



GRAU EN ÒPTICA Y OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

**FACTORS QUE INFLUEIXEN EN LA VISUALITZACIÓ 3D
EN UNA SALA DE PROJECCIÓ: ELS OBSERVADORS**

Laura Maymó Català

Director/a

Miquel Ralló Capdevila
Núria Lupón Bas

29 de gener del 2014



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

El Sr. Miquel Ralló Capdevila i la Sra. Núria Lupón Bas com a tutor/a del treball

CERTIFIQUEN

Que la Sra. Laura Maymó Català ha realitzat sota la seva supervisió el treball Factors que influeixen en la visualització 3D en una sala de projecció: els observadors que es recull en aquesta memòria per optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a què consti, signo/em aquest certificat.

Sr. Miquel Ralló Capdevila
Director del treball

Sra. Núria Lupón Bas
Directora del treball

Terrassa, 29 de Gener de 2014



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

Factors que influeixen en la visualització 3D en una sala de projecció: Els observadors

RESUM

La visió estereoscòpica és una de les característiques essencials del sistema visual; necessària principalment per calcular i estimar les distàncies de l'entorn.

L'estudi intenta analitzar la influència dels factors més rellevants involucrats en la visió de pel·lícules 3D. Els factors han estat classificats segons fan referència a: l'estímul projectat, la posició de visualització i les característiques visuals de l'observador.

Per la realització de l'estudi, s'han utilitzat estímuls anàglifs amb disparitats binoculars horitzontals compreses entre 12 i 3900"arc presentats a una mostra de 16 observadors, als quals s'ha fet un examen optomètric força exhaustiu. S'ha utilitzat el nombre d'encerts com indicador de la capacitat dels observadors de visualització 3D simulada.

S'ha analitzat el nombre total d'encerts per cadascun dels observadors i el nombre d'encerts segons estímuls de percepció paral·lela o creuada, aquests resultats mostren que pel test utilitzat és més fàcil diferenciar les percepcions paral·leles. També s'ha analitzat la relació entre el nombre d'encerts i cada una de les variables optomètriques i no s'ha trobat cap tendència general. Finalment s'han determinat les zones de confort dels observadors segons diferents criteris per veure si els estímuls utilitzats hi eren o no inclosos, on es veu que en 6 dels observadors l'estímul es troba fora d'aquesta zona.

Admetent la representativitat de la mostra, el test utilitzat en aquest treball seria visualitzat confortablement per la majoria de la població amb la AV = 1 (corregida) i AVE inferior a 120"arc.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

Factors que influeixen en la visualització 3D en una sala de projecció: Els observadors

RESUMEN

La visió estereoscòpica es una de las característiques essencials del sistema visual; necessaria principalment per calcular i estimar les distàncies del entorn.

El estudi intenta analitzar la influència de los factors més rellevants involucrats en la visió de pel·lícules 3D. Los factors han sido clasificados según hacen referencia a: el estímulo proyectado, la posición de visualización y las características visuales del observador.

Para la realización del estudio, se han utilizado estímulos anaglíficos con disparidades binoculares horizontales comprendidas entre 12 y 3900"arco presentadas a una muestra de 16 observadores, a los que se ha hecho un examen optométrico bastante exhaustivo. Se ha utilizado el número de aciertos como indicador de la capacidad de los observadores de visualización 3D simulada.

Se ha analizado el número total de aciertos para cada uno de los observadores y el número de aciertos según estímulos de percepción paralela o cruzada, estos resultados muestran que el test utilizado es más fácil diferenciar las percepciones paralelas. También se ha analizado la relación entre el número de aciertos y cada una de las variables optométricas y no se ha encontrado ninguna tendencia general. Finalmente se han determinado las zonas de confort de los observadores según diferentes criterios para ver si los estímulos utilizados estaban o no incluidos, donde se ve que en 6 de los observadores el estímulo se encuentra fuera de esta zona.

Admitiendo la representatividad de la muestra, el test utilizado en este trabajo sería visualizado confortablemente por la mayoría de la población con la AV = 1 (corregida) y AVE inferior a 120"arco.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

Factors que influeixen en la visualització 3D en una sala de projecció: Els observadors

SUMMARY

Stereoscopic vision is one of the essential characteristics of the visual system, mostly required to calculate and estimate the distances from the environment.

The study attempts to analyze the influence of the most important factors involved when watching 3D movies. The factors were ranked by reference: projected stimulus, display position and visual characteristics (features) of the observer.

For the study, were used anaglyphic stimuli with horizontal binocular disparities between 12 and 3900 "arc presented to a sample of 16 observers, who has done a pretty comprehensive optometric examination. Was used the number of correct answers as indicator of the ability of observers viewing 3D-simulated stimuli.

We analyzed the sum of correct answers for each of the observers and the number of correct answers for cross and uncross stimuli. The results show that for this specific test is easier to distinguish the uncross perceptions. We also analyzed the relationship between the number of correct answer and each of the optometric variables and weren't able to find any general patron. Finally, we have determined the observers's comfort zones with different criteria to see if the stimuli used were included finding that for 6 of the observers weren't.

Admitting the representativeness of the sample, the test used in this study would be comfortably viewed by most of the population with AV = 1 (corrected) and lower ST 120 "arc.



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

Factors que influeixen en la visualització 3D en una sala de projecció: Els observadors

SUMMARY

INTRODUCTION

Biologically, we have a stereo visual system; which makes us able to see, through binocular vision, different distances and volumes of the environment around us. Our eyes, due to the separation between them (5 to 7 cm), perceive the same part of the environment, but each receives a slightly different representation. This difference between the two images that reach the retina is called binocular disparity and gives us information about the relative depth of the objects that give rise to stereopsis.

OBJECTIVES

The main objective of this study is being able to see a 3D film for all positions in the screening room (2.3 classroom of "Facultat d'Òptica i optometria de Terrassa"). The effects of the of the stimuli characteristics, the visual capabilities of the observers and the different positions of the classroom from which the presentations are displayed have been assessed.

This report shows the part that refers to observers. We mainly analyzed the ability of observers to see in 3D using anaglyph stimuli, the possible relationship between the number of correct answers and the results of the various optometric test, and finally, the comfort zones defined by Percival and Sheard for each observer.

The specific objectives of this study are:

- To analyze the visual performance of observers to perceive 3D through anaglyphic presentations.
- To assess the possible relationship between the number of correct answers and optometric test results for each observer.
- To analyze whether or not the stimuli used are located in areas of comfort defined by Percival and Sheard for each observer.

METHOD

The screening room used is located in " Facultat d'òptica i optometria de Terrassa (FOOT)", is one of the largest classrooms and one of the few in which the screen is almost centered.

In the screening room we choose 9 positions to view the text (the most extreme and the most centered respect screen). With this we can make idea that what happens in middle positions.

The test used was donated by the research group Vision & Control of Action (VIVA) Department of Basic Psychology, Faculty of Psychology of the University of Barcelona, which has also been used in previous studies.

Is an anaglyph test in which there are three circles, a small, fixed in the center, and two, one blue and one red, forming the peripheral circle, this last two may cause different effects on perception to the observer, depending on the color's position and separation between both circles.

With anaglyphic blue and red glasses the observers perceive the big circle closer or further than the smaller, depending on the position of the colors.

When the big circle (variable position) is perceived closer than the small one (fixed), it is a case of cross perception and when the big circle (variable) is perceived farther than the small one (fixed), is considered a uncross perception.

From the original test 24 of the presentations presented to the observers in random order and different point of view where selected. The test consists of 1 presentation where the big circle was not duplicated and therefore had to be perceived in the same plane that small. The presentations that showed binocular disparities where distributed with the following order: 13

of them cause cross perception (small circle is behind) and 10 parallel perception (small circle is in front).

Each presentation lasted for 7 seconds and between presentations there was an interval of 7 seconds, so the observer was able to point the answer in the questionnaire.

The test was done with very little light, so that observers could see the pages of the questionnaire. Probably if it had been done in total darkness, the combination of colors would have been more appropriate.

Other studies on stereopsis indicate that there are numerous factors that indicate that eyestrain is related to the alteration of some visual functions. It has been considered necessary to perform the following optometric measures:

Preliminary tests	Accommodation test	Proves visió Binocular
<ul style="list-style-type: none"> - Interpupillary Distance (DIP) - Monocular and binocular visual acuity (VA mono and Bino) - stereoscopic visual acuity (ST) 	<ul style="list-style-type: none"> - Amplitude of accommodation (AA) - Flexible accommodation in monocular and binocular distance vision - Delay accommodative 	<ul style="list-style-type: none"> - Heterophoria distant and near vision (VL and VP) - Relationship between convergence - accommodation - convergence (AC / A) - Convergence on negative and positive (CRN and CRP) - Flexibility of convergence - Disparity fixation

RESULTS

This study was conducted with a sample of 16 observers, most are students and teachers of the “Facultat d'òptica i optometria de Tarrassa (FOOT)”. All had equal or higher visual acuity than unity and a minimum stereoscopic visual acuity of 120"arc with TNO. The study consists of two parts: the display and the optometric tests.

From the responses of observers we have made the corresponding accuracy curves. First the interval of disparities from the accuracy curves of each observer where determined. Only 6 out of 16 cases present that AVE TNO measured is within the range of disparities for which accuracy is maximized. We think it may be because the TNO test is performed in near vision and our test was performed in far vision.

Then the number of correct answers for each patient for cross or uncross perception was compared. In order to have accurate results, crossed presentations with disparities between 12"arc and 57"arc and results presentations showing no disparity were discarded. The range of disparities is matched between perceptions and cross-uncross (58 - 3900"arc). In addition it also equals the number of crossed and uncrossed presentations. We finally got 90 cross and 90 uncross perception stimuli.

The *law of good form*, one of the laws that are part of the *Gestalt theory* indicates that the brain tries to organize the elements perceived with the simplest form. That is why, in the test used, the observer fixed the central circle (fixed circle) not the peripheral circle (circle variable) which provides depth perception, since the central circle is the simplest and more stable. We found 8 observers with better uncrossed perception, 6 observers with better crossed perception, and 1 observer that has the same number of correct answer in both types of perception.

These results were analyzed to see if there are significant differences in the proportion of correct answers depending on the type of perception (cross or uncross). We found that in 10 observers there is no significant association between the numbers of correct answers in presentation of cross or uncross perception, but 6 of the observers have a statistically significant association. These results are logical if one takes into account the heterophoria.

Analyzing the visual characteristics of the observers in general, except in heterophoria, not any clear factor between the tests and the number of correct answers of observers was found. You could probably find some factor if you used a longer test and more extreme separations in presentations or test without rest between presentations.

Finally, we have analyzed the comfort zones of each observer according to the method of Sheard and Percival. In the comfort area of Percival, all stimuli for all the observers are graphically within this comfort zone. In the comfort area of Sheard, 3 patients with exophores where found outside the comfort zone in stimulus representation of the 2nd position, especially in patients with higher values of exophores. Also found that 3 of the esophores observers are outside the comfort zone in stimulus representation of the 7th position, especially in patients with higher values of esophores.



