, BOU 99, DAR 99, MUR 00]. Així doncs, la forma de presentació de la zona de treball i de les eines de navegació és molt important.

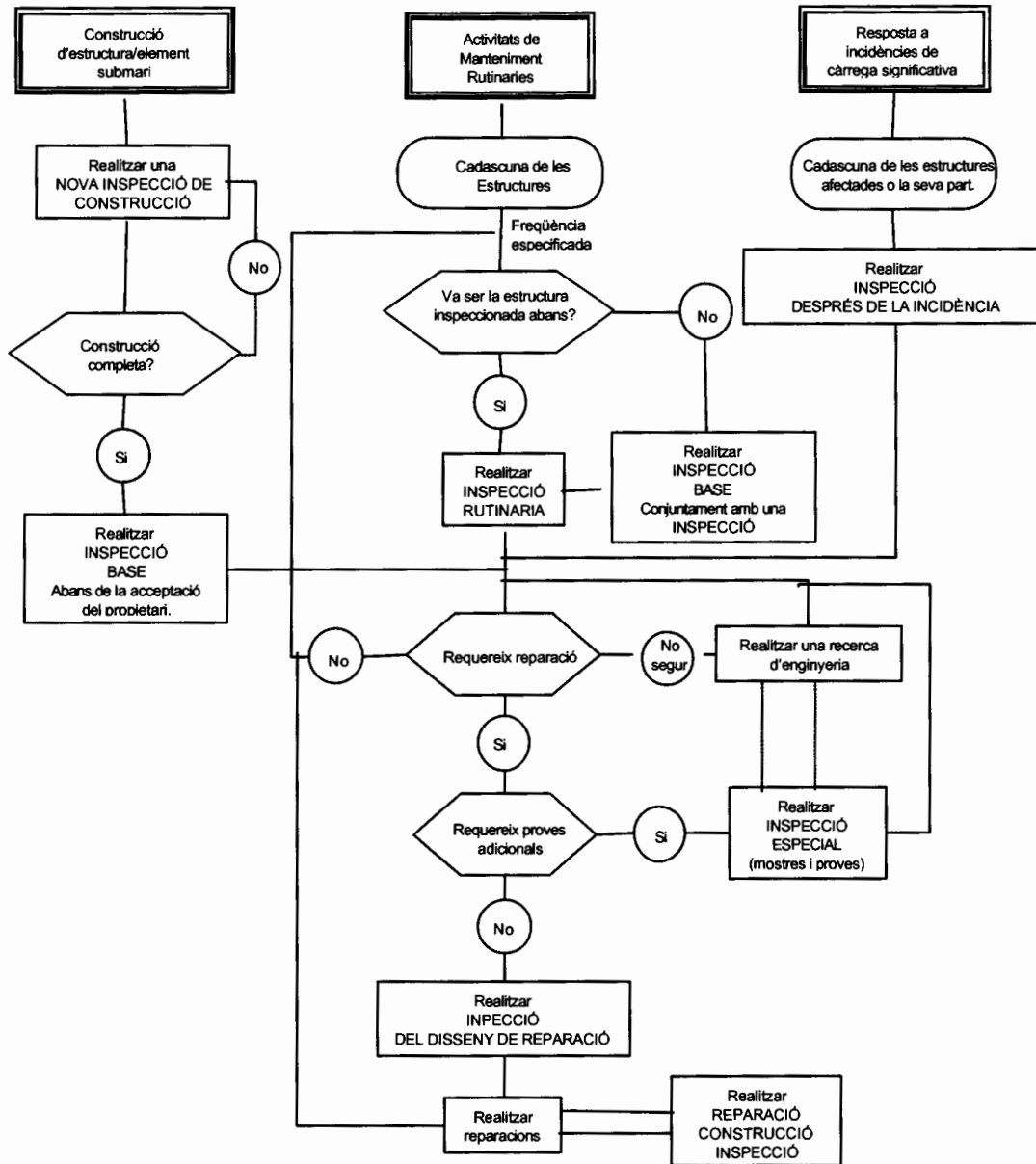


Fig. 4.15.- Activitats a realitzar en una inspecció marina. Traduït de [CHI 01]

4.8.3.- Paràmetres de Control i Visualització del Vehicle Submari

A continuació presentem un resum de les característiques que el sistema requereix per assolir les necessitats comentades anteriorment:

Control:

- **Control del vehicle.** S'han de controlar tots els motors de desplaçament: endavant, endarrere, dreta, esquerra, amunt i avall.
- **Control de la interfície.** S'han de poder controlar activitats relacionades amb l'ordinador: desar dades, etc.
- **Control dels Braços.** El robot té braços que cal controlar per poder realitzar les tasques marines.
- **Control de velocitat.** Aquesta funció permet el control de la velocitat del robot.
- **Control d'il·luminació.** Permet encendre els llums per millorar la il·luminació externa.
- **Definició de ruta.** Permet definir les següents trajectòries del robot.
- **Configuració interna del sistema.** Aquesta funció permet manipular les variables internes.
- **Configuració del fons marí.** Permet carregar informació relacionada a l'àrea de treball.
- **Estabilització.** Aquesta funció permet aturar el robot en un lloc específic a fi de realitzar tasques en aquest punt.
- **Configuració dels paràmetres del sistema.** El robot té equips de mesura (així com els equips de comunicació) que requereixen una calibració específica i per tan s'ha de posar els valors adequats.

Visualització:

- **Àrea de treball.** Els usuaris han de poder veure l'àrea de treball on el robot està operant.
- **Informació de la posició.** Aquesta és una de les informacions més importants per orientar a l'usuari, primer se li ha de dir on és.
- **Informació d'orientació espacial.** S'ha d'informar a l'usuari del lloc cap a on es dirigeix el robot.
- **Informació de navegació.** També hi ha altres dades necessàries en tot procés de navegació:
 - On és el nord.
 - Velocitat i profunditat.
 - Localització del robot respecte a la superfície i el fons.
- **Informació interna del sistema.** Les dades operatives del sistema poden ser necessàries per a activitats de manteniment i reparació.
- **Ajudes del sistema.** L'ajuda en línia és important per als usuaris nous.
- **Paràmetres individuals.** Altres dades també poden donar informació de com controlar el robot:
 - Corrents submarines.
 - Estat de les bateries del robot.
- **Visualització d'imatges en altres formats.** La disponibilitat de múltiples sensors dona la possibilitat de presentar totes les imatges possibles o de fusionar aquestes en una sola imatge.

La figura 4.16 mostra les imatges del robot GARBÍ, desenvolupat pel Departament ESAIL.

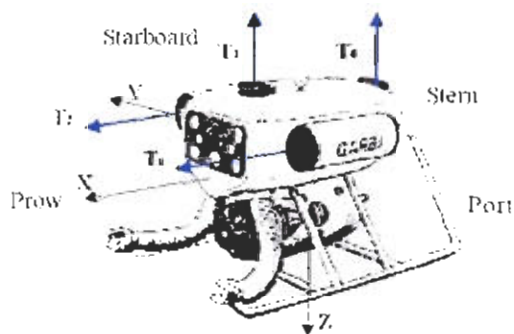


Fig. 4.16.- Robot submergit GARBÍ de la UPC

4.9.- Etapes de Desenvolupament a partir de la Interfície Conceptual

Vam tractar de desenvolupar la interfície amb les mínimes funcions per facilitar-ne l'ús a usuaris nous. Trewin [TRE 00] ja havia indicat que, com més complexes es tornessin les interfícies, més augmentarien les opcions de configuració. En aquest sentit, Cantoni va dir que les interfícies només poden mostrar una quantitat limitada d'icones si no es vol caure en el perill d'omplir la interfície amb finestres d'informació. Per això no és estrany que les interfícies de sistemes teleoperats presentades en el capítol 2 siguin molt complexes: els dissenyadors van posar tota la informació que

tenien a la interfície. En aquest projecte vam intentar iniciar el disseny amb la mínima quantitat d'informació necessària i amb el mínim control, i anar ampliant progressivament el disseny d'acord amb la llista presentada anteriorment a fi de complir els requisits del sistema i dels usuaris. El nostre és un procés iteratiu: buscar la satisfacció dels usuaris respecte al format de presentació de les dades i triar la millor forma d'incrementar la transferència d'informació mitjançant una òptima interfície persona-màquina.

4.9.1.- El Disseny Pla

En un primer moment ens vam decantar per un disseny senzill, en el qual la informació es presentés de forma alfanumèrica. Aquest tipus de presentació és d'una gran simplicitat de programació i es pot implementar de forma molt ràpida (vegeu la figura 4.17).

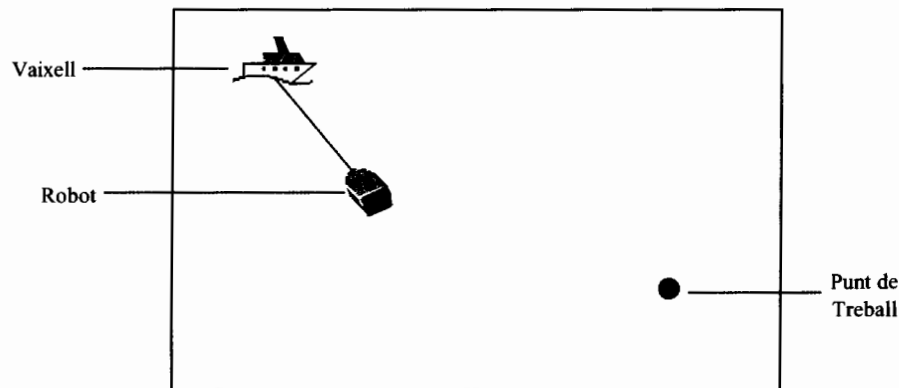


Fig. 4.17.- Interfície plana

Aquest disseny presenta els següents inconvenients:

- La informació d'alçada no és gens fàcil d'entendre.
- Els obstacles no són observables.
- L'usuari no té cap idea de la ruta que s'ha de fer ni dels possibles inconvenients que pot trobar a la mateixa trajectòria.
- No es pot veure l'entorn de treball del robot.

4.9.2.- El Disseny de Pla Compost: Pla d'Escena i Alçada

Aquest disseny intentava corregir el greu defecte de la interfície anterior: la presentació de l'alçada en la imatge. La solució que vam adoptar va ser incloure una altra imatge amb la informació de l'alçada a partir de la qual el mateix usuari pogués veure l'alçada relativa del robot (vegeu la Fig. 4.18).