CONCLUSIONS

The main conclusions that can be drawn from this study are:

- Except for heterophorias, the results of the optometric tests don't show any optometric relationship with visual performance of the observers.
- In general presentations of uncrossed perception are better visualized than the ones with crossed perception; the geometry of the presentation explains this difference within other studies.
- The condition of heterophoria is found to be more common in population is exophoria
- Most of the used presentations are within the comfort zone of most observers in our study.
- Admitting the representativeness of the sample, the test used in this study would be comfortably viewed by most of the population with AV = 1 (corrected) and lower ST 120 "arc.

AGRAÏMENTS

Després de tot el temps que he dedicat a aquest treball, he de donar les gràcies a moltes persones que han estat al meu costat, tant per la seva ajuda, col·laboració, suport i ànims que m'han donat durant tots aquests mesos.

En primer lloc als meus tutors, Núria Lupón, Miquel Ralló i José Luis Álvarez, per tot el suport i l'ajuda que ens han donat i, per guiar-nos en la realització d'aquest treball.

A l'Aurora Torrents, per començar aquest projecte amb nosaltres i finalment formar part dels pacients estudiats.

A totes les persones que ens han fet de pacients, sense ells aquest treball no s'hauria pogut realitzar.

Als companys de classe, en especial a la Urgell perquè juntes hem aconseguit tirar endavant aquest treball conjunt. A la Marta, per formar part de la mostra analitzada al treball i a la Georgina pel seu suport.

Als meus amics, en especial a l'Andrea per l'amistat i per entendre la meva absència durant aquest temps. A l'Alba per formar part dels pacients estudiats. I a la Júlia per la seva ajuda.

A l'Aitor, per creure en mi, pel seu afecte, recolzament, i per les seves aportacions al treball.

Per últim, de manera molt especial, a tota la meva família pel seu suport durant aquests quatre anys d'estudis i en especial aquests últims mesos. Sense ells tot això no hauria estat possible.

Índex

1. FONAMENTS DE LA VISIÓ I L'ESTEREÒPSIA	1
1.1 VISIÓ 3D REAL.....	1
1.1.1 Disparitat binocular horitzontal real	1
1.1.2 Estereòpsia real.....	1
1.1.3 Estereoagudesa.....	2
1.2 VISIÓ 3D SIMULADA	2
1.3 HETEROFÒRIES	3
1.3.1 Concepte Ortofòria i Heterofòria.....	3
1.3.2 Classificació Heterofòries.....	4
1.4 CONVERGÈNCIA I ACOMODACIÓ BINOCULAR	4
1.4.1 Línea de demanda.....	4
1.4.2 Relació AC/A.....	5
1.4.3 Zona de visió binocular simple i nítida.....	7
1.4.4 Reserves fusional.....	9
1.4.5 Reserves d'acomodació	10
2. OBJECTIUS DEL TREBALL	11
2.1. OBJECTIU GENERAL	11
2.2. OBJECTIUS ESPECÍFICS.....	11
3. MÈTODE EXPERIMENTAL	12
3.1 CARACTERITZACIÓ DE LA SALA DE PROJECCIÓ	12
3.2 TEST I CONDICIONS AMBIENTALS DE L'AULA.....	13
3.3 ELECCIÓ DE LES PROVES OPTOMÈTRIQUES	15
3.4 MÈTODE DE MESURA DE LES PROVES REALITZADES	16
3.4.1 Distància interpupilar.....	16
3.4.2 Agudesa Visual	17
3.4.3 Agudesa visual estereoscòpica	17
3.4.4 Amplitud d'acomodació	18
3.4.5 Flexibilitat d'acomodació monocular i binocular en visió llunyana	19
3.4.6 Retard acomodatiu	20
3.4.7 Heterofòria horitzontal en visió llunyana i visió propera.....	20
3.4.8 Relació Acomodació – Convergència – Acomodació (AC/A).....	21
3.4.9 Convergència relativa positiva i negativa	22
3.4.10 Flexibilitat de vergències.....	23
3.4.11 Disparitat de fixació	24
4. RESULTATS	25
4.1. NOMBRE D'ENCERTS	25
4.1.1. Nombre global d'encerts.....	25
4.1.2. Nombre global d'encerts segons percepció	27
4.2. PROVES OPTOMÈTRIQUES	31
4.3. ZONES DE CONFORT DE CADA OBSERVADOR	35

5. CONCLUSIONS I PERSPECTIVES FUTURES.....	40
5.1. CONCLUSIONS NOMBRE ENCERTS SEGONS PERCEPCIÓ	40
5.2. CONCLUSIONS PROVES OPTOMÈTRIQUES	41
5.3. CONCLUSIONS ZONA DE CONFORT DE CADA OBSERVADOR	41
5.4. CONCLUSIONS GENERALS	42
5.5. PERSPECTIVES FUTURES	43
6. IMPLICACIONS ÈTIQUES, LEGALS I DE PROTECCIÓ DE DADES.....	43
7. BIBLIOGRAFIA.....	44
8. ANNEXOS	47
ANNEX 1: FULL DE RESPOSTES DEL TEST PRESENTAT ALS OBSERVADORS.....	47
ANNEX 2: GRÀFICS NOMBRE TOTAL D'ENCERTS I EXACTITUD PER PACIENT	48
ANNEX 3: GRÀFIQUES PROVES OPTOMÈTRIQUES I NOMBRE D'ENCERTS	56
ANNEX 4: GRÀFICS ZONES DE CONFORT DE SHEARD I PERCIVAL	58

ÍNDEX DE FIGURES, TAULES I GRÀFICS

ÍNDEX DE FIGURES

FIGURA 1 VISIÓ ESTEREOSCÒPICA
FIGURA 2 EXPRESSIÓ MATEMÀTICA QUE DEFINEIX L'ESTEREOAGUDESA
FIGURA 3 EXEMPLE ANÀGLIF LLUNA PLENA
FIGURA 4 CONVERGÈNCIA EN EL PLA DE FIXACIÓ
FIGURA 5 DIFERENTS SITUACIONS EN POSICIÓ DISSOCIADA AL POSAR LA PANTALLA OPACA EN L'ULL DRET. ORTOFÒRIA, ENDOFÒRIA, EXOFÒRIA, HIPERFÒRIA I HIPOFÒRIA RESPECTIVAMENT
FIGURA 6 EIXOS DE COORDENADES DE FICK
FIGURA 7 LÍNIES DE DEMANDA PER A UN PACIENT EMMETROP, MIOP I HIPERMETROP
FIGURA 8 ESQUEMA PEL CÀLCUL DE LA RELACIÓ AC/A PEL MÈTODE APROXIMAT DE LA RECTA DE LES FÒRIES.
FIGURA 9 ZVBSN: ZONA DE VISIÓ BINOCULAR SIMPLE I NÍTIDA
FIGURA 10 LÍMITS ZVBSN : ZONA DE VISIÓ BINOCULAR SIMPLE I NÍTIDA
FIGURA 11 REPRESENTACIÓ GRÀFICA DE LES CONVERGÈNCIES RELATIVES
FIGURA 12 REPRESENTACIÓ GRÀFICA DE LES CONVERGÈNCIES FUSIONALS
FIGURA 13 REPRESENTACIÓ GRÀFICA DE LES ACOMODACIONS RELATIVES
FIGURA 14 CARACTERITZACIÓ DE LA SALA A 1:1000 I REPRESENTACIÓ DE LES NOU POSICIONS DELS OBSERVADORS
FIGURA 15 EXEMPLE D'ESTÍMUL UTILITZAT EN EL NOSTRE TEST
FIGURA 16 EXEMPLE MESURA DISTÀNCIA INTERPUPIL·LAR
FIGURA 17 TIPOGRAFIA DE SLOAN PEL DISSENY D'OPTOTIPS
FIGURA 18 TNO I ULLERES ANAGLÍFIQUES
FIGURA 19 LÀMINES TEST TNO
FIGURA 20 ENDODISPARITAT (A) I EXODISPARITAT (B)
FIGURA 21 EXEMPLE ORTODISPARITAT DE FIXACIÓ (A), ENDODISPARITAT DE FIXACIÓ (B) I EXODISPARITAT DE FIXACIÓ (C)

ÍNDEX TAULES

TAULA 1 CLASSIFICACIÓ D'HETEROFÒRIES

TAULA 2 COORDENADES DE CADASCUNA DE LES NOU POSICIONS

TAULA 3 SEPARACIONS ENTRE EL CERCLE BLAU I VERMELL I POSICIÓ DEL CERCLE PETIT RESPECTE EL GRAN PER A CADASCUNA DE LES 24 PRESENTACIONS QUE ES MOSTREN ALS OBSERVADORS

TAULA 4 PROVES OPTOMÈTRIQUES REALITZADES ALS PACIENTS

TAULA 5 VALORS NORMALS PER L'EDAT DE L'OBSERVADOR SEGONS DONDERS

TAULA 6 MATRIU DE CONTINGÈNCIA

TAULA 7 NOMBRE ENCERTS SEGONS PERCEPCIÓ CREUADA O PARAL·LELA, INTERVALS DE DISPARITAT AMB EL NOSTRE TEST I AVE AMB EL TNO

TAULA 8 RESULTATS P-VALOR AMB LA PROVA EXACTA DE FISHER

TAULA 9 RESULTATS DE LES PROVES OPTOMÈTRIQUES PER CADASCUN DELS OBSERVADORS

TAULA 10 ENCERTS TOTALS I ENCERTS TOTALS SEGONS HETEROFÒRIA

TAULA 11 RESUM DELS GRÀFICS DE ZONA DE CONFORT DE PERCIVAL I SHEARD

ÍNDEX GRÀFICS

GRÀFIC 1 RELACIÓ HETEROFÒRIA I NOMBRE D'ENCERTS DELS PACIENTS

GRÀFIC 2 RELACIÓ HETEROFÒRIA EN PROJECCIONS DE PERCEPCIÓ PARAL·LELA I NOMBRE D'ENCERTS DELS PACIENTS

GRÀFIC 3 RELACIÓ HETEROFÒRIA EN PROJECCIONS DE PERCEPCIÓ CREUADA I NOMBRE D'ENCERTS DELS PACIENTS

GRÀFIC 4 EXEMPLE ZONA DE CONFORT DE SHEARD EN PACIENT EXOFÒRIC

GRÀFIC 5 EXEMPLE ZONA DE CONFORT DE PERCIVAL EN PACIENT EXOFÒRIC

GRÀFIC 6 REPRESENTACIÓ GRÀFICA DE LA PRESENTACIÓ 15 (SEPARACIÓ PARAL·LELA 4,538 MM) DES DE LA POSICIÓ 7 RESPECTE LÍNIA DE DEMANDA

GRÀFIC 7 REPRESENTACIÓ GRÀFICA DE LA PRESENTACIÓ 23 (SEPARACIÓ CREUADA 5,672 MM) DES DE LA POSICIÓ 2 RESPECTE LÍNIA DE DEMANDA

GRÀFIC 8 EXEMPLES ZONES DE CONFORT PERCIVAL I SHEARD PER A OBSERVADOR EXOFÒRIC DE 4 ∇

GRÀFIC 9 EXEMPLES ZONES DE CONFORT PERCIVAL I SHEARD PER A OBSERVADOR ENDOFÒRIC DE 5 ∇

1. FONAMENTS DE LA VISIÓ I L'ESTEREÒPSIA

1.1 VISIÓ 3D REAL

1.1.1 Disparitat binocular horitzontal real

De forma natural, el nostre sistema visual és estèreo, és a dir, som capaços d'apreciar, a través de la visió binocular les diferents distàncies i volums de l'entorn que ens envolta. Els nostres ulls, degut a la separació que presenten entre ells (entre 5 i 7 centímetres), perceben la mateixa part de l'entorn, però cadascun d'ells rep una representació lleugerament diferent. Aquesta diferència entre les dues imatges que arriben a la retina provoca l'estímul de *disparitat binocular*, que és una informació molt rellevant per tal de tenir una correcta percepció de la profunditat relativa a la què es troben els objectes dins el nostre camp visual.

1.1.2 Estereòpsia real

L'*estereòpsia* és el fenomen de la percepció que proporciona la major informació i la més precisa, sobre la distància relativa d'un objecte respecte un altre. En general, utilitzem el terme "percepció de profunditat" com a sinònim d'estereòpsia, però en realitat no es poden considerar sinònims. La prova està en que un pacient amb visió monocular té percepció de profunditat i, per tant, diferencia distàncies relatives dels objectes en l'espai però no presenta estereòpsia.

- *Percepció de profunditat*: percepció de les diferències en la distància entre el pacient i els objectes.
- *Visió estereoscòpica*: habilitat de l'observador per diferenciar la distància relativa dels objectes a l'observador mitjançant la visió binocular.

Per tant, es pot dir que, l'estereòpsia es produeix en el moment en que el nostre cervell processa les diferències entre ambdues imatges retinals i les interpreta de forma que percebem la sensació de profunditat.

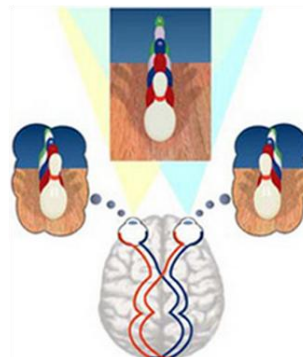


Figura 1 Visió estereoscòpica
Extreta: http://www.victor3d.cat/visio_binocular.html

1.1.3 Estereoagudeses

L'estereoagudeses és una mesura de la sensibilitat de la visió estereoscòpica que es determina a partir del llindar de profunditat, sent aquest, la mínima diferència en profunditat que es pot discriminar entre dos objectes en l'espai. Per tant, l'estereoagudeses és el llindar de discriminació de profunditat expressada angularment. Com més petit sigui aquest llindar, menor serà l'agudeses estereoscòpica, i millor serà la capacitat de visió estereoscòpica, o estereòpsia.

$$AVE = \left| \frac{\text{Dip} \cdot \Delta d_{\min}}{d^2} \right| \cdot \frac{648000}{\pi} = (\text{"arc})$$

Figura 2 Expressió matemàtica que defineix l'estereoagudeses
 AVE= Agudeses visual estereoscòpica expressada en segons d'arc,
 Dip= Distància interpupil·lar, Δd=variació de la distància, d= distància
 al punt de fixació.

1.2 VISIÓ 3D SIMULADA

Actualment hi ha molts mètodes per a simular la visió 3D, com per exemple; estereoscopis, refractius o reflectors, sistemes amb filtres anàglif, sistemes amb filtres polaritzat, etc. Per la seva senzillesa en quant a la generació dels estímuls i en la facilitat de poder fer projeccions en qualsevol tipus de pantalla, en aquest estudi s'ha utilitzat en el mètode anàglif.

La simulació de la visió en 3D mitjançant aquesta tècnica fa servir un mecanisme semblant al de l'ull humà. Es basa en dues imatges superposades que es projecten sobre una pantalla (una és vermella i l'altra blava), mitjançant unes ulleres anaglífiques s'aconsegueix que cadascun dels ulls rebi només una de les imatges i després el cervell de l'observador les fusioni per obtenir una percepció tridimensional. Segons Orellana (2010) "aquesta dissociació d'imatges pot suposar un esforç addicional per al cervell, que dona instruccions a la musculatura ocular perquè l'alineació d'ambdós ulls sigui la correcta per veure'l bé. Però si hi ha un problema latent, com és el cas d'una fòria, és possible que l'espectador manifesti visió doble, marejos i, fins i tot, nàusees o desequilibris si està dret".

Per donar la sensació de que un objecte està més proper o més llunyà respecte a l'observador, es juga amb les disparitats entre les dues imatges; com més disparitat hi ha entre les dues imatges, més a prop o més lluny semblarà que es troba l'objecte.



Figura 3 Exemple anàglif lluna plena
 Extreta:

http://usuarios.arystel.com/luismarques/imagenes/ana_fullmoon.htm

1.3 HETEROFÒRIES

1.3.1 Concepte Ortofòria i Heterofòria

Les heterofòries són desviacions latents dels eixos visuals que només s'aprecien en la posició passiva dels ulls, moment en que la visió es troba dissociada (Chavasse), mitjançant, per exemple cloent l'ull amb una pantalla. L'heterofòria és la condició més habitual, la majoria de població en presenta alguna encara que no provoca simptomatologia en tots els casos.

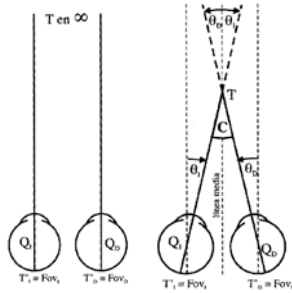


Figura 4 Convergència en el pla de fixació
Extreta: Fundamentos de la visión binocular

Es considera que els eixos visuals són paral·lels entre si, quan un observador mira a un objecte situat a l'infinit (>5m), en aquests casos la convergència serà nul·la, pel contrari, si es fixa un objecte a una distància propera, l'observador estarà convergint per a poder veure l'objecte de forma simple.

Per poder determinar una heterofòria en visió llunyana és necessari trencar la fusió binocular del pacient, per exemple amb una pantalla opaca, així s'indueix la posició passiva dels seus ulls. Per una banda, en alguns casos trobarem que al trencar la fusió del pacient, no es produeix cap variació en la posició dels seus eixos visuals, i per tant, segueixen sent paral·lels entre si, de manera que els eixos visuals en posició passiva i en posició activa coincideixen, en aquest cas estarem parlant d'una *ortofòria*.

Per altra banda, el més freqüent, és trobar que els eixos perden el paral·lisme, i per tant, la posició activa i passiva no coincideixen, així doncs, si cloem un ull quan demanem que un pacient mantingui la fixació en un objecte situat a l'infinit, veiem que l'ull del pacient produeix un moviment per a recuperar la posició d'equilibri, que fins ara ha estat compensada per la convergència fusional, en aquest cas, estarem parlant d'*heterofòria*.

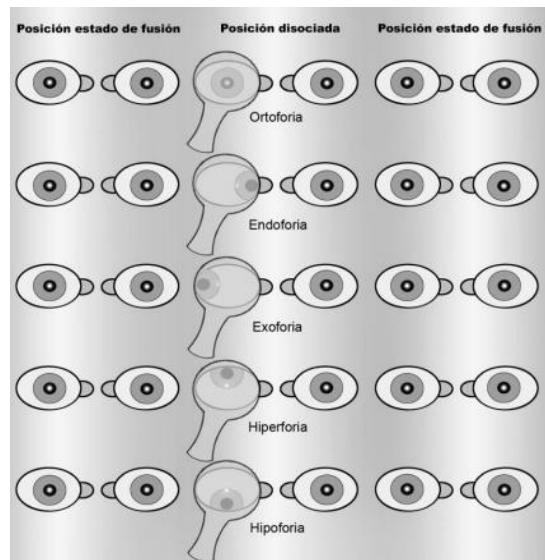


Figura 5 Diferents situacions en posició dissociada al posar la pantalla opaca en l'ull dret. Ortofòria, endofòria, exofòria, hiperfòria i hipofòria respectivament
Extreta: <http://www.videoculografo.com/pdfs/capitulo7.pdf>

1.3.2 Classificació Heterofòries

Les heterofòries es poden classificar per la direcció de la desviació dels eixos visuals. Aquesta desviació que apareix en la posició lliure de fusió (visió dissociada), és conseqüència d'un gir de l'ull al voltant de qualsevol dels eixos de coordenades de Fick (1854):

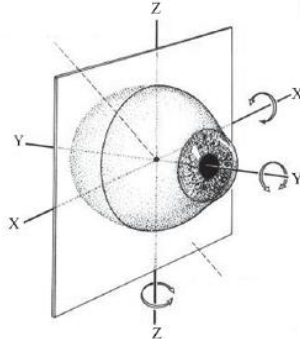


Figura 6 Eixos de coordenades de Fick

Extreta: <http://gsdl.bvs.sld.cu/greenstone/collect/oftalmol/index/assoc/HASH011e.dir/fig09a04.png>

Heterofòries horitzontals		Heterofòries verticals
Endofòries	Exofòries	Hiperfòria UD o UE
En l'estat de dissociació, havent girat l'eix en torn al eix Z (vertical), es troba desviat cap al costat nasal	En l'estat de dissociació, havent girat l'eix visual en torn l'eix Z (vertical), es troba desviat cap al costat temporal	El gir s'ha realitzat en torn a l'eix X (horitzontal) i l'estat de l'ull serà desviat verticalment cap a dalt. Parlar d'hiperfòria de ull dret és equivalent a parlar d'hipofòria de l'ull esquerra

Taula 1 Classificació d'heterofòries

1.4 CONVERGÈNCIA I ACOMODACIÓ BINOCULAR

1.4.1 Línea de demanda

Els mecanismes de convergència i acomodació estan estretament lligats des de la seva base fisiològica. La convergència és l'angle que formen entre sí els dos eixos de fixació, que en el context d'aquest treball considerem coincidents amb els eixos visuals, i que en condicions de visió fusionada intersequen sobre el punt de fixació binocular. L'acomodació provoca un augment de la potència del cristal·lí per tal de permetre una visió nítida en visió propera.

La línea de demanda correspon a la línea que mostra la relació entre la convergència i l'acomodació al col·locar un objecte de fixació binocular a diferents distàncies del pla mig del cap.

$$A(D) = R - \frac{1}{d(m)} \qquad C(am) = - \frac{1}{d(m)} \qquad C(\nabla) = \frac{Dip(cm)}{-d(m)}$$

Com es pot veure en les anteriors equacions, l'acomodació (A) depèn de la refracció del pacient (R) ja que la seva acció està relacionada amb la borrositat de la imatge de l'objecte de fixació; alhora també depèn de la distància a la qual el pacient té l'estímul (d). En canvi, la convergència (C) està relacionada només amb la distància a la qual es troba el punt de fixació (d), si l'expressem en angles mètrics (am); o també amb la distància interpupil·lar del pacient (Dip) si l'expressem en diòptries prismàtiques (∇).