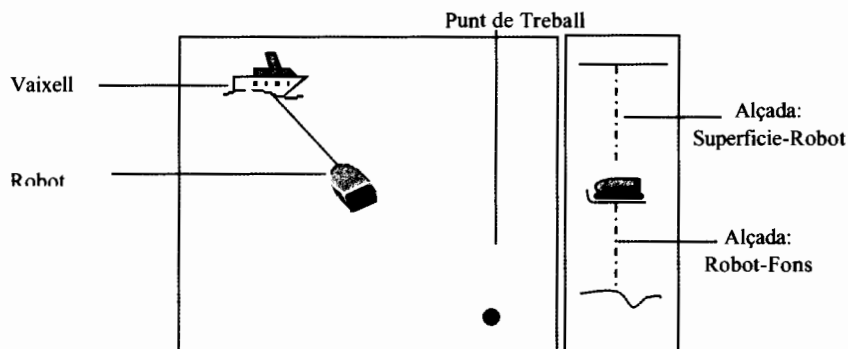


Fig. 18.- Interfície plana amb indicació d'alçada

Aquesta interfície només soluciona la presentació de l'alçada (en una finestra separada), però presenta altres inconvenients:

- Mostra dues imatges d'un mateix objecte, cosa que crea confusió als usuaris, ja que no saben quina és la interfície de treball i, a més, és molt confusa pel que fa al seguiment dels objectes.
- La presentació d'obstacles és encara difícil.

4.9.3.- Avaluació

El procés de presentació del programa el comencem explicant-ne l'orientació, per què s'ha fet i per a què serveix. Posteriorment, informem els usuaris que es tracta d'una prova tipus i que, per tant, és important que l'avaluïn bé. També expliquem la natura del procés, allò que s'ha de fer en una activitat submarina i de quines eines disposa. Molts autors estan d'acord amb la necessitat d'explicar la natura del projecte als operadors i als usuaris, perquè, així, aquests puguin dur a terme les tasques encomanades [IVE 89, NIE 94a, MUL 95].

4.9.3.1.- Preavaluació del Disseny

Amb aquestes primeres interfícies vam fer una presentació inicial a un grup d'usuaris per veure quina interpretació en feien. Aquesta preavaluació es va realitzar amb deu persones dels departaments de Disseny Gràfic i d'Ergonomia i Factor Humà de la Universitat Politècnica de Catalunya. Aquestes proves ens van fer adonar que els usuaris tenien moltes dificultats per entendre dues imatges diferents d'un mateix vehicle. La finestra d'ajuda va ser la més ben considerada, ja que, segons l'opinió de molts entrevistats, la utilització d'un sistema semblant no és gens comuna. La interfície presentada es pot veure a la figura 4.19:

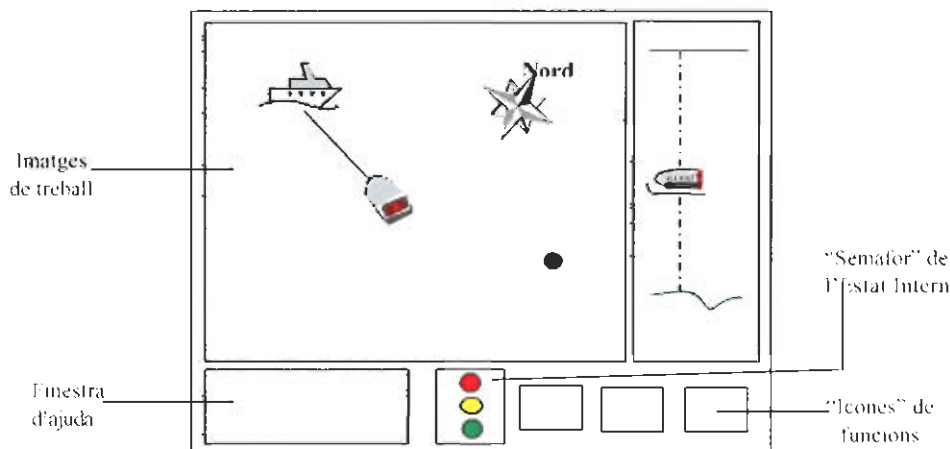


Fig. 4.19.- Interfície Inicial, amb dues finestres i funcions

La presència de l'indicador del "nord", així com el de les funcions (icones), no va suposar cap problema: tots els usuaris els van entendre. La idea d'un "semàfor" que pogués indicar l'estat intern del sistema i de les condicions operatives del vehicle va ser molt ben acceptada i no va provocar gaires problemes de comprensió. Les proves d'usuari es van desenvolupar amb usuaris universitaris (el setanta per cent eren homes i el trenta per cent, dones); un quaranta per cent estava format per professors, un altre quaranta per cent per estudiants de doctorat i el vint per cent restant per estudiants universitaris. De tot aquest conjunt, només una persona havia fet un curs de conducció d'avions, mentre que totes les altres sabien conduir vehicles normals (cotxes).

El resultat d'aquestes proves es pot veure a la taula 4.5:

<i>Factors a avaluar</i>	<i>Satisfactori</i>	<i>Acceptable</i>	<i>No Acceptable</i>
Pots identificar el "vaixell"?	1	5	4
Pots comprendre la situació d'alçada?	1	3	6
Pots identificar la posició del Robot?	3	4	3
Saps cap a on ha d'anar el robot (punt de treball)?	1	4	5
Saps identificar cap a on és el "nord"?	4	5	1
Saps per a què serveix el "semàfor"?	5	3	2
Pots entendre la funció de la finestra d'ajuda?	6	3	1
Saps per a què serveixen les "icones"?	4	4	2
Penses que podries fer servir la interfície per a comandar el robot?	2	3	5

Taula 4.5.- Aspectes avaluats en el predisseny de la interfície

Per resoldre el problema de la interfície de dues imatges, vam decidir fer una sola imatge que incorporés les mateixes interpretacions i vam intentar millorar la representació dels objectes (vaixell i robot).

4.9.4.- Interfície Tridimensional amb Línies

Per resoldre les dificultats d'operació amb imatges planes i facilitar la presentació dels obstacles en el camí, es va presentar la possibilitat de fer servir interfícies desenvolupades en llenguatge C o Basic (Visual Basic), mitjançant línies que podrien representar el fons a partir d'una graella de línies (grid). La següent interfície (vegeu la figura 4.20) es va desenvolupar en Visual Basic. Per aprofitar les facilitats que ofereix vam representar el fons i la superfície mitjançant línies, ja que resulta molt més fàcil representar aquests objectes d'aquesta forma.

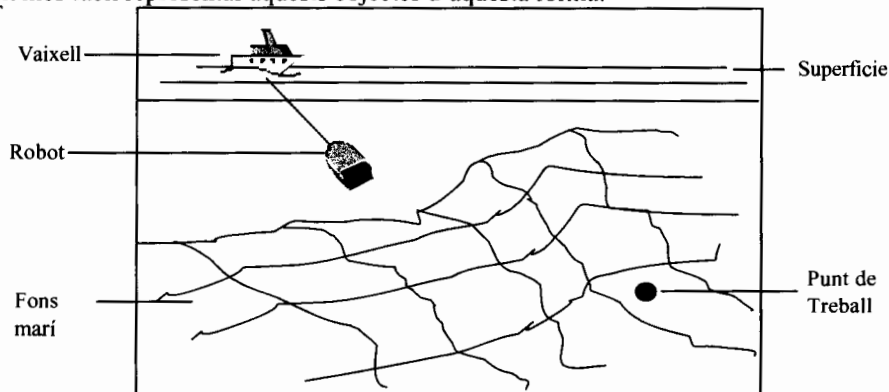


Fig. 4.20.- Interfície Tridimensional basada en línies

La representació mitjançant línies no va donar prou semblança de realitat, ja que les línies no faciliten la comprensió de la imatge. A més a més, va ser molt complicat fer la presentació del robot a prop del fons o de la superfície (on les línies es confonien amb el robot). Aleshores vam preferir desenvolupar una altra interfície que aprofités la idea de tridimensionalitat de forma més eficient.

4.9.5.- Interfície Tridimensional Mitjançant Eines d'Entorns Virtuals

Les eines de realitat virtual en temps real permeten fer un control dinàmic i mostrar imatges amb profunditat. Per aquest motiu es poden aprofitar les funcionalitats per desenvolupar una interfície que mostri a l'usuari un esquema de treball virtual. Com ja hem explicat anteriorment, la realitat virtual és una forma de representació artificial que fa servir imatges computeritzades que presenten una certa semblança amb la realitat. El principal avantatge de la realitat virtual és que dona la possibilitat de mostrar un mateix paisatge des de diferents punts de vista, alhora que permet la possibilitat de fer un canvi dinàmic i continu d'aquest punt de vista. Gerson, Sorby, Wysocki i Baartmans assenyalen la importància de fer servir eines multimèdia per millorar les habilitats de visualització tridimensional [GER 01a]. Muller i Ottmann també van ressaltar la importància de la telepresentació en sistemes d'entrenament i ensenyament remots [MUL 00]. La realitat virtual ofereix els següents avantatges a les interfícies de teleoperació [BEJ 96]:

- L'entorn de treball es pot visualitzar amb una gran semblança amb la realitat, i facilita la representació de les muntanyes i de les valls de forma virtual.
- Els usuaris poden canviar de punt de vista amb molta facilitat i veure l'entorn de treball amb total llibertat. Això inclou la possibilitat de veure els objectes des d'una altra posició.
- Es poden representar fàcilment els obstacles i altres objectes presents a l'entorn de treball.
- Es poden construir instruments virtuals integrats en la mateixa imatge a fi de donar a l'usuari tota la informació. D'aquesta manera s'incrementa la velocitat de transferència de dades del sistema a l'usuari.

D'altra banda, la realitat virtual permet fer simulacions que facilitin l'entrenament dels usuaris, i les ajudes en línia poden ser més dinàmiques. Alhora, també poden integrar-se a la pantalla altra mena de dades i imatges de guies que ajudin els operadors a conduir en l'entorn virtual. Gerace i Gallimore van determinar que les interfícies amb informació integrada són les preferides pels usuaris [GER 01c].