En el cas dels emmetrops, al fixar un objecte es realitza el mateix valor de convergència (expressada en angles mètrics) que d'acomodació (relació C/A aproximadament 1). Al representar gràficament aquesta relació, correspon a la bisectriu del quadrant del gràfic.

En el cas d'ametrops el valor de l'acomodació serà diferent per a un miop que per a un hipermetrop tenint en compte també la quantitat de diòptries. Així doncs, si el pacient és miop, l'acomodació serà menor a la d'un emmetrop i per tant la relació $C/A > 1$, com es pot veure en el gràfic en la línia discontinua. Pel que fa als hipermetrops, l'acomodació serà major i per tant la relació $C/A < 1$, com es pot veure en la línia discontinua i puntejada.

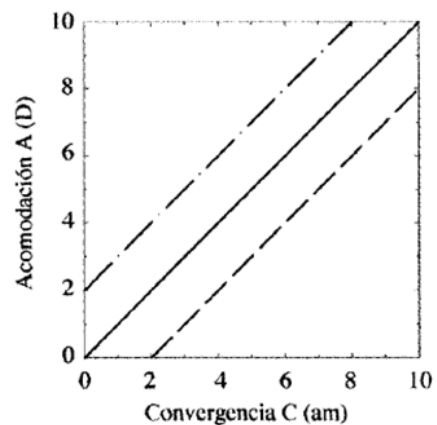


Figura 7 Línies de demanda per a un pacient emmetrop, miop i hipermetrop

Emmetrop (línia contínua)

Miop de $R_x = -2D$ (línia discontinua)

Hipermetrop de $R_x = +2D$ (línia discontinua i puntejada)

Extreta: <http://ocw.upc.edu/curs/20281/Apunts>

1.4.2 Relació AC/A

La relació AC/A fa referència a que els canvis d'acomodació indueixen canvis de la convergència. Alhora, segons la llei de Hering la resposta pupil·lar i la resposta acomodativa dels dos ulls són pràcticament iguals. De manera que, la interrelació que existeix entre la convergència, acomodació i miosi s'anomena *triada proximal*.

Aquesta relació es pot estudiar des del mètode de la recta de les fòries o pel mètode del gradient.

- El mètode de la recta de les fòries aproximat consisteix en calcular el pendent de la recta a partir de l'acomodació i la convergència d'un pacient en dos punts (visió llunyana i en visió propera).

Per a visió llunyana tant l'acomodació requerida (AR) com la convergència requerida (CR) són zero, per tant només les hem de mesurar en visió propera. També hem de tenir en compte que les exofòries (mesurades amb prismes de base nasal) tenen signe negatiu, i les endofòries (mesurades amb prismes de base temporal) tenen signe positiu.

Fem referència a fòria en visió llunyana com a FL i fòria visió propera FP.

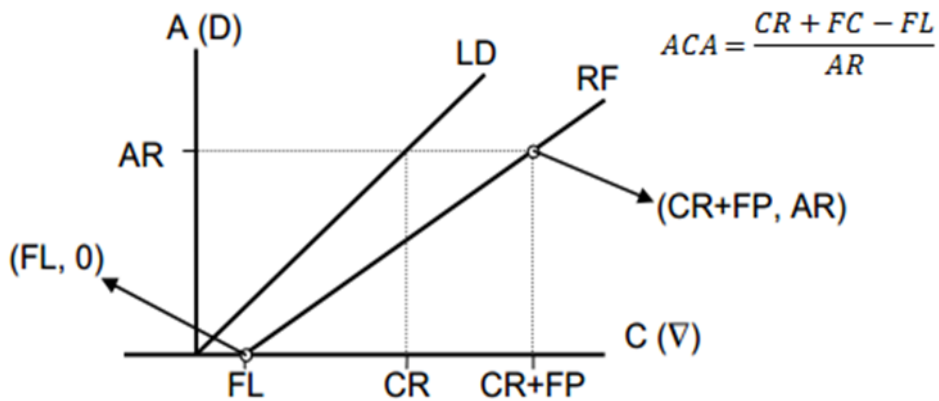


Figura 8 Esquema pel càlcul de la relació AC/A pel mètode aproximat de la recta de les fòries.
Extreta: <http://ocw.upc.edu/curs/20281/Apunts>

El resultat de l'AC/A obtinguda pel mètode de la recta de les fòries ens dona referència de l'equilibri dinàmic de les vergències a diferents distàncies i de la capacitat del pacient de passar fàcilment d'una distància a una altra.

- El mètode del gradient fa referència a la variació de la fòria a l'afegir $\pm 1D$ a la neutralització habitual per a una distància determinada.

Fem referència a la fòria amb la lent de $+1D$ o $-1D$ com a F_{al} i a la fòria sense lent com a F_{sl} i igual per a l'acomodació:

$$\text{Grad } AC/A = \frac{\Delta F}{\Delta A} = \frac{F_{al} - F_{sl}}{A_{al} - A_{sl}}$$

El valor de la relació AC/A obtingut amb el mètode del gradient generalment és inferior al que s'obté amb la recta de les fòries, ja que en el mètode del gradient només es considera una única distància, i no varia, per exemple, la convergència proximal.

El resultat obtingut de l'AC/A pel mètode del gradient ens indica la influència de l'acomodació sobre la binocularitat, i ens dona informació sobre la capacitat de la persona per acceptar una nova prescripció diferent a l'anterior en una quantitat positiva o negativa d'esfera.

Es consideren relacions AC/A baixes quan són inferiors a 4D i relacions AC/A altes quan són superiors a 6D.

1.4.3 Zona de visió binocular simple i nítida

La zona de visió binocular simple i nítida és la regió de l'espai Convergència – Acomodació en que es mantenen simultàniament les condicions de nitidesa i visió simple. Dóna informació del grau de flexibilitat del sistema binocular en la relació Convergència – Acomodació.

Com qualsevol gràfic, la zona de visió binocular simple i nítida està construïda sobre un sistema de coordenades, en aquest cas el component vertical és l'acomodació en diòptries (D) que corresponen als diferents estímuls acomodatius. El component horitzontal, està format per la convergència en diòptries prismàtiques (∇) corresponent a diferents estímuls. Conté dues rectes principals:

- *Línia de demanda*: Determinada pels estímuls d'acomodació i els corresponents estímuls de convergència d'un objecte de fixació binocular situat a diferents distàncies dels ulls, sobre el pla mig del cap.
- *Recta de les fòries*: És la resultant de la unió dels punts corresponents als valors d'acomodació i convergència del sistema visual binocular en condicions de visió dissociada. Mostra la quantitat de desviació de la convergència respecte la línia de demanda i hauria de ser raonablement paral·lela a aquesta la línia de demanda.

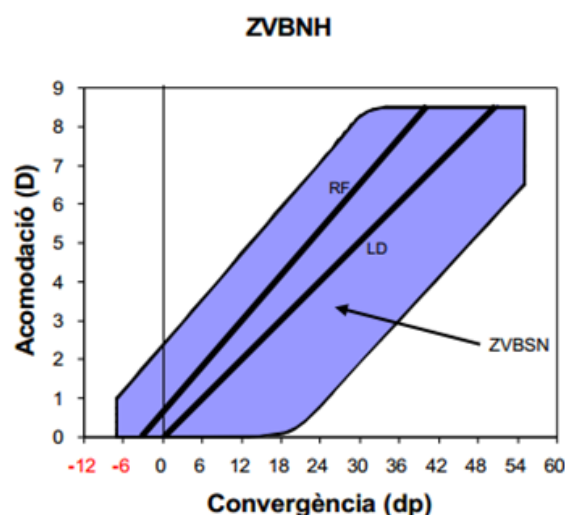


Figura 9 ZVBSN: Zona de Visió Binocular Simple i Nítida
Extreta: <http://ocw.upc.edu/curs/20281/Apunts>

La zona de visió binocular simple i nítida (ZVBSN) està delimitada per sis rectes:

- *Recta limitant superior* → Correspon al valor de l'acomodació igual a l'amplitud de l'acomodació del pacient. (AM)
- *Recta limitant inferior* → Correspon al valor d'acomodació igual a zero. (A=0)
- *Recta limitant dreta* → S'obté determinant la quantitat de prisma de base temporal (∇BT) amb el que el pacient és capaç de veure una sola imatge nítida i la quantitat de potència (+) amb la que el pacient pot veure l'objecte de fixació nítid i de forma simple a diferents distàncies. D'aquesta manera es troba la convergència màxima en cada una de les distàncies.
- *Recta limitant esquerra* → S'obté determinant la quantitat de prisma de base nasal (∇BN) amb el que el pacient és capaç de veure una sola imatge nítida i la quantitat de potència negativa (-) amb la que el pacient pot veure l'objecte de fixació nítid i de forma simple a diferents distàncies. D'aquesta manera es troba la convergència mínima o divergència màxima en cada una d'aquestes distàncies.
- *Punt proper de convergència* → Punt més proper sobre el pla mig al qual els ulls poden convergir sense que hi hagi diplopia. Delimita la part superior dreta de la ZVBSN.
- *Punt remot de convergència* → Punt més llunyà sobre el pla mig al qual els ulls poden convergir sense que hi hagi diplopia. Generalment és un punt de lleugera divergència. Delimita la part inferior esquerra de la ZVBSN.

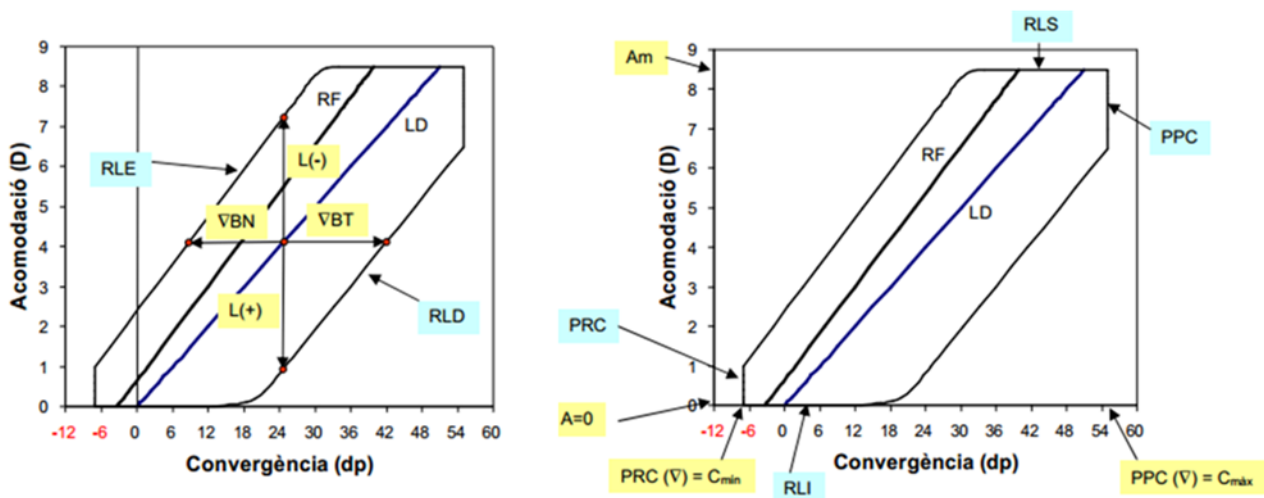


Figura 10 Límits ZVBSN : zona de visió binocular simple i nítida
 Extreta: <http://ocw.upc.edu/curs/20281/Apunts>

1.4.4 Reserves fusionals

Les reserves fusionals s'encarreguen de mantenir compensada una determinada fòria, per això és interessant saber quina part de l'amplitud relativa de convergència és necessària per a compensar aquesta fòria. En general, el sistema visual és capaç de mantenir un bon rendiment mentre no s'utilitzi més de 2/3 de l'amplitud total.

L'amplitud relativa de convergència està composta per:

- Convergència relativa positiva (CRP): Correspon a la màxima convergència que es pot estimular mentre es manté constant l'acomodació. Per a la seva obtenció, s'ha d'augmentar progressivament la potència de ∇BT en un dels ulls del pacient, fins que es produeix visió borrosa o visió doble de l'optotip.
- Convergència relativa negativa (CRN): Correspon a la màxima convergència que podem relaxar mantenint constant l'acomodació. Per a la seva obtenció, s'ha d'augmentar progressivament la potència de ∇BN en un dels ulls del pacient, fins que es produeix visió borrosa o visió doble de l'optotip.

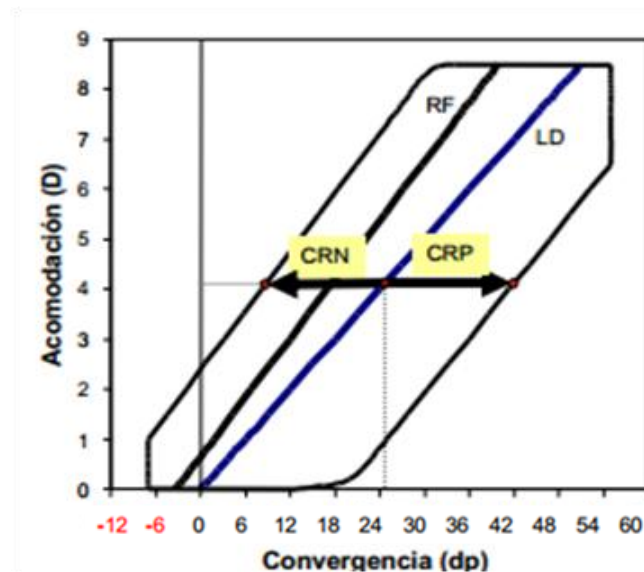


Figura 11 Representació gràfica de les convergències relatives
Extreta: <http://ocw.upc.edu/curs/20281/Apunts>

Convergència fusional positiva (CFP): És la longitud del segment horitzontal que va des de la recta de les fòries fins la recta limitant dreta, per a un valor determinat d'acomodació.

Convergència fusional negativa (CFN): És la longitud del segment horitzontal que va des de la recta de les fòries fins la recta limitant esquerra, per a un valor determinat d'acomodació.

1.4.5 Reserves d'acomodació

L'acomodació permet un augment de la potència diòptrica de l'ull per enfocar les imatges d'objectes pròxims. La capacitat d'acomodar disminueix gradualment amb l'edat, de manera que, al voltant dels 40 anys comença a aparèixer la presbícia, és en aquest moment on les reserves acomodatives són insuficients i es presenten dificultats en tasques de visió propera.

L'amplitud relativa de l'acomodació està composta per:

- Acomodació relativa positiva (ARP): Determina la quantitat d'acomodació que es pot estimular mantenint una convergència determinada. Els valors depenen de l'edat del pacient. Per a la seva obtenció, s'ha d'augmentar progressivament la potència de les lents negatives fins que el pacient ens indiqui que veu borrós l'optotip.
- Acomodació relativa negativa (ARN): Determina la quantitat d'acomodació que es pot relaxar mantenint una convergència determinada. Per a la seva obtenció, s'ha d'augmentar progressivament la potència de les lents positives fins que el pacient ens indiqui que veu borrós l'optotip.

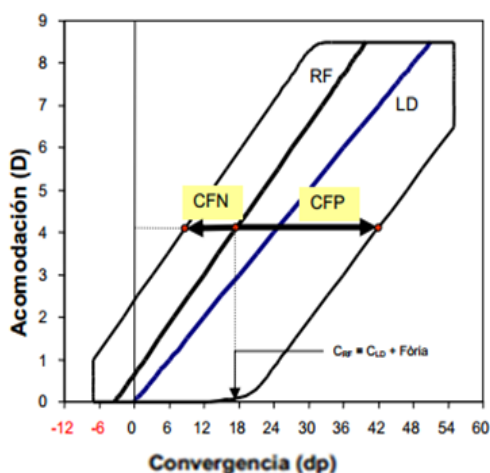


Figura 12 Representació gràfica de les convergències fusionals
Extreta: <http://ocw.upc.edu/curs/20281/Apunts>

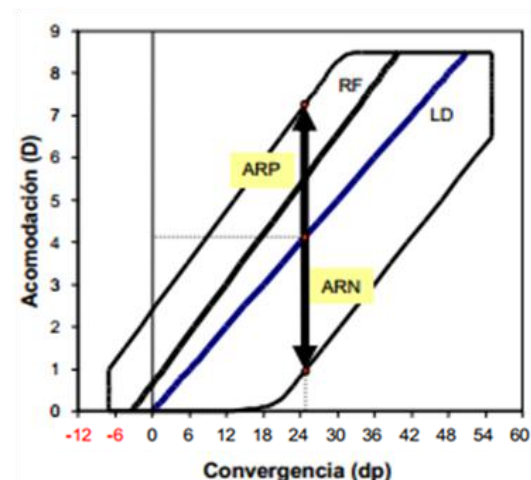


Figura 13 Representació gràfica de les acomodacions relatives
Extreta: <http://ocw.upc.edu/curs/20281/Apunts>

2. OBJECTIUS DEL TREBALL

Una de les característiques essencials del sistema visual és la visió estereoscòpica; necessària principalment per calcular i estimar les distàncies de l'entorn. Freqüentment, és una funció que no es té molt en compte en la pràctica optomètrica, degut a que la seva pèrdua o disminució no origina símptomes que expressin un malestar per part dels pacients.

Algunes persones tenen molèsties o fatiga al veure una projecció en 3D, d'altres no presenten percepció tridimensional. El causant d'aquesta incomoditat no és l'avanç de la tecnologia, sinó un problema visual no diagnosticat que es manifesta de forma evident davant d'imatges en 3D.

Aquest estudi intenta analitzar la influència dels factors més rellevants involucrats en la visió de pel·lícules 3D. Els factors han estat classificats segons fan referència a: l'estímul projectat, la posició de visualització i les característiques visuals de l'observador.

2.1. OBJECTIU GENERAL

El principal objectiu d'aquest estudi és comprovar si la sala 2.3 de la facultat d'òptica i optometria de Terrassa és un espai adient per visualitzar una pel·lícula 3D des de totes les posicions. Per tal d'analitzar-ho s'ha treballat amb una mostra de 16 observadors, els quals visualitzaven una seqüència de presentacions d'estímuls des de diferents posicions. D'aquesta manera, s'han valorat els efectes de les característiques dels estímuls, de les capacitats visuals dels observadors i de les diferents posicions de l'aula des de les quals es visualitzen les presentacions.

Aquesta memòria mostra la part que fa referència als observadors. Analitzat principalment la capacitat dels observadors per veure en 3D mitjançant estímuls anaglifs, la possible relació entre el nombre d'encerts i els resultats de les diferents proves optomètriques i, per últim, les zones de confort segons Percival i Sheard per a cadascun dels observadors.

2.2. OBJECTIUS ESPECÍFICS

- Analitzar el rendiment visual dels observadors per percebre la visió en 3D mitjançant presentacions anaglífiques.
- Avaluar la possible relació entre el nombre d'encerts i els resultats de les proves optomètriques per a cada observador.
- Analitzar si els estímuls utilitzats queden localitzats o no en les zones de confort segons Percival i Sheard per a cada observador.

3. MÈTODE EXPERIMENTAL

3.1 CARACTERITZACIÓ DE LA SALA DE PROJECCIÓ

En aquest estudi s'analitzen alguns dels factors que poden influir en la visualització 3D en una sala de projecció. Per tant, ha calgut trobar una sala on poder projectar el nostre test. Aquesta es troba a la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa (FOOT), és una de les aules més àmplies i de les poques en que la pantalla es troba gairebé centrada. Per tal de poder caracteritzar correctament la sala, primer de tot s'han realitzat les mesures corresponents de cara a poder fer els càlculs posteriors.

A continuació es mostra la planta de la sala:

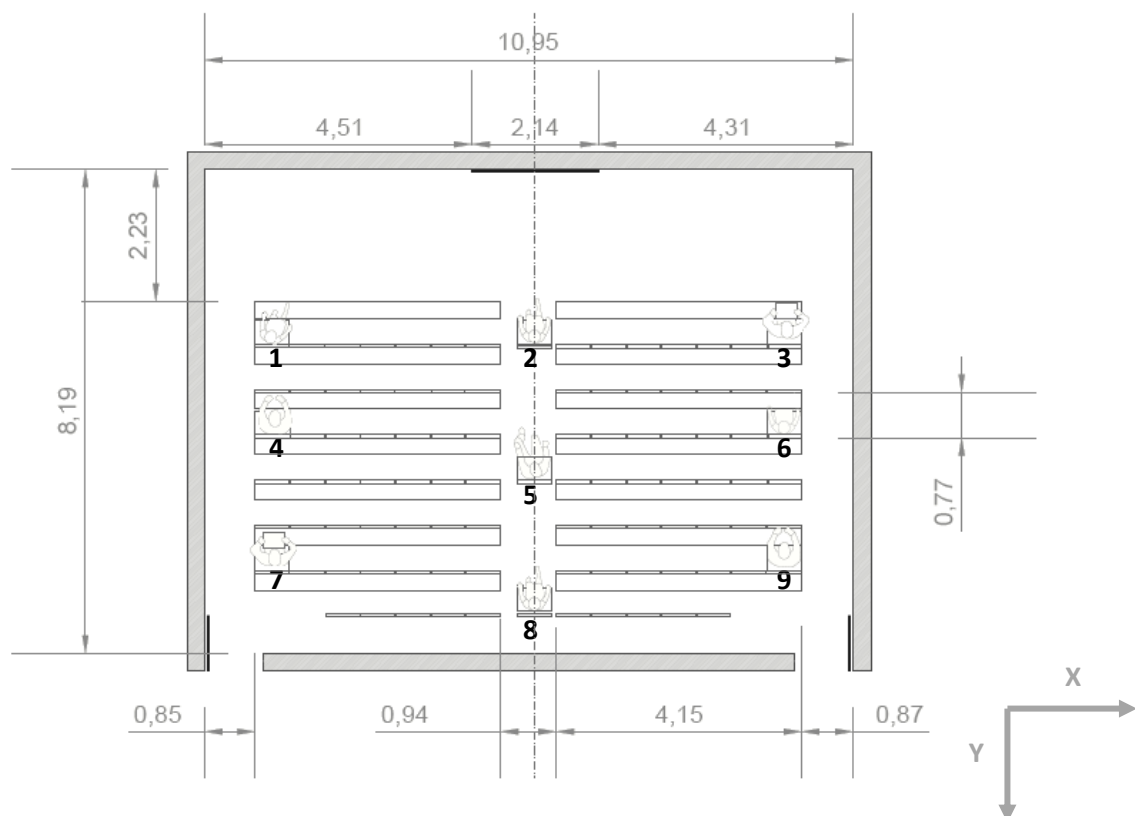


Figura 14 Caracterització de la sala a 1:1000 i representació de les nou posicions dels observadors

Realitzades les mesures, s'han determinat nou posicions per les quals passaran tots els observadors per visualitzar el test. S'han escollit aquestes posicions intentant col·locar als observadors en les situacions més extremes i les més centrals, d'aquesta manera ens podem fer una idea del que pot passar en les posicions intermèdies.