Fig. 4.21.- Interfície Virtual per a la conducció de vehicles submarins teleoperats

En el desenvolupament d'aquesta interfície vam aprofitar l'eina de realitat virtual VRT (Virtual Reality Tools) de l'empresa SUPERSCAPE. Amb aquesta eina vam desenvolupar la interfície que presentem a la figura 4.21. Aquesta eina de realitat virtual es va executar en un ordinador multimèdia Pentium, de 128 megabytes de memòria RAM. La figura 4.21 presenta els diferents elements que vam dissenyar per a la interfície virtual de teleoperació. Aquest disseny està en concordança amb les premisses de Tufte, segons les quals les imatges donen una explicació visual i eliminen el soroll present de les imatges reals (aigua bruta, foscor, etc.) [TUF 90 i 97], i de Shedroff, que va dir que la visualització integral permet una comunicació integral, alhora que permet predir l'escala, l'orientació i la projecció [SHE 01]. Entre els elements presentats a la interfície, hi trobem: la superfície del mar, a la part superior, que

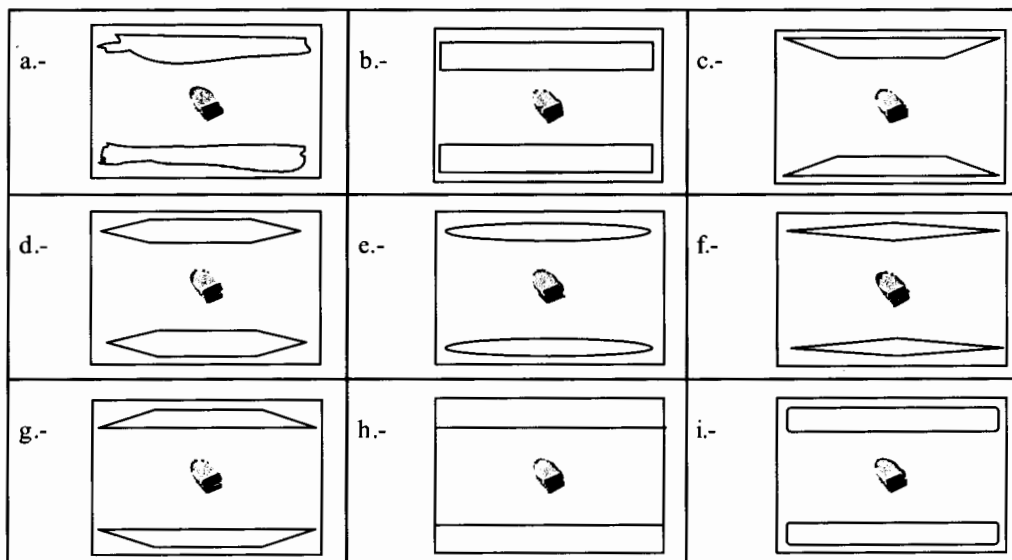
mostrem de color blau transparent; sobre el mar s'observa el vaixell de partida; a la part inferior s'hi pot veure el fons marí, amb diferents tonalitats de verd i amb les muntanyetes de l'entorn específic; també hi ha el cursor del sistema i, finalment, el robot. Dins de l'esquema de presentació, encara falta per definir la distribució i la definició d'alguns elements, com són:

- Inicialment, ¿quina és la millor manera de mostrar el sistema? En inicialitzar el sistema, es podria mostrar el robot a la superfície, o només enmig del mar i al fons, o es podria presentar la superfície i el fons des de diferents perspectives.
- ¿Com es podria indicar la posició del robot en relació amb la superfície i el fons? Malgrat que el robot es presenta entre la superfície i el fons, encara no es veu la relació d'ubicació respecte a la superfície i el fons.
- ¿On caldria col·locar els comandaments i les funcions? Cal distribuir icones de funcions i comandes per al control de la interfície, que caldrà posar en algun costat de la pantalla.

Aquests dubtes els resolldrem en els capítols posteriors, alhora que estudiarem també altres aspectes, com ara el rendiment de treballar amb els comandaments i la capacitat dels usuaris de reconèixer les funcions, el rendiment fent tasques de diferent natura, els perifèrics de treball i el rendiment amb diferents distribucions d'informació.

4.9.5.1.- Esquemes de Presentació de la Relació Superfície-Robot-Fons

Uns dels problemes de la presentació de dades en forma virtual és el fet de mostrar a l'usuari, des d'un bon començament, que està treballant amb realitat virtual i que això comporta certa profunditat en les imatges que apareixen a les pantalles de l'ordinador. La presentació de tot el fons i de tota la superfície a la pantalla no permet que s'entengui gaire bé la idea de profunditat. Per això una de les idees inicials va ser la de presentar només un segment de l'àrea de treball per restringir la imatge a la pantalla i no saturar l'usuari amb més àrea de la que podia veure. Però ara el problema era com s'havia de presentar aquesta àrea a l'usuari a l'inici del programa perquè, com és lògic, una de les coses més complexes d'indicar en el programa és la sensació de profunditat quan s'està treballant amb una pantalla de monitor pla. Per determinar la millor forma de mostrar la relació de segments de superfície i fons, vam fer una enquesta a alguns usuaris per conèixer les seves preferències respecte a les diferents possibilitats de presentació. L'enquesta estava basada en les imatges de les figures de la taula 4.6. Vam preguntar als usuaris quina presentació els semblava més realista de cara a fer una presentació tridimensional inicial. Els usuaris podien triar entre una i diverses imatges (fins a un màxim de tres) i havien d'explicar per què les havien preferit i, a més a més, havien d'indicar què era el fons, què era la superfície i on era el robot.



Taula 4.6.- Imatges dels esquemes possibles de presentació de la relació: superfície – robot – fons

L'enquesta, que es va dur a terme amb les dades presentades a la taula 4.6, va donar el resultat que presentem a la taula 4.7, en la qual també indiquem quants usuaris van poder identificar adequadament el fons de la superfície i el robot en si:

Esquema de presentació	Acceptable	Reconeixement adequat
A	1	1
B	1	0
C	15	14
D	5	4
E	3	1
F	2	2
G	2	1
H	6	4
I	9	5

Taula 4.7.- Taula d'acceptació de la interfície inicial de presentació d'informació tridimensional

Com es pot veure de la taula 4.7, la imatge "A", de superfície irregular, només va ser triada per un usuari, el qual va poder diferenciar la superfície del fons. La imatge "B" va ser triada també per un usuari, però aquest no va ser capaç de determinar què era la superfície i què era el fons. La imatge "C" va ser seleccionada per quinze usuaris, dels quals només catorze van determinar el fons i la superfície.

La imatge "D" va ser triada per cinc persones, de les quals només quatre van poder determinar la diferència de fons i superfície. La imatge "E" va ser seleccionada per tres persones, però només una va diferenciar el fons de la superfície. La imatge "F" va ser triada i identificada per tres persones. La imatge "G" va ser triada per dues persones, però només una va identificar el fons de la superfície. La imatge "H" va ser triada per sis persones, de les quals quatre van identificar el fons i la superfície. Finalment, la imatge "I" va ser triada per nou persones, però només cinc van diferenciar el fons de la superfície.

En resum, d'aquesta prova es pot deduir que, per una banda, els usuaris no tenien gaires problemes per diferenciar la superfície i el fons i, per l'altra, la identificació del robot va ser força precisa, ja que moltes persones van poder identificar-lo (72%). També vam poder veure que el format preferit era el de la imatge "C" de la taula 4, amb un índex del 34% de preferència. Aquesta imatge s'assembla molt a una vista amb perspectiva; per exemple, si una persona s'atura en un passadís, pot veure el sostre i el terra com si es tractessin de dos quadrats amb la mateixa perspectiva. Aquest concepte és molt semblant al presentat per Mark i Peercy (a Visual Computing), els quals expliquen la importància de la visualització piramidal [MAR 00].

4.9.5.2.- Representació de la Ubicació Espacial: Ombres Virtuals

La representació en perspectiva del fons i de la superfície inicialment serveix per ubicar l'usuari, ja que, a l'hora de treballar, el robot segurament es mourà i la perspectiva canviarà; fins i tot es pot donar el cas que l'usuari se situï dins del robot i que estigui treballant en el fons.

En proves fetes durant l'execució del programa de la interfície es va comprovar que determinar la posició relativa del robot associada a la imatge plana de la pantalla resultava molt complicat. Com es pot constatar a les figures de la taula 4, no hi ha manera de veure si el robot és al llindar de la superfície, si està a punt d'anar cap a un altre segment de la imatge de l'àrea de treball o si és enmig de les àrees de treball. Això passa bàsicament perquè, en aquestes condicions, el robot pot estar ubicat a qualsevol de les següents posicions de l'eix vertical, com mostrem a la figura 4.22.

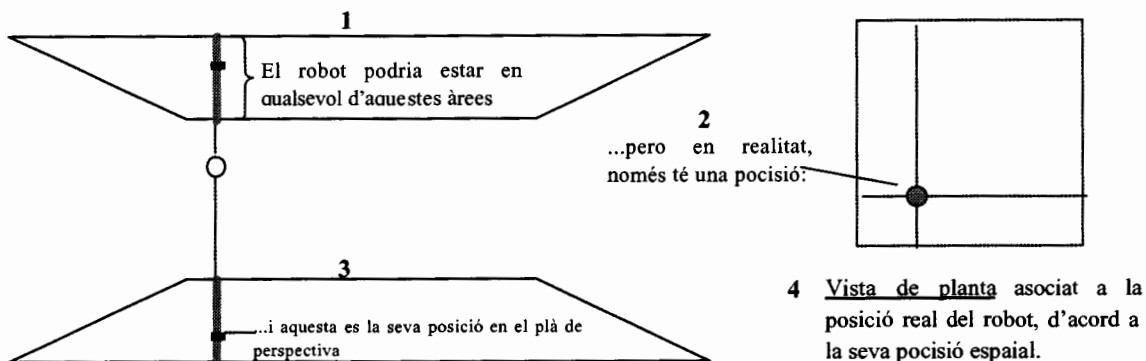


Fig. 4.22.- Ubicació espacial del robot entre la superfície i el fons en una visió de perspectiva i la seva ubicació en planta

Com es pot veure a la figura 4.22, el robot pot tenir qualsevol de les possibilitats d'ubicació que mostrem a la superfície i al fons, però, com indiquem a la representació, només en té una a la vista de planta.

És evident que si els segments de superfície i de fons tenen les mateixes dimensions i es troben un damunt de l'altre, quan se sap la posició del robot en un d'aquests segments, automàticament quedarà definida la posició en l'altre. La qüestió és que, com a mínim, caldria indicar aquesta informació: la ubicació del robot en referència a la superfície i/o el fons. Per determinar les preferències dels usuaris sobre aquest particular, vam desenvolupar una enquesta en la qual vam tenir en compte les següents possibilitats (vegeu la taula 4.8):

a.-		b.-		c.-	
d.-		e.-		f.-	
g.-		h.-		i.-	

Taula 4.8.- Preferències dels usuaris sobre la indicació de la posició relativa del robot en el fons i en la superfície

L'enquesta respecte a la preferència sobre la indicació de la posició relativa del robot en la superfície i/o en el fons presentava, entre altres, la següent pregunta: "(els usuaris) ¿estan interessats en la presentació dual tant en la superfície com en el fons?" D'altra banda, entre tres opcions a escollir, preguntàvem: "¿quina és la millor representació?" A la taula 4.9 presentem els resultats d'aquesta enquesta:

Esquema de Presentació	Preferència	Capacitat d'interpretació	Prefereixen la indicació en el fons i en la superfície
A	5	0	-
B	3	3	2
C	9	8	4
D	8	7	8
E	16	15	10
F	4	2	4
G	1	1	0
H	11	9	11
I	1	0	1

Taula 4.9.- Preferència en la presentació de les referències d'ubicació i la seva comprensió

Com es pot veure de la taula 4.9, la imatge A, de superfície irregular, va ser triada per cinc usuaris, però cap no va poder determinar la ubicació del robot. Així doncs, en aquest cas no s'aplica la possibilitat d'indicació en la superfície i en el fons de la ubicació del robot. La imatge B va ser triada per tres usuaris, i tots tres van ser capaços de determinar la situació del robot, però només dos preferien la indicació en la superfície i el fons. La imatge C va ser seleccionada per nou persones, de les quals vuit van determinar la ubicació del robot, però només quatre preferien la indicació a les dues parts de la imatge: superfície i fons.