Per a poder calcular correctament les disparitats binoculars dels estímuls en totes les posicions i les separacions que hi ha entre cadascun d'ells, cal conèixer les coordenades de cadascuna d'aquestes:

Posició	X (en valor absolut)	Y
1	558	300
2	0	300
3	538	300
4	558	454
5	0	531
6	538	454
7	558	685
8	0	762
9	538	685

Taula 2 Coordenades de cadascuna de les nou posicions

3.2 TEST I CONDICIONS AMBIENTALS DE L'AULA

El test que s'ha utilitzat ha estat cedit pel grup de recerca *Vision & Control of Action* (VISCA) del departament de Psicologia bàsica de la Facultat de psicologia de la UB, el qual també ha estat utilitzat en estudis anteriors.

És un test anàglif en el que trobem tres cercles, un petit i fix al centre, aquest és el que ens servirà de referència per a diferenciar les presentacions de percepció creuada i les de percepció paral·lela. Els altres dos, un blau i un vermell, formen el cercle perifèric. Amb aquets es poden provocar diferents efectes de percepció a l'observador intercanviant la posició dels colors i les separacions entre ells.

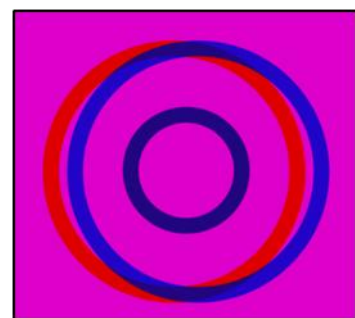


Figura 15 Exemple d'estímul utilitzat en el nostre test
Extreta: grup de recerca *Vision & Control of Action* (VISCA)

Mitjançant unes ulleres anaglífiques blau – vermell, els observadors perceben el cercle gran més a prop d'ells que el petit, o més lluny, depenent de la posició dels colors.

Quan el cercle gran (variable) es percep més a prop de l'observador que el cercle petit (fix), es tracta d'un cas de percepció creuada i quan el cercle gran (variable) es percep més lluny de l'observador que el cercle petit (fix), es considera una percepció paral·lela.

Tenint en compte les dades inicials que ens proporcionava el test original, totes les separacions van ser calculades matemàticament, alhora que es van comprovar mitjançant algunes mesures realitzades directament a la pantalla amb un regle. Finalment també es van comprovar amb el programa *ImageJ* que mesura els píxels. Es pot dir que les tres mesures corresponents van donar el mateix:

Presentació	Posició cercle petit	Separació (cm)	Presentació	Posició cercle petit	Separació (cm)
1	Darrera	0,2	13	Darrera	0,1
2	Davant	0,4	14	Darrera	0,3
3	Davant	0,9	15	Davant	4,5
4	Davant	0,6	16	Davant	3,0
5	Davant	1,9	17	Darrera	4,5
6	Davant	0,9	18	Davant	3,0
7	Davant	3,8	19	Davant	2,8
8	Darrera	0,4	20	Darrera	3,0
9	Darrera	0,9	21	Darrera	0,6
10	Darrera	1,1	22	Igual	0
11	Darrera	3,8	23	Darrera	5,7
12	Darrera	3,8	24	Darrera	3,4

Taula 3 Separacions entre el cercle blau i vermell i posició del cercle petit respecte el gran per a cadascuna de les 24 presentacions que es mostren als observadors

A partir del test original s'han escollit aquestes 24 presentacions (Taula 3) que es presentaven als observadors en ordre aleatori i diferent per cada visualització. En la presentació 22 el cercle gran no estava duplicat i, per tant, s'havia de percebre en el mateix pla que el petit. Les presentacions que mostraven disparitats binoculars es reparteixen així: 13 d'elles provoquen percepció creuada (cercle petit darrera) i 10 percepció paral·lela (cercle petit davant).

Mitjançant unes ulleres anaglífiques que permeten veure de forma tridimensional aquest test, cada observador ha de visualitzar aquestes 24 presentacions amb diferents separacions des de les 9 posicions (un total de 216 estímuls diferents) escollides anteriorment. Alhora han de contestar un qüestionari en el que s'ha d'indicar si el cercle petit està més proper (P) o més llunyà (L) a ells respecte el gran, aquest qüestionari es pot veure a l'ANNEX 1.

Per tal que no intervingui un factor de memorització de les presentacions, s'han generat aleatòriament tres versions diferents del test. Cada presentació es visualitzava durant 7 segons, i entre cadascuna d'elles, existeix un interval de 7 segons per tal que l'observador pugui apuntar la seva resposta.

Pel que fa a les condicions ambientals de la sala, la prova es va realitzar amb llum molt escassa, de manera que els observadors poguessin veure els fulls del qüestionari. Probablement si s'hagués realitzat totalment a les fosques, la combinació dels colors hauria estat més adequada.

3.3 ELECCIÓ DE LES PROVES OPTOMÈTRIQUES

Algunes persones tenen molèsties o fatiga en veure una projecció en 3D, d'altres són incapaces d'apreciar l'efecte tridimensional. Segons el Col·legi Oficial d'Òptics i Optometristes de Catalunya (COOOC) la causa no recau en l'avanç de la tecnologia, sinó en un problema visual no diagnosticat que es manifesta de forma evident davant d'imatges en 3D. Aquest problema afecta aproximadament a un 12% de la població, uns 900.000 catalans (2012).

El president del COOOC, Alfons Bielsa (2011), explica que la disfunció binocular més comú és la disparitat de fixació, on en posició de repòs, els ulls no miren cap al mateix punt de l'espai, però quan els ulls passen a posició activa, compensen aquesta disparitat. Els que tenen aquest tipus d'alteració són els casos menys evidents, ja que poden percebre la imatge tridimensional però, provoca fatiga i molèstia visual. Les pel·lícules 3D obliguen a l'ús simultani d'ambdós ulls per produir aquest efecte i les disparitats s'han de compensar contínuament durant un temps prolongat. D'altra banda, en el cas dels estrabismes i l'ambliopia el problema de visió binocular és evident, ja que aquestes dues disfuncions no permeten que el pacient percebi la imatge tridimensional.

Altres estudis sobre l'estereòpsia, indiquen que existeixen nombrosos indicadors per que la fatiga visual es relacioni amb l'alteració d'algunes funcions visuals, és per això que basant-nos en l'article "*Visual Discomfort and Visual Fatigue of Stereoscopic Displays: A Review*" (Lambooj M et al. 2009) s'ha considerat escaient realitzar les mesures optomètriques que es troben a la Taula 4.

Proves Preliminars	Proves Acomodació	Proves visió Binocular
<ul style="list-style-type: none"> - Distància interpupil·lar (DIP) - Agudesa visual monocular i binocular (AV mono i bino) - Agudesa visual estereoscòpica (AVE) 	<ul style="list-style-type: none"> - Amplitud d'acomodació (AA) - Flexibilitat d'acomodació monocular i binocular en visió llunyana - Retard acomodatiu 	<ul style="list-style-type: none"> - Heterofòria en visió llunyana i propera (VL i VP) - Relació convergència – acomodació – convergència (AC/A) - Convergència relativa negativa i positiva (CRN i CRP) - Flexibilitat de vergències - Disparitat de fixació

Taula 4 Proves optomètriques realitzades als pacients

Totes les proves s'han de realitzar amb la correcció adequada de l'observador, les proves que requereixen la utilització del foròpter, és necessari l'ajustament de la DIP per a cadascun d'ells. La majoria de les proves es faran en visió llunyana ja que totes les posicions des de les quals es visualitzarà el test en la projecció a la sala es troben a una distància llunyana. En visió propera es mesura la fòria, per poder obtenir la relació AC/A, el TNO i el retard acomodatiu ja que requereix que el test estigui a una distància aproximada de 40cm respecte el pacient.

3.4 MÈTODE DE MESURA DE LES PROVES REALITZADES

3.4.1 Distància interpupil·lar

La distància interpupil·lar és un factor que intervé directament en la capacitat de l'estereòpsia; a major distància interpupil·lar, major és la distància a la que la persona pot seguir apreciament en relleu els objectes llunyans.

Existeixen diferents mètodes de mesura de la DIP, en aquest estudi es fa referència a la mesura de la vora de la pupil·la. L'examinador s'ha de col·locar davant del pacient a la distància de la llargada del braç, de manera que quedin a la mateixa alçada i alineats.

En visió llunyana es col·loca el regle mil·limetrat per sobre el pont nasal del pacient, l'examinador tanca l'ull dret i el pacient mira l'ull esquerre d'aquest, alineant el zero del regle amb la vora temporal de l'ull dret del pacient. Seguidament, l'examinador tanca l'ull esquerre i el pacient mira l'ull dret d'aquest, es col·loca el regle de manera que es determinin els mil·límetres que coincideixen amb la vora nasal de l'ull esquerre del pacient.

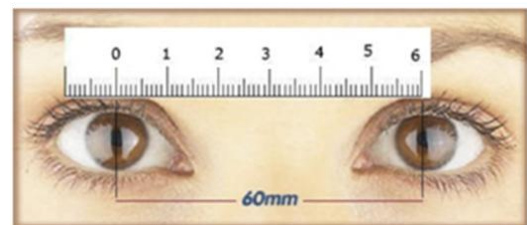


Figura 16 exemple mesura Distància interpupil·lar
Extreta: <http://www.oggo.es/index.php/tu-graduacion-conceptos-basicos>

Generalment els valors de normalitat es troben entre 50 i 70 mil·límetres.