La imatge D va ser triada per vuit persones, de les quals set van poder determinar la ubicació del robot, però totes vuit preferien la indicació redundant de la posició del robot. La imatge E va ser seleccionada per setze persones, de les quals quinze van determinar la ubicació del robot, mentre que deu preferien la indicació en la superfície i en el fons. La imatge F va ser triada per quatre persones, de les quals dues van determinar la ubicació del robot adequadament, mentre que totes van preferir la indicació en la superfície i en el fons. La imatge G va ser triada per una persona, que va poder definir la ubicació del robot i que preferia només una imatge per indicar la ubicació. La imatge H va ser triada per onze persones, nou de les quals van poder determinar la ubicació del robot, mentre que totes onze preferien la indicació de la ubicació en el fons i en la superfície. Finalment, la imatge I va ser triada per una persona, que no va ser capaç de situar adequadament el robot, però que preferia aquesta indicació en la superfície i en el fons. Curiosament, en aquesta taula es pot observar que hi ha usuaris que van triar la primera opció, és a dir, la que no té cap referència; però aquests usuaris no van ser capaços de definir on era el robot ni van poder indicar-ne la situació respecte a un pla tenint la informació de perspectiva. A partir d'aquí, el que es pot deduir és que:

- Els usuaris no van entendre la pregunta (considerant la presència de persones estrangeres i d'altres que normalment no estan gens interessades a respondre enquestes).
- Els usuaris tenien altres expectatives a l'hora de triar la imatge escollida.

En qualsevol cas, és raonable pensar que aquesta imatge no serveix per a la localització d'objectes en espais tridimensionals. En general, es veu que l'ombra virtual va ajudar a reconèixer millor la localització del robot. Com ja deien Guidice i Dennis, les ombres en els objectes ajuden a ressaltar-ne l'aparença [GUI 01], i en aquesta interfície millora la localització del robot teleoperat en l'espai. Aquesta teoria també la comparteixen Surdick *et al.*, els quals defineixen que l'efectivitat de la percepció de claus amb marques a les imatges ajuden a fer-nos percebre un sentit de profunditat [SUR 97].

4.9.5.3.- Distribució dels Comandaments i Funcions en Pantalla

Fins ara hem definit la distribució d'alguns elements dins de la pantalla virtual. Ara hem de definir la ubicació dels elements que permeten fer el control de la interfície i del sistema teleoperat. Cantoni, Levaldi i Roberto [CAN 97] comentaven que una interfície només pot mostrar una quantitat

limitada d'ícones abans de saturar la pantalla; per això, la correcta distribució i el balanç de funcions en pantalla és molt important. Per comandament definirem les ícones (o altres elements) que permeten controlar el robot (desplaçaments endavant, endarrere, cap a la dreta, cap l'esquerra, girar, etc.), mentre que per funcions definirem les ícones que fan una operació en el sistema o en la interfície (desar, opcions de configuració, ajudes, etc.).

És clar que moltes vegades serà complicat diferenciar aquests conceptes; per exemple, en el cas de fer un canvi de punt de vista. D'altra banda, pel que fa a les ajudes, algunes són del mateix sistema i altres serveixen per a l'operació del robot. De tota manera, sempre serà el dissenyador qui descriurà aquestes funcionalitats durant el desenvolupament de la interfície [KOV 99]. Ara cal determinar la distribució d'aquests elements a la pantalla i intentar proposar alguna cosa més o menys consistent. És evident que una enquesta sobre aquest punt és molt difusa, ja que encara no s'ha definit la interfície de forma operativa.

A l'hora de fer les enquestes, hem presentat als usuaris les diferents distribucions possibles per a les relacions de comandaments i funcions, tal com es mostra a la figura 4.23. ¿Quin dels quatre costats serà el millor per posar-hi les funcions i comandaments? La preferència per alguns dels costats permetrà fer un disseny ajustat a les necessitats dels usuaris.

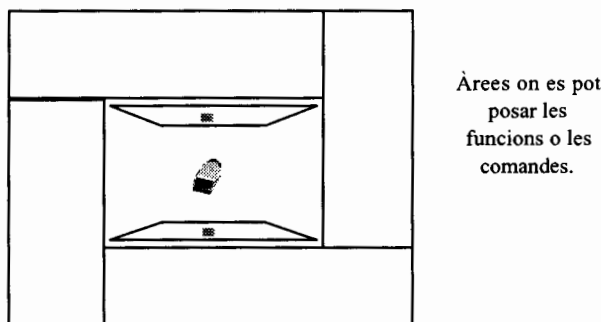


Fig. 4.23.- Costats de la imatge per a la ubicació de "funcions" i "comandaments"

Per determinar la preferència dels usuaris, vam presentar las següents alternatives:

a.-		b.-		c.-	
d.-		e.-		f.-	
g.-		h.-		i.-	

Taula 4.10.- Preferències dels usuaris sobre la indicació de la posició relativa del robot en el fons i en la superfície

El resultat de l'enquesta sobre la preferència de la ubicació dels comandaments i les funcions la presentem a la taula 4.11:

Esquema de presentació	Usuaris
A	11
B	2
C	6
D	10
E	12
F	15
G	4
H	2
I	0

Taula 4.11.- Preferència en la presentació de les referències d'ubicació i la seva comprensió

En general, es pot veure que les imatges B, G, H i I van ser triades per menys de cinc persones, mentre que les imatges A, D, E i F van ser triades per deu o més persones (vegeu la taula 4.11). D'aquí es pot deduir que aquestes últimes tenen una acceptació més gran. L'opció C va ser especialment triada, però en el cas particular del nostre disseny es col·locarà una barra de menús en la imatge; per tant, aquest format amb les funcions del sistema a dalt i els comandaments al costat ja ha estat considerat. Allò que volem veure és què passa en els altres casos.

Les imatges A i F tenen més o menys la mateixa base: icones al costat dret i icones al costat inferior. Per tant, hi ha la possibilitat que els usuaris hagin triat una imatge per l'altra. A la vegada, hi ha les imatges D i E, que presenten la mateixa distribució.

En seleccionar el costat adequat per a la ubicació dels comandaments també vam tenir en compte els motius d'aquesta selecció. Per tant, els usuaris van presentar les opcions de la taula 8, però, a més, també se'ls va demanar que exposessin els motius pels quals havien fet aquesta selecció i poder determinar, així, les possibles motivacions que van fer que les persones triessin aquestes interfícies (vegeu la taula 4.12). A continuació presentem les respostes dels usuaris:

Motius de la selecció:	Quantitat
No tens cap preferència	11
Aquesta distribució et recorda algun programa o joc informàtic	14
El prefereixes perquè ets dretà o esquerrà	23
Aquesta distribució és similar a la dels panells dels cotxes	0
Et recorda el panell d'alguns electrodomèstics	14
És molt similar a alguns equips que fas servir normalment	10
La distribució és la forma més natural d'operar amb els equips	6
Has vist aquesta distribució en un altre joc mecànic	5
T'agrada molt la distribució de comandaments que has triat	8
Algun altre raó	0

Taula 4.12.- Diferents opinions per a la selecció de la distribució de comandaments i funcions a la pantalla

De la taula 4.12 podem deduir que la majoria dels entrevistats van triar una opció perquè eren dretans o esquerrans (25,27%); a continuació, l'opció més triada va ser causada per la similitud d'operació amb programes o aparells electrodomèstics (15,38 % cada opció). Un 12 % no va mostrar cap preferència, i un 11% va triar una de les opcions perquè la va trobar similar a alguns dels equips que feia servir normalment. Un 8,79% va triar una de les opcions perquè la va trobar agradable, mentre que el 6,59% pensa que la seva opció és la forma més natural d'operar. Finalment, el 5,49% ja havia vist la mateixa distribució de funcions i comandaments en un altre joc mecànic.

És evident que, pels dretans, ubicar les funcions a la dreta els facilita molt l'activació de les operacions, ja que molta gent fa servir la dreta per moure el ratolí (és molt acceptat que gran part de la població és dretana i que col·loca el ratolí a la banda dreta). Però molts programes informàtics comercials situen les funcions al costat esquerre, com, per exemple, Paint® (o Paint Brush) i PowerPoint®, o fins i tot el mateix Windows 2000® o el Windows XP®, tots programes de Microsoft. Altres programes, però, col·loquen les funcions al costat dret, com l'Autocad®, l'Adobe Photoshop®, etc. També molts aparells (microones, televisors, ràdios, etc.) posen els botons (o comandaments) al costat dret.

La ubicació a un costat o a l'altre depèn, en gran mesura, de la importància de les funcions i de l'objecte que es vol presentar. Per exemple, és raonable que el botó d'inici del Windows 2000® i Windows XP® estigui al costat esquerre, ja que els occidentals llegim d'esquerra a dreta. Però per activar el programa molta gent fa servir la dreta; per tant, en alguns programes és preferible posar les funcions en aquest costat.

4.10.- Interfícies Persona-Màquina (HMI) Proposades

L'avaluació de la preferència del costat en el qual s'han de situar les funcions que hem comentat anteriorment ens serveix de base per intentar presentar una interfície com a mínim en dos formats, cercant, així, la millor distribució de comandaments i funcions per a tots els possibles usuaris. Shedroff diu que "the visualization is integral to the communication" i, per això, la interfície és la part més important per a una adequada transferència d'informació [SHE 01]. Partint d'aquest raonament, vam dissenyar dues interfícies a fi de satisfer les preferències dels usuaris:

- **La interfície A** aquesta interfície presenta imatges d'informació i algunes funcions addicionals a la banda esquerra. La idea és que els usuaris puguin disposar de totes les informacions de manera visual i fàcil sense haver d'activar cap funció, encara que no necessitin la informació visual. En aquest sentit, Josep Amat (professor catedràtic del Departament d'Enginyeria de Sistemes, Automàtica i Informàtica Industrial) va fer una proposta molt interessant, basada en la presentació de les dades numèriques en format gràfic i amb pocs comandaments (vegeu la figura 4.24).