3.4.2 Agudesa Visual

L'agudesa visual (AV) ens permet valorar la capacitat del sistema visual del pacient per diferenciar lletres o objectes a una certa distància. La informació que s'obté de l'AV pot ser molt important, ja que una bona AV en ambdós ulls determina la capacitat per desenvolupar la binocularitat. Pel contrari, si es troba que un dels ulls té menys AV que l'altre, podria ser que el pacient no hagués desenvolupat correctament la visió binocular.

Existeixen diferents tipus de test per a mesurar la AV, en aquest estudi s'avalua la AV en visió llunyana (5 metres) tan monocular, com binocularment amb un test de lletres.



Figura 17 Tipografia de Sloan pel disseny d'optotips
Extreta: Manual Optometria 2011

Per tal de determinar l'AV del pacient, es comencen presentant AV baixes i s'augmenten progressivament fins que es troba la màxima. En l'escala decimal, esperem que el pacient tingui aproximadament una AV=1 en ambdós ulls.

3.4.3 Agudesa visual estereoscòpica

L'examen de l'agudesa visual estereoscòpica informa sobre la qualitat de la visió binocular del pacient i orienta sobre l'existència i severitat de supressions binoculars, que poden aparèixer quan es descompensa una heterofòria, existeix ambliopia, estrabisme o alguna altra anomalia binocular.

Existeixen diferents tests per a l'obtenció de l'Agudesa Visual Estereoscòpica (AVE), hi ha tests que requereixen ulleres polaritzades o anaglífiques i tests que no requereixen cap tipus d'ulleres.



En aquest projecte s'ha utilitzat el TNO, que consisteix en un test anàglif el qual se situa a 40 centímetres del pacient, conté 7 làmines. Les tres primeres permeten saber si l'observador té visió estereoscòpica, les altres permeten quantificar la sensibilitat d'aquesta visió estereoscòpica.

Figura 18 TNO i ulleres anaglífiques
Extreta:<http://www.graftonoptical.com/products/775-tno-stereo-test.html>

- *Làmina I*: formada per dues papallones, una es pot observar a simple vista, l'altra només amb les ulleres anaglífiques i si l'observador posseeix un cert grau d'estereòpsia.
- *Làmina II*: formada per quatre esferes, dos d'elles s'observen a simple vista sense profunditat i les altres dues només es veuen amb les ulleres anaglífiques i si l'observador posseeix un cert grau d'estereòpsia.
- *Làmina III*: formada per cinc figures: una creu, un triangle, un cercle, un rombe i un quadrat. A simple vista, es veu la creu però no amb profunditat, les altres figures es veuen estereoscòpicament amb les ulleres anaglífiques.
- *Làmina IV*: aquest és un test de supressió on s'aprecia un cercle petit al mig de dos més grans. Si l'observador veu només dos discs, cal preguntar on es troba el més gran; la posició d'aquest disc a la dreta o a la esquerra ens indica l'ull que no suprimeix.
- *Làmines V,VI,VII*: formades per uns cercles als quals els hi falta un tros, el pacient ha d'indicar a quin costat li falta aquest tros.

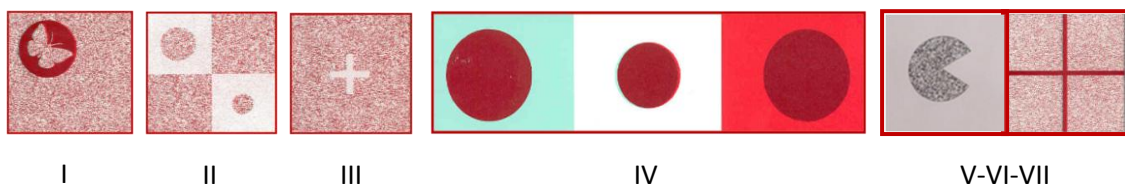


Figura 19 Làmines test TNO

Extreta: http://www.memoireonline.com/05/07/459/m_habiletes-visuelles-tests-principes-utilites4.html

Aquesta prova permet mesurar estereoagudeses entre 480"arc i 15"arc, considerant 60"arc com a valor de normalitat.

3.4.4 Amplitud d'acomodació

L'amplitud d'acomodació permet saber la màxima acomodació de l'observador per mantenir nítida la imatge. Sempre s'avalua monocularment per tal que no influeixi la convergència. Hi ha diferents mètodes per a la seva obtenció, en aquest estudi s'ha utilitzat el mètode de Donders ja que és el més utilitzat habitualment en clínica.

El mètode de Donders o d'aproximació consisteix en que el pacient es fixi en un optotip de la seva AV el qual s'anirà apropant a partir de 50 centímetres fins al punt en que el veu borrós (Sheiman i Wick 1996).

L'invers de la distància que separa el test del pacient, és el valor de l'amplitud d'acomodació en diòptries. Aquesta mesura s'ha de repetir varies vegades per determinar la qualitat de l'acomodació.

Donders (1864) va ser el primer en estudiar l'amplitud d'acomodació i, a partir d'aquest estudi, es va construir la corba de normalitat de l'amplitud d'acomodació per les diferents edats (Raymond, 1936).

Edat	Amplitud	Edat	Amplitud
10	14 D	45	3.5 D
15	12 D	50	2.5 D
20	10 D	55	1.75D
25	8.5 D	60	1 D
30	7 D	65	0.5 D
35	5.5 D	70	0.25 D
40	4.5 D	75	0 D

Taula 5 Valors normals per l'edat de l'observador segons Donders
Extreta: <http://www.imagenoptica.com.mx/pdf/revista46/acomodacion.htm>

3.4.5 Flexibilitat d'acomodació monocular i binocular en visió llunyana

La flexibilitat d'acomodació és una prova qualitativa que permet valorar l'habilitat del sistema visual per realitzar canvis bruscs en l'acomodació, enfocant ràpidament objectes a distàncies diferents.

Aquesta prova s'ha realitzat seguint el procediment utilitzat per Zellers et al. (1984). Consisteix en que el pacient fixi un optotip de la seva agudesesa visual, mitjançant un flipper s'ha d'anteposar lents de -2.00D, indicant-li que veurà borrós i que ha d'avisar quan torni a percebre la imatge nítida, en aquest moment, es treu el flipper i el pacient tornarà a veure borrós. El pacient ha d'avisar quan torni a percebre la imatge nítida i seguidament tornar a col·locar el flipper amb la lent. S'ha de repetir el procés durant un minut. D'aquesta manera, es pot determinar quantes fixacions és capaç de fer el pacient en aquest temps. És per això, que el resultat s'ha de donar en cicles per minut (cpm).

Primer es fa la prova monocularment (tapant un dels ulls) i després binocularment. Quan es realitza l'examen monocular, obtenim resultats purament acomodatius, és a dir, l'examen vertader de flexibilitat d'acomodació. En el moment que es realitza l'examen binocular, entra en joc la convergència, és per això que no és un examen purament acomodatiu sinó, també de convergència.

Pel que fa als valors de normalitat, monocularment es consideren normals ≥ 12 cpm i binocularment ≥ 9 cpm.

3.4.6 Retard acomodatiu

El retard acomodatiu es defineix com la diferència entre l'estímul acomodatiu i la resposta acomodativa. Manifesta el grau de llibertat que existeix entre l'acomodació i la convergència en visió pròxima. Aquesta prova es pot realitzar subjectiva o objectivament.

En aquest estudi s'ha utilitzat el *mètode de l'estimació Monocular* (MEM) (Rouse W., London R., Allen C., 1982). Consisteix en valorar el reflex retinoscòpic que s'observa al posar lents esfèriques (positives o negatives) davant l'ull del pacient, les lents no haurien de posar-se més de 0,3 segons, ja que esperem que no alteri l'estímul ni la resposta acomodativa. Ambdós ulls haurien de donar un retard acomodatiu semblant.

Es realitza amb ambdós ulls oberts, però és una prova monocular, de manera que primer es fa un ull i després l'altre. Col·locant el retinoscopi a la seva distància habitual de treball, se li demana que llegeixi les lletres que hi ha al propi retinoscopi. S'han de posar lents esfèriques ràpidament per tal de neutralitzar el reflex.

Es consideren valors normals de retards d'aproximadament +0.50D en persones no prèsbites.

3.4.7 Heterofòria horitzontal en visió llunyana i visió propera

L'heterofòria és una desviació latent dels eixos visuals que només es manifesta en absència de fusió. És per això que per a la seva avaluació necessitem mètodes que dissociïn la visió i proporcionin una imatge diferent per a cada ull.

En aquest estudi, s'utilitza el mètode de Von Graefe (Daum 1991; O'Shea et al. 1988; Saladin and Sheedy 1978), el qual utilitza prismes com a dissociadors. Es pot realitzar tant en ullera de prova com en foròpter, per aquest projecte ha estat mesurada amb foròpter.

Per mesurar la fòria en visió llunyana (5 metres), s'utilitza un test vertical amb AV lleugerament inferior a la visió de l'ull que té menys AV. S'anteposen els prismes de Risley del foròpter (Daum et al. 1989; Saladin and Sheedy 1978) davant dels ulls del pacient, de manera que, es col·loquen en l'ull dret 12Δ BN (prisma mesurador) provocant una imatge a la dreta, i en l'ull esquerra 6Δ BS (prisma dissociador) provocant una imatge inferior. S'ha d'indicar al pacient que veurà una imatge a la dreta i una a sota, remarcant que ha de fixar tota l'estona la imatge inferior i l'ha de mantenir nítida per tal que l'acomodació no intervingui.

Finalment reduïrem els prismes de BN fins que el pacient indiqui que veu alineades les dues imatges, en aquest moment anotarem la quantitat de prisma i la base.

Si l'alineació vertical de les dues imatges s'aconsegueix amb una certa quantitat de ∇ BN, estarem davant d'un *exofòric*, pel contrari, si s'aconsegueix l'alineació amb ∇ BT, serà *endofòric*. En cas de que s'aconsegueixi sense prismes, parlarem d'*ortofòric*.

S'ha de repetir el procediment tres vegades, si la diferència entre els tres resultats no és major a 3∇ , farem la mitja dels tres valors obtinguts. Si la diferència entre els tres valors és superior a 3∇ repetirem la prova.

Pel que fa a l'heterofòria en visió propera (40 centímetres) el procediment és el mateix, però en aquest cas, posarem a l'ull dret 15∇ BN (prisma mesurador) i a l'ull esquerra 8∇ BS (prisma dissociador).

Segons Morgan, es consideren valors de normalitat heterofòries 1∇ d'exofòria ($\pm 1\nabla$) en visió llunyana i 3∇ d'exofòria ($\pm 5\nabla$) en visió propera.

3.4.8 Relació Acomodació – Convergència – Acomodació (AC/A)

La relació AC/A indica quant varia la convergència quan es varia una diòptria d'acomodació, és per això que s'expressa en ∇ /D. Hi ha diferents mètodes d'obtenció de l'AC/A, però en aquest estudi s'ha utilitzat el *mètode del gradient*.