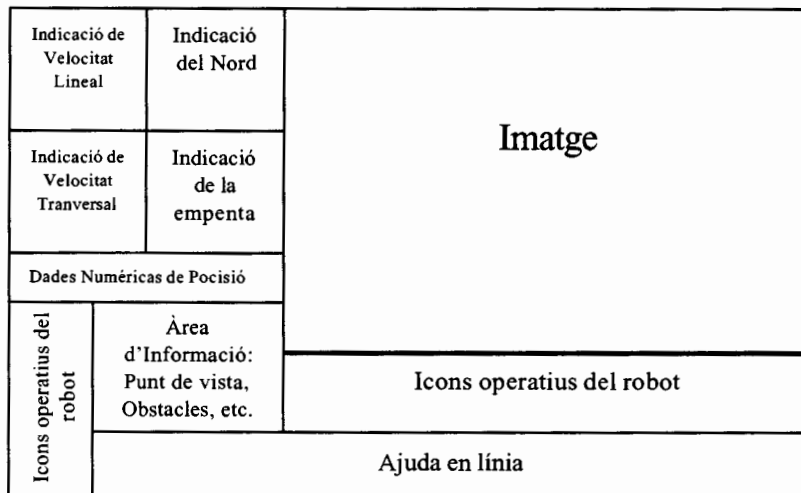


Fig. 4.24.- Interfície "A" amb distribució de finestres informatives

- **La interfície "B"**: aquesta interfície presenta les funcions a la dreta; per tant, donarem importància a la imatge i a la presentació per al control del robot. La idea és que els usuaris puguin disposar de comandaments i funcions per a totes les activitats que vulguin fer. Aquesta interfície posa l'èmfasi en el control de l'usuari. Si l'usuari

necessita alguna informació addicional, haurà d'activar el botó corresponent (vegeu la figura 4.25).

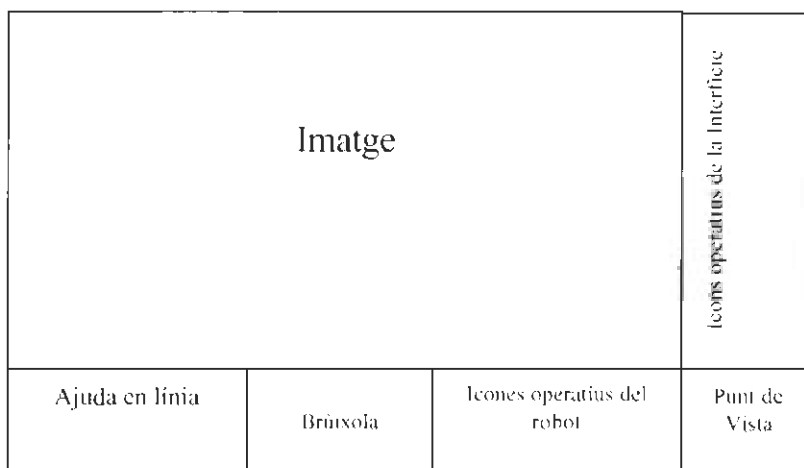


Fig. 4.25 .- Interfície "B" amb distribució de comandaments i funcions

En el següent capítol avaluarem el rendiment de les interfícies, i també el rendiment dels usuaris amb diferents perifèries.

4.10.1.- Definició de la Interfície Persona-Màquina (HMI) "A"

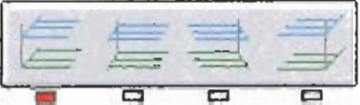
Principalment, la interfície "A" presentarà totes les dades del robot de forma gràfica per simplificar el treball dels usuaris. Alhora, totes les dades significatives per a la conducció es presentaran de manera conjunta a la interfície virtual. Així l'usuari tindrà informació redundant que li permetrà fer una conducció correcta. A la vegada, els comandaments de conducció es posaran, preferiblement, en un teclat de conducció, sense repetir-los a la interfície.


Les finestres que constitueixen aquesta interfície són:


- La finestra de dades operatius:** és un conjunt de petites finestres (quatre de gràfiques, a més d'una secció de dades numèriques) amb informació bàsicament visual, que permet veure l'estat del vehicle. Aquestes dades són:
 - ⇒ Velocitat lineal del robot, que indica la velocitat de desplaçament del robot.
 - ⇒ Rumb: direcció del nord respecte al robot. A la indicació del nord s'hi posa la lletra N per indicar on és el nord, i la direcció actual del robot s'indica en color vermell.
 - ⇒ Velocitat transversal o deriva (és a dir, la velocitat lateral del robot deguda als corrents submarins).
 - ⇒ Empenta o velocitat de pujada/baixada del robot.
 - ⇒ Dades numèriques d'ubicació del robot. D: distància del vaixell, P: profunditat i O: angle d'inclinació del robot.





- Punts de vista predefinits:** per agilitzar les operacions i facilitar el treball de l'usuari, aquest control permet triar entre quatre punts de vista predefinits. Els canvis que es facin en aquesta secció es reflectiran a totes les finestres de dades del robot.



- Icona per al canvi del punt de vista:** aquesta icona permet activar a l'àrea d'informació dades sobre el control del punt de vista del robot. D'aquesta manera es pot activar el canvi del punt de vista.



- Definició del rumb de navegació:** aquesta opció permet passar a un altre esquema de visualització en el qual l'usuari pugui triar visualment el nou rumb. Això es definirà directament a la brúixola virtual del sistema. A la icona vam presentar un dibuix del timó de navegació dels vaixells.



- Disseny del fons marí:** per adaptar la interfície a determinats entorns marins, l'experiència i els coneixements previs de l'usuari permeten que es pugui dibuixar l'entorn marí abans que el robot arribi a aquest lloc. La icona presenta un cursor canviant en el fons marí.

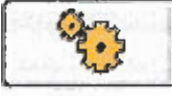

- Detecció d'obstacles:** aquesta icona activa dins l'àrea d'informació les dades sobre els obstacles que possiblement hi hagi davant del robot a fi que l'usuari pugui tenir informació sobre la ubicació d'aquests problemes.



- Encendre els llums:** aquesta icona permet activar fàcilment el llum intern del robot i facilitar, així, la conducció en entorns de poca il·luminació. Normalment, en els entorns marins de certa profunditat cal encendre el llum perquè la claror natural no hi arriba.



- Configuració del sistema:** aquesta funció permet canviar alguns paràmetres del sistema a fi d'adaptar-los a les necessitats de l'usuari. Aquesta opció també permet el canvi de paràmetres de pantalla.

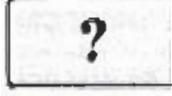

- Operació manual:** aquesta opció permet operar manualment el robot i, per tant, la direcció, la velocitat i el rumb del robot dependran de les decisions de l'usuari. A la icona hi apareix clarament una mà, que fa referència a la forma d'operar del robot en aquestes condicions.


- Operació automàtica:** aquesta opció activa l'operació automàtica del robot, que seguirà el rumb predefinit a la velocitat establerta per defecte fent la ruta més simple. A la icona es veuen uns engranatges que fan referència a l'automatisme de les operacions automàtiques.


- Estabilització del robot:** aturar el robot al fons marí mantenint l'equilibri dels corrents submarins implica activar un algorisme de control que reguli els motors perquè el robot no es mogui del seu lloc de treball. Aquesta opció permet la ràpida aturada del robot perquè es puguin fer accions puntuals en aquest lloc.


- Control del braços del robot:** aquesta opció permet activar la interfície perquè el robot controli els braços. A partir d'aquesta opció l'usuari passa a una altra interfície que li permet treballar en el fons marí. La icona presenta un dibuix dels braços del robot.


- Sol·licitud d'ajuda del sistema i operació:** aquesta opció activa una finestra a la pantalla amb una descripció del sistema, comandaments i funcions presents. Aquesta icona té la forma d'un signe d'interrogació, més o menys típica a tots els sistemes que tenen un sistema d'ajuda.



Un cop explicades totes les parts del sistema, la interfície "A" queda definida com mostrem a la figura 4.26.

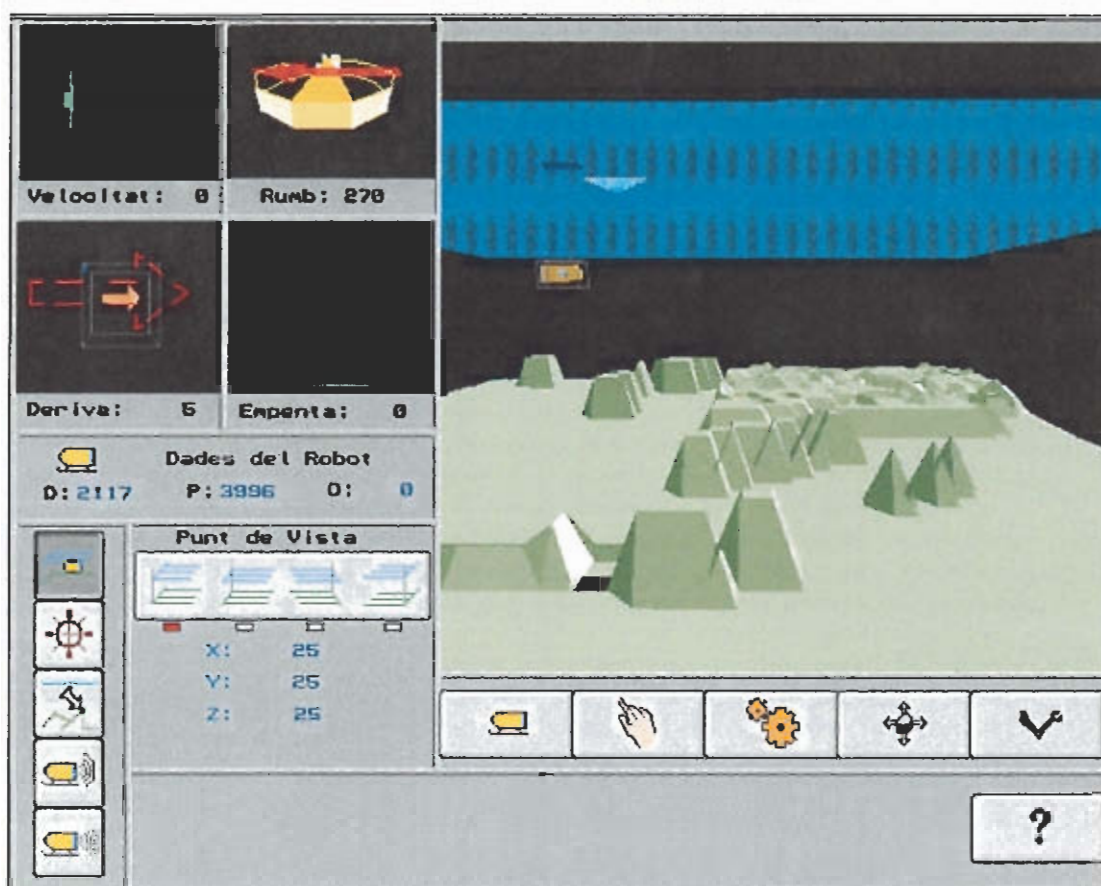











Fig. 4.26.- Interfície "A" distribució de finestres informatives



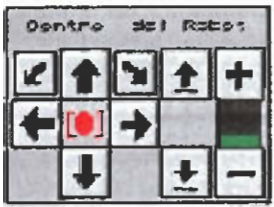
4.10.2.- Definició de la Interfície Persona-Màquina (HMI) "B"

La interfície "B" presenta, principalment, icones de funcions i comandaments per deixar a l'usuari tot el control de la interfície. En aquest cas no es presenta tota la informació, ja que, possiblement, massa informació podria dificultar l'operació de conducció i el treball normal dels operadors del sistema. Les funcions i els comandaments necessaris per a la teleoperació del robot es definiran d'acord amb els requeriments dels usuaris avançats i les característiques del sistema. En aquest sentit, hem definit les següents funcions per a la banda lateral:

- **Visualització de l'estat intern** del sistema teleoperat. La idea d'aquesta funció és, en part, amagar les descripcions complexes de l'estat intern del sistema i donar a l'usuari informació condensada perquè pugui treballar sense veure constantment tota la informació del sistema del robot. La icona té la forma d'un semàfor i, segons el llum que estigui encès, dona a entendre si es pot treballar o no. Qualsevol alarma del sistema activarà un llum, que pot ser groc o la vermell segons el grau de complicació que suposi en el rendiment del sistema. 
- **Configuració del sistema.** Permet canviar alguns paràmetres del sistema perquè puguin adaptar-se a les necessitats de l'usuari. Aquesta opció també permet el canvi de paràmetres de la pantalla. La forma de clau de la icona recorda la possibilitat de canviar o ajustar cargols. 
- **Disseny del fons marí.** Permet adaptar la interfície a determinats entorns marins sempre que l'experiència i els coneixements de l'usuari permetin veure el dibuix de l'entorn marí abans que el robot hi arribi. La icona presenta el cursor canviant a una part del fons marí. 

- **Aturar el robot en el fons mantenint l'equilibri.** Aturar el robot en el fons marí mantenint l'equilibri dels corrents submarins implica activar un algoritme de control que reguli els motors perquè el robot no es mogui del seu lloc de treball. Aquesta opció permet la ràpida aturada del robot perquè es puguin fer accions puntuals en aquest lloc. La icona té la forma d'una mà en posició d'indicar "stop". 
- **Control del braços del robot.** Aquesta opció permet activar la interfície perquè el robot controli els braços. A partir d'aquesta opció l'usuari passa a una altra interfície que li permet treballar en el fons marí. La icona presenta un dibuix dels braços del robot. 
- **Definició del rumb de navegació.** Aquesta opció permet passar a un altre esquema de visualització en el qual l'usuari pot triar el nou rumb visualment, que es definirà directament a la brúixola virtual del sistema. La icona presenta el dibuix d'un timó de navegació de vaixells. 
- **Operació amb el disc del sistema.** Permet desar la informació actual en el disc del sistema i fer altres operacions relacionades amb fitxers. També permet canviar d'unitat i treballar amb subdirectorís. La icona presenta el dibuix d'un disquet. 
- **Presentació de la informació numèrica a la pantalla.** Aquesta icona permet activar la presentació de les dades numèriques més significatives perquè es puguin veure a la pantalla, de manera que l'usuari pugui visualitzar-les en cas que ho consideri convenient o bé que les amagui segons el seu interès. La icona presenta la lletra i per indicar "informació", i els nombres 1, 2, 3... per indicar que aquesta opció pot activar la presentació d'informació numèrica. 
- **Sol·licitud d'ajuda del sistema i operació.** Aquesta opció activa una finestra a la pantalla amb una descripció del sistema, dels comandaments i i de les funcions presents. La icona presenta la forma d'un signe d'interrogació, típica en la representació de l'opció d'ajuda a tots els sistemes. 

A la banda horitzontal inferior hi ha els següents comandaments:

- **Ajuda en línia.** És un quadre de text que permet presentar diverses línies descriptives dels comandaments o de les funcions, les quals s'activen amb el cursor (en aquest cas s'han definit quatre línies de text). Així, el ratolí permet activar la presentació d'ajudes completes en línia. 
- **Brúixola virtual amb informació del rumb desitjat.** Aquest instrument, típic dels sistemes de navegació dels vaixells, presenta la direcció del nord, la direcció cap a la qual hi ha el vaixell de partida (mother ship) i la direcció del rumb desitjat des del punt de vista del robot (vehicle en navegació).
- **Comandes per controlar el punt de vista.** Permeten variar l'aproximació i la posició del punt de vista d'acord amb les necessitats dels usuaris. Hi ha múltiples possibilitats en aquest sentit, com ara: aproximació del punt de vista, allunyament del punt de vista, desplaçament cap a l'esquerra, desplaçament cap a la dreta, gir cap a l'esquerra i gir cap a la dreta. A més, el punt de vista també es pot pujar i/o abaixar, o bé posar-lo en una perspectiva de planta (des de dalt) de tota la zona de treball. El punt de vista també es podria posar dins del robot (és a dir, simulant que la càmera o el punt de vista és dins del robot). 
- **Comandaments per controlar la direcció de conducció.** Permeten variar la direcció cap a la qual es desplaçarà el robot, la potència i la velocitat del desplaçament segons les necessitats dels usuaris. En aquest sentit, hi ha múltiples possibilitats: desplaçament cap endavant, cap endarrere, cap a l'esquerra, cap a la dreta, gir a l'esquerra, gir a la dreta, pujada i baixada del robot, i aturada total del robot en conducció. També hi ha una secció que permet augmentar o disminuir la potència dels motors de desplaçament, amb indicació visual de la potència predefinida per al desplaçament (a la imatge és de color verd). 

- Quadre del mapa clau (keymap).** Aquesta secció permet fer un canvi ràpid i fàcil del punt de vista per poder conduir en un món virtual. Aquesta petita secció mostra, des d'un punt de vista general, la situació del robot i la relació d'aquest amb el vaixell de partida, el nord i el punt de vista. D'aquesta forma l'usuari només ha de canviar el punt de vista (càmera) per variar el punt de vista que desitja. Tots els canvis de punt de vista es realitzen en referència al robot i, per tant, l'usuari mai perd l'enfocament. Qualsevol canvi en aquesta petita imatge es reflecteix a la imatge de conducció.



A la figura 4.27 presentem tots els comandaments d'aquesta interfície:



Fig. 4.27.- Interfície "B". Distribució de finestres de control

4.11.- L'Índex de les Interfícies Persona-Màquina (HMI) Proposades

Si analitzem l'índex de les interfícies desenvolupades de les següents figures:

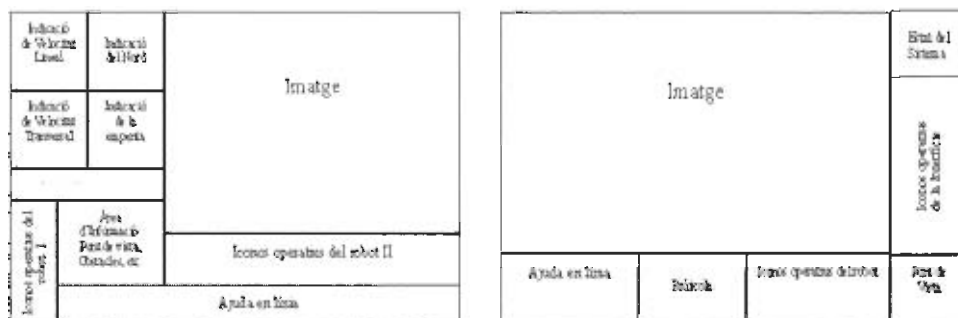


Fig. 4.28.- Blocs que componen les interfícies desenvolupades

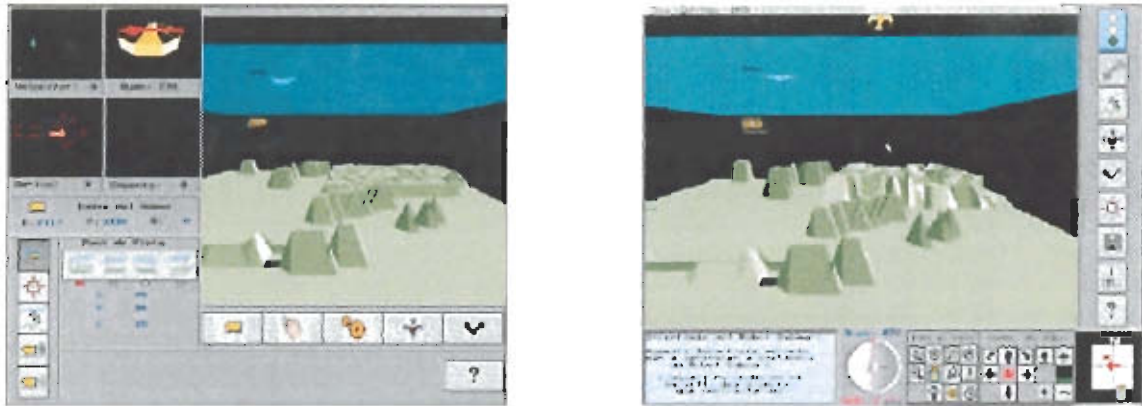


Fig. 4.29.-Interfícies desenvolupades

La quantitat d'elements que hi ha a cada una de les interfícies (figures 4.28 i 4.29), és a dir, el nombre d'elements que representa cada un dels objectes que hi ha a la pantalla i que l'usuari hauria de veure i interpretar, són:

- Interfície A: 37: 15 de control i 22 de visualització.
- Interfície B: 44: 32 de control i 12 de visualització.

Com ja havíem comentat, aquestes interfícies també tenen un conjunt d'elements que agrupen el significat de la interfície com si fos un espai d'interacció. En total, cada una d'aquestes interfícies representa el següent:

- Interfície A: 10: 2 de control i 8 de visualització
- Interfície B: 7: 5 de control i 3 de visualització.

Si bé la interfície "A" té menys elements que la interfície "B", la primera interfície presenta una distribució de grups més gran i viceversa. Aquests valors, combinats, representen la càrrega visual que té l'usuari i donen idea de l'esforç que ha de fer per interpretar les imatges quan comença a fer servir la interfície. L'índex de les interfícies desenvolupades seria:

Interfície "A":

<i>Paràmetre:</i>	<i>Visualització</i>	<i>Control</i>
Elements	22	15
Blocs	8	2
Escala	3	1
<i>Total</i>	<i>1.09</i>	<i>0.13</i>

Interfície "B":

<i>Paràmetre:</i>	<i>Visualització</i>	<i>Control</i>
Elements	12	32
Blocs	3	5
Escala	3	10
<i>Total</i>	<i>0.75</i>	<i>1.56</i>

Així, l'índex de les interfícies ens dona una avaluació ràpida (si bé no precisa) de la interfície HMI. D'aquesta manera podem dir amb tota confiança que el sistema respon a les necessitats plantejades. A la figura 30 comparem totes dues interfícies:

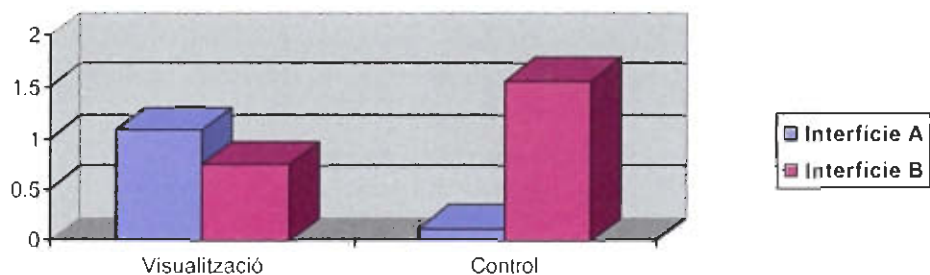


Fig. 4.30.- Comparació de l'índex de les interfícies desenvolupades

Com es pot veure en la figura 4.30, la interfície "A" posa l'èmfasi en la visualització de les dades, mentre la interfície "B" té l'èmfasi posat en el control. Encara cal determinar el rendiment i la satisfacció real dels usuaris mitjançant la realització de proves, així com la mesura de diversos paràmetres, que explicarem al capítol 5.

4.12.- Optimització Funcional de l'HMI

Per desenvolupar una interfície cal tenir en compte els requeriments del sistema (en aquest cas, les necessitats tècniques de control i de visualització del robot), però les necessitats dels usuaris també s'han d'incloure en aquest procés. En aquest capítol hem presentat un esquema per dissenyar interfícies tenint en compte aquestes dues variables. Es tracta d'un procés que s'efectua en dues etapes: en la primera es fa el disseny funcional de la interfície i en la segona es busca l'optimització de la interfície d'acord amb l'audiència o el públic destinatari.

Si analitzem les interfícies estudiades en el capítol 2, podrem veure que moltes són interfícies funcionals, ja que compleixen de ple les funcions de control i visualització. Però els usuaris nous troben que necessiten més temps d'aprenentatge i que la utilització de la interfície no està exempta d'errors. L'optimització de la interfície cerca que la utilització i el temps d'aprenentatge siguin més fàcils, i també augmentar la satisfacció dels usuaris. Així, per optimitzar una interfície cal analitzar un ampli grup d'elements conjuntament amb els usuaris. Aquesta anàlisi no està necessàriament limitada a les preguntes que presentem aquí.

4.12.1.- Disseny Funcional

Les necessitats tècniques defineixen la funcionalitat de la interfície i, per tant, s'han d'incloure en l'estudi del sistema, juntament amb la definició dels comandaments necessaris perquè puguin operar i per a la seva funcionalitat (vegeu la figura 4.31).

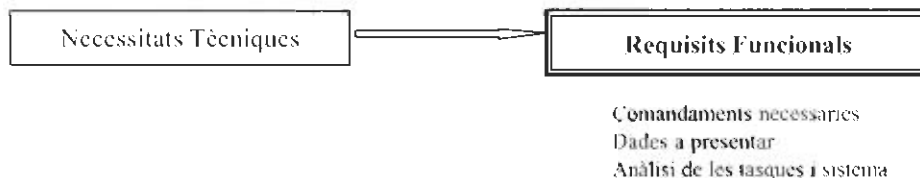


Fig. 4.31.- Definició de la funcionalitat de la interfície

La metodologia a seguir per desenvolupar un disseny funcional (vegeu la figura 4.32) passa per estudiar el sistema i determinar-ne les funcionalitats. Això permet fer una llista de tots els requeriments disponibles de visualització i de control. Després d'analitzar la tasca a realitzar, es poden triar les eines necessàries i dissenyar una interfície funcional (però no òptima des del punt de vista dels usuaris).

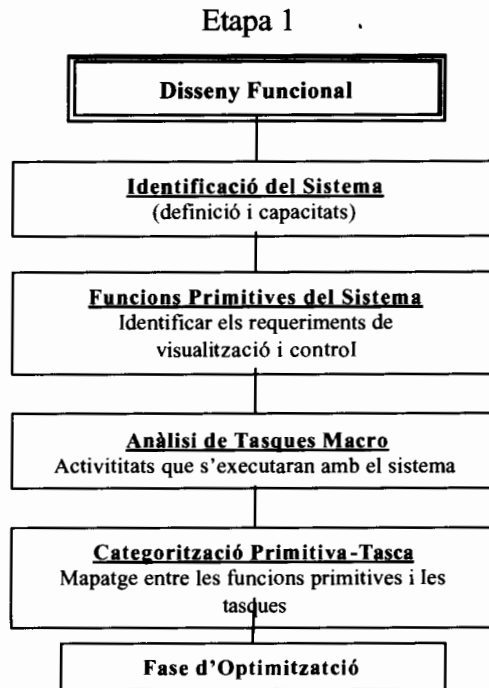


Fig. 4.32.- Metodologia de disseny funcional

La Fig. 4.32 mostra les diferents etapes que s'haurien d'executar per dissenyar una interfície funcional, entre les quals podem trobar:

- a) **Identificació del sistema.** El dissenyador ha de saber amb quina mena de sistema està treballant. Es poden dissenyar interfícies per a cotxes o interfícies per a sistemes telefònics, o bé interfícies per a bases de dades. D'altra banda, no és el mateix un braç robòtic que un robot mòbil o un robot submarí. També l'entorn del robot influeix en la concepció del disseny: cal saber si el robot treballarà des de l'espai o si estarà muntat en una plataforma mòbil. La capacitat del sistema també pot ser diferent: un braç robòtic industrial per a càrregues de diverses tones no tindrà els mateixos requeriments que un braç robòtic per a aplicacions de nanorobòtica o cirurgia.
- b) **Funcions primitives del sistema.** Cal tenir en compte cada una de les possibles funcions disponibles en el sistema a fi de determinar-ne totes les funcionalitats. Per exemple, cal fer una llista de totes les operacions possibles del robot, com ara: funcions per al desplaçament, capacitat i requeriments tècnics de cada un dels motors, requeriments de calibratge de tots els instruments instal·lats en el robot, necessitats operatives del sistema per dur a terme les tasques simples, funcions per configurar la comunicació de dades entre el robot i l'ordinador de control, funcions per configurar la interfície, etc.
- c) **Anàlisi de tasques macro.** Cal dimensionar el sistema d'acord amb les tasques o funcions que volem desenvolupar amb el robot. Per exemple, el robot té limitacions físiques que no li permeten anar més enllà de dos-cents metres de profunditat; també té un parell de braços que li permeten fer tasques de recollida de material i, a més, hi ha sensors en el robot que prendran nota d'una sèrie de dades que podrien ser d'interès per a l'usuari.
- d) **Categorització primitiva-tasca.** Cada tasca tindrà uns requeriments i uns objectius; per exemple, el robot podria utilitzar-se per a tasques de reconeixement del fons marí i per a tasques d'inspecció; en aquest cas es requereix que la interfície doni informació relativa al lloc on el robot treballa i és molt important que l'usuari pugui visualitzar aquestes

dades més fàcilment. Llavors, aquesta tasca presenta un conjunt de funcions que són obligatòries, altres que són opcionals i altres que no afecten la realització de la tasca. Aquesta prioritització de les tasques permetrà definir les eines que s'han de presentar a la interfície. Per altra banda, no totes les eines s'han de posar a la primera interfície, sinó que moltes funcions poden estar amagades a altres pantalles o finestres: les eines de control, per exemple, poden estar situades al teclat.

- e) **Fase d'optimització.** Aquesta és la següent fase de disseny. Moltes de les interfícies definides en el capítol 2 possiblement no van passar per aquesta etapa, però cal involucrar els usuaris en totes les feines de disseny, i també en la determinació de la distribució de les dades i de les formes de presentació. Dissenyar una interfície òptima requereix temps, i aquesta és una etapa del projecte que, partint de la dificultat que suposa i sobre la base dels baixos pressupostos amb què es treballa, és molt fàcil retallar. Així, no és estrany que molts projectes d'interfícies mai no incloguin aquesta etapa.

4.12.2.- Disseny Òptim

El disseny òptim inclou també els usuaris en la definició d'una interfície i requereix la participació activa d'aquests en el disseny i en la definició del rendiment. Les necessitats dels usuaris defineixen l'optimització de la interfície i, en aquest cas, s'ha d'incloure un estudi de la preferència en la distribució de la informació, la representació dels objectes i la configuració de la interfície (vegeu la figura 4.33).

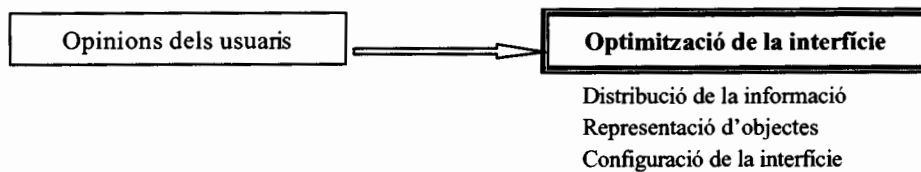


Fig. 4.33.- Definició de l'optimització de la interfície

La metodologia a seguir per desenvolupar un disseny òptim (vegeu la figura 4.31) inclou un estudi dels usuaris (audiència o públic destinatari) que en determini les necessitats (experiència i requeriments), així com la definició de la visualització i el control a la interfície. Després d'una anàlisi de les preferències dels usuaris (visualització, distribució i representació) es pot dissenyar una interfície òptima.

Com es pot veure a la figura 4.34, aquesta etapa òptima es caracteritza per dues coses: la involucració dels usuaris i el procés iteratiu de disseny. Intentar que els usuaris participin en el desenvolupament de la interfície suposa molta més feina, ja que s'han de dissenyar diverses alternatives i determinar el grau de satisfacció. El nombre adequat d'usuaris en aquesta etapa de disseny òptim de la interfície podria ser entre cinc i deu: si la interfície és molt específica i està adreçada a un grup d'usuaris molt particular, llavors el nombre podria ser petit. Per exemple, si la interfície és per aplicar al camp de la cirurgia facial i està adreçada només a doctors de medicina, aleshores només cal consultar un nombre mínim de doctors (uns cinc). Si la interfície està pensada per a diverses aplicacions i està adreçada a un ampli grup d'usuaris, llavors cal entrevistar un nombre d'usuaris més gran per definir aquesta etapa òptima de la interfície (deu o més).

En aquest projecte es van dissenyar dotze alternatives diferents per a cada una de les etapes de disseny, però a més a més van deixar als usuaris la possibilitat de manifestar les seves pròpies idees i recomanacions. Per altra banda, és gairebé impossible fer una avaluació de tots els punts del sistema; així doncs, el dissenyador haurà de basar-se en les regles de disseny i en la teoria d'interfícies per acabar de definir la seva interfície.

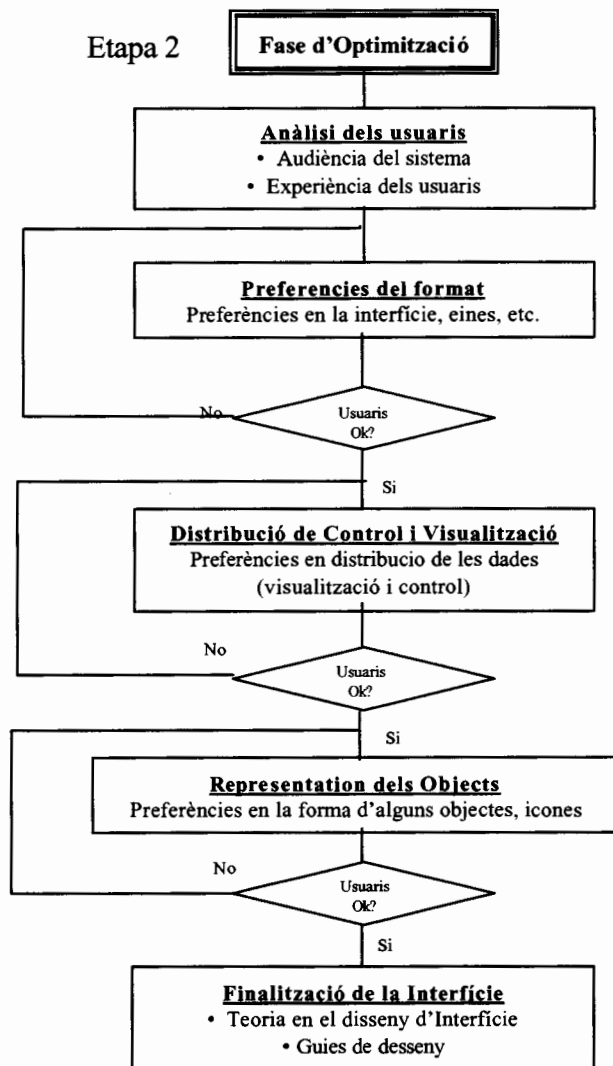


Fig. 4.34.- Metodologia de disseny òptim

Entre les etapes a seguir per elaborar un disseny òptim, hi ha les següents:

- a) **Anàlisi dels usuaris.** El públic destinatari del sistema o l'audiència del sistema té uns requeriments particulars a la interfície del sistema i, a més, té una experiència i uns coneixements específics que s'han de tenir en compte a l'hora de fer el disseny. No és el mateix dissenyar la interfície per als professionals del camp de la robòtica (que alguns podrien no tenir coneixements sobre navegació marina) que per als professionals d'oceanografia (que podrien no tenir coneixements sobre robots). D'altra banda, els usuaris que no tinguin cap mena de coneixements sobre ordinadors tindran moltes més dificultats a l'hora de treballar amb un sistema d'aquesta natura i, per tant, els caldrà un suport més gran.
- b) **Preferències en el format.** El dissenyador sovint té l'opció de triar les eines de disseny, com ara els entorns de programació. Aquests entorns poden conferir característiques especials a la interfície. Per exemple, es podria estar treballant amb una interfície basada en finestres gràfiques planes i posar totes les dades en forma de gràfics X-Y bidimensionals que varien amb el temps, mentre que altres dades es podrien presentar de forma numèrica i amb text (vegeu la figura 4.35). Segons quina sigui l'audiència,

aquest format de presentació podria ser funcional i adequat (no necessàriament el més òptim) per realitzar algunes tasques. Els usuaris han de participar en el processos de decisió del format amb què es presentaran les dades; així ajudaran a definir quina és la millor forma de presentació inicial de les dades del sistema.

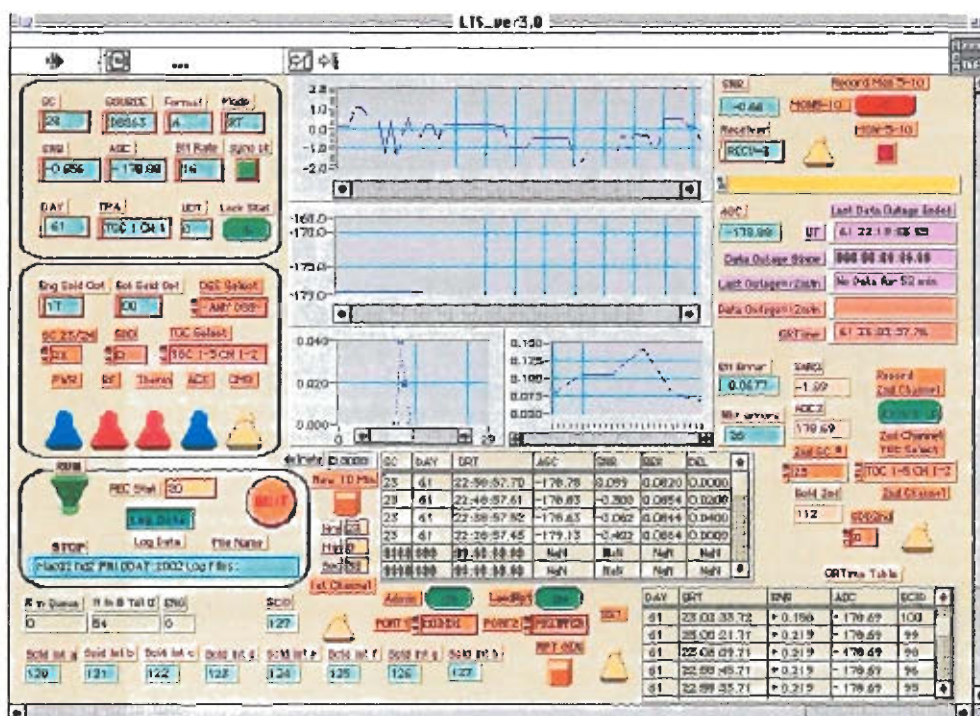


Fig. 4.35.- Interfície de control del Pioneer 10. Imatge presa de http://spaceprojects.arc.nasa.gov/Space_Projects/pioneer/PNStat.html

- c) **Distribució de control i visualització.** La distribució de les dades i de les eines de control a la pantalla és un altre aspecte que cal que els usuaris ajudin a determinar. No és gens fàcil decidir si les dades han de col·locar-se a un costat o a l'altre; per això, les preferències dels usuaris són determinants. L'etapa d de l'apartat de disseny funcional (categorització primitiva-tasca) ens va donar una matriu dels elements de visualització i de control que s'han de posar a la interfície. Aquesta matriu la utilitzarem aquí per determinar quina és la millor manera d'organitzar aquests elements.
 - d) **Representació dels objectes.** Alguns objectes requereixen una forma especial de presentació per informar els usuaris sobre el seu estat o la seva condició. A la figura 20 d'aquest capítol intentarem determinar quina és la millor manera de representar la localització de l'objecte espacial i la seva projecció en la superfície i en el fons. Així, els elements que poden provocar dubtes en la forma d'operació seran definits per l'usuari.
 - e) **Finalització de la interfície.** Amb totes aquestes dades finalment es pot acabar de dissenyar la interfície. Cal tenir en compte les teories de disseny d'interfícies, explicades al començament d'aquest capítol, i les regles i guies de disseny. Les etapes anteriors han determinat la distribució i la forma de la interfície. En aquesta darrera etapa només ens queda definir els colors i el disseny final dels objectes.
4. Cal tenir en compte que una bona part dels suggeriments dels usuaris estan molt relacionats amb el grup i amb les seves experiències anteriors. Així, podria ser que aquestes respostes no fossin prou vàlides per a un altre grup. Per tant, s'hauria de considerar la possibilitat de dissenyar dues o més interfícies d'acord amb les possibilitats dels dissenyadors i després analitzar quina de les interfícies és més satisfactòria per a la majoria d'usuaris. Malgrat que aquests procediments acabessin donant una interfície funcional i òptima, aquest disseny s'hauria de tornar a avaluar amb un grup d'usuaris amb tasques relacionades per mesurar l'efectivitat de la interfície. Aquesta avaluació i els seus paràmetres es consideraran en el capítol 5.

4.12.3.- Teleoperació en Entorns Cooperatius

En aquesta etapa també s'han de definir les eines de comunicació per a entorns cooperatius. Un entorn cooperatiu consisteix en l'operació de múltiples robots per diferents grups d'investigadors situats a diferents llocs. Per exemple, un grup podria ser a Girona, un altre grup podria treballar al port de Barcelona i, finalment, un tercer grup podria fer la tasca de supervisió de tot l'equip de treball a través de la xarxa des de l'edifici U del Departament ESAII, al centre de Barcelona (vegeu la figura 4.36).

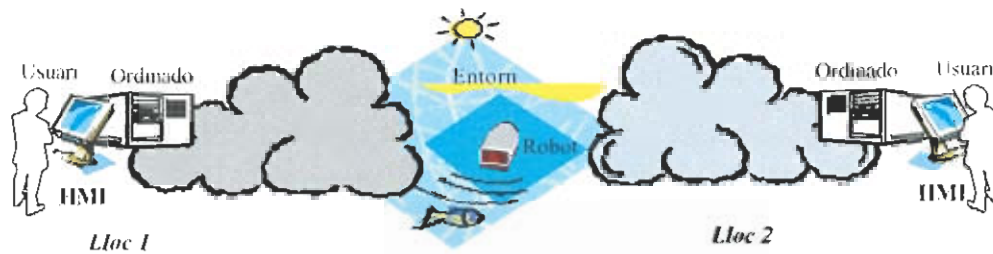


Fig. 4.36.- Entorns cooperatius de teleoperació