Aquest és un mètode clínic molt fiable ja que només valora la variació de la convergència acomodativa, mantenint constant la convergència proximal. És necessari saber la fòria en VL i la fòria en VP (40 o 33 cm). A més, s'ha de tornar a mesurar la fòria en VP però afegint una variació diòptrica. Es poden realitzar variacions esfèriques entre $\pm 2.00D$ però, es recomana utilitzar una variació de $-1.00D$ excepte en pacients amb endofòria moderada, en aquest cas es recomana utilitzar lents positives.

La diferència entre el valor de l'heterofòria horitzontal en visió propera habitual del pacient i l'obtinguda amb la lent negativa addicionada és el valor de la relació AC/A obtingut amb la següent fórmula (Von Noorden, 2002; Prieto 1986):

$$AC/A = \frac{\Delta 1 - \Delta 0}{D}$$

$\Delta 1$ = Fòria induïda amb la lent estímulo
 $\Delta 0$ = Fòria habitual d'aprop
 D= Lent estímulo

El valor promig de l'AC/A obtingut amb diferents mètodes ha estat establert per diferents autors. Franceschetti y Burian (Von Noorden, 2006) utilitzant el mètode del gradient van trobar que l'AC/A promig oscil·lava entre 3 i 5, Sheimann (2002) descriu que el valor està en 4 (± 2), Gross-venor (2005) cita com a valors normals entre 4D i 6D, tots els valors superiors a 6D seran alts i inferiors a 4D baixos.

3.4.9 Convergència relativa positiva i negativa

La convergència relativa positiva i la negativa valoren la capacitat que té el sistema visual per mantenir la fusió mentre es va variant la convergència de l'estímul mantenint constant l'acomodació. S'han valorat les reserves fusionals en visió llunyana utilitzant els prismes rotatoris de Risley del foròpter (Daum et al. 1989; Saladin and Sheedy 1978).

Igual que per la mesura de l'heterofòria, s'ha d'utilitzar un test vertical amb una AV lleugerament inferior a la visió de l'ull que té menys AV.

- Per l'obtenció de la *convergència relativa positiva (CRP)* es posen prismes de BT progressivament en tots dos ulls a la vegada fins que el pacient indiqui que veu borrós l'optotip, en aquest moment es segueix augmentant el valor dels prismes fins que indiqui que el veu doble, per últim, es disminueix la quantitat de prismes fins que el pacient recupera la visió binocular. Aquests valors ens informaran de la qualitat de les reserves fusionals dels observadors exofòrics.
- Per l'obtenció de la *convergència relativa negativa (CRN)* es posen prismes de BN progressivament en tots dos ulls a la vegada fins que el pacient indiqui que veu borrós l'optotip, en aquest moment es segueix augmentant el valor dels prismes fins que indiqui que el veu doble, per últim es disminueix la quantitat de prismes fins que el pacient recupera la visió binocular. Aquests valors ens informaran de la qualitat de les reserves fusionals dels observadors endofòrics.

Tal com recomana Rosenfield et al. (1995), es van avaluar els rangs de vergències de BN abans que els de BT per evitar l'adaptació de les vergències.

Aquest examen s'ha d'incloure sempre que es vulgui valorar la visió binocular d'un observador, ja que l'existència d'una heterofòria no té cap significat clínic per si sola, a no ser que es compari amb les reserves fusionals per poder saber si està compensada o no.

Existeixen diversos criteris per decidir quan una heterofòria està descompensada, destaquen principalment el criteri de Sheard i el de Percival.

- *Criteri de Sheard* indica que el valor de la reserva fusional ha de ser, com a mínim, el doble del valor de la fòria.
- *Criteri de Percival* recomana que les dues reserves fusionals (obtingudes amb prismes de BN i BT) estiguin equilibrades, de manera que la reserva de menor quantitat sigui, com a mínim, la meitat de la reserva de major quantitat.

Es consideren valors de normalitat en visió llunyana $x/7/4 (\pm 2)$ pel CRN i $10/20/10 (\pm 5)$ pel CRP. El primer valor correspon a la quantitat de prismes amb els quals el pacient ha vist borrós, el segon amb els que ha vist doble i el tercer amb els que ha recuperat la visió simple. La x fa referència a que el pacient no ha vist borrós, directament ha vist doble.

3.4.10 Flexibilitat de vergències

La flexibilitat de vergències és una prova qualitativa que indica la capacitat que té el sistema visual del pacient per a realitzar canvis prismàtics bruscs. L'observador ha d'anar amb la seva correcció i ha de fixar un optotip amb els dos ulls oberts.

Rosner recomana que per valorar la seva *flexibilitat de convergència* s'utilitzin $12\Delta BT$ i per valorar la *flexibilitat de divergència* s'utilitzin $6\Delta BN$. Es col·loca el prisma davant de l'ull del pacient amb ambdós ulls oberts indicant-li que veurà doble i ha d'avisar quan percebi una sola imatge nítida, en aquest moment es retira el prisma de manera que tornarà a veure doble i el pacient ha de tornar a indicar quan torna a percebre una sola imatge nítida. Aquest procediment es repeteix durant un minut. El resultat es quantifica en cicles per minut (cpm).

Segons Rosner, primer s'ha de valorar la flexibilitat de divergència i després la flexibilitat de convergència.

Es consideren valors normals en visió llunyana a partir de 9 cpm i en visió propera a partir de 13 cpm.

3.4.11 Disparitat de fixació

La disparitat de fixació és una condició que pot tenir lloc durant la fixació binocular d'un objecte, de forma que les imatges no es formen exactament en ambdues fòvees, però encara es troben dins de les àrees fusionals de Panum corresponents.

Si els eixos visuals intersequen més a prop que l'objecte de fixació, existeix endodisparitat de fixació. Pel contrari, si els eixos visuals intersequen més lluny que l'objecte de fixació, existeix una exodisparitat de fixació.

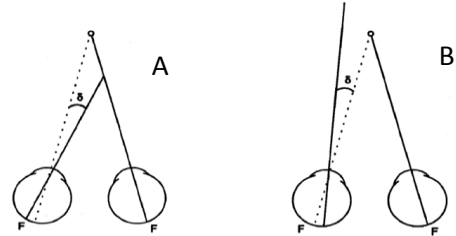


Figura 20 Endodisparitat (A) i exodisparitat (B)
Extreta: Optometria: Manual de exàmens optomètrics

En aquest projecte s'ha utilitzat la *unitat de Mallet* (1964) per tal de detectar si algun dels observadors tenia disparitat de fixació i si és així, mesurar-la. Consta d'una targeta específica transluminada per una bombeta. Requereix l'ús d'ulleres polaritzades, de manera que la línia superior és vista només amb l'UD, la línia inferior per l'UE i les lletres centrals es veuen amb ambdós ulls. Si li donem la volta a la targeta podrem mesurar també la disparitat vertical.

Es pot trobar que el pacient veu la línia de dalt desplaçada cap a la dreta, en aquest cas existeix una *endodisparitat de fixació*, per determinar la heterofòria associada s'han de col·locar prismes BT fins que quedin alineades les mires.

Pel contrari, es pot trobar que el pacient veu la línia de dalt desplaçada cap a l'esquerra, en aquest cas existeix una *exodisparitat de fixació*, per determinar l'heterofòria associada, en aquest cas s'han de col·locar prismes de BN fins que quedin alineades les mires.

El més habitual es trobar que l'observador té *ortodisparitat de fixació* (veu ambdós línies verticals perfectament alineades), per tant no té cap heterofòria associada.



Figura 21 Exemple ortodisparitat de fixació (A), endodisparitat de fixació (B) i exodisparitat de fixació (C)
Extreta: Optometria: Manual d'exàmens optomètrics

4. RESULTATS

Aquest estudi s'ha realitzat amb una mostra de 16 observadors, majoritàriament estudiants i professors de la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa (FOOT). Tots ells tenien una agudesa visual igual o superior a la unitat i una estereoagudesa mínima de 120"arc amb el TNO. L'estudi consta de dues parts: la visualització del test i les proves optomètriques. Tots els observadors van dedicar aproximadament dues hores per la visualització del test i uns 30 minuts per les proves optomètriques.

Tal i com ja s'ha explicat a les seccions 3.1 i 3.2, s'ha estudiat nou posicions de sala de projecció, per aquest motiu els observadors es van dividir en dos grups i, per tant, van visualitzar el test en dos dies diferents, però ho van fer a la mateixa hora i amb les mateixes condicions ambientals. Pel que fa les proves optomètriques es van realitzar segons la disponibilitat dels gabinets del Centre Universitari de la Visió (CUV) i la disponibilitat dels pacients.


El resultat final enregistrat de cada pacient ha estat el conjunt d'encerts en la determinació de la posició relativa dels dos cercles per a cadascuna de les combinacions posició/presentació."

4.1. NOMBRE D'ENCERTS

Amb totes les combinacions indicades abans, el test d'aquest estudi esta format per 24 presentacions, com que es visualitzen des de 9 llocs diferents, cada observador visualitza un total de 216 estímuls. Segons la separació entre els dos cercles i la posició des de la qual el pacient veu la presentació, donen diferents percepcions; 117 (13 presentacions per 9 posicions) de percepció creuada amb disparitats de 58"arc fins a 3900"arc, 90 (10 presentacions per 9 posicions) de percepció paral·lela amb disparitats de 12"arc fins a 3900"arc i només 9 (1 presentació per 9 posicions) no tenen disparitat i per tant, la sensació de profunditat és nul·la.

4.1.1. Nombre global d'encerts

A l'ANNEX 2, es troben els gràfics d'encerts i errors (indicats amb valors 1 i 0, respectivament) per cada un dels observadors. En la mateixa gràfica s'hi ha afegit la corba d'exactitud calculada tal com s'explica a continuació. Per a cada valor de disparitat binocular ℓ , per a calcular el valor de l'exactitud que li correspon es fan servir els resultats que s'obtenen amb la matriu de contingència (Taula 6).

		"CONDICIÓ REAL"		
		+	-	
		Presentacions projectades amb $DB \geq \ell$	Presentacions projectades amb $DB < \ell$	
"RESULTATS TEST"	+	VP (Veritables Positius) L'encerta per què ho veu	FP (Falsos Positius) L'encerta per casualitat	(VP + FP) Total encerts
	-	FN (Falsos negatius) No l'encerta "inexplicablement"	VN (Veritables Negatius) No l'encerta per què no ho pot veure.	(VN + FN) Total errades
		(VP + FN) Total de presentacions que esperem que encerti	(FP + VN) Total de presentacions que esperem que no encerti	 Exactitud

Taula 6 Matriu de contingència

Per a aquest valor de ℓ , suposant que l'observador tingués una estereoagudesa igual a ℓ , les cel·les de la Taula 6 s'interpreten de la forma següent:

VP: *Veritables Positius*. Nombre de respostes correctes, quan s'esperaven respostes correctes perquè l'observador té una estereoagudesa igual o menor a la DB de l'estímul presentat.

FP: *Falsos Positius*. Nombre de respostes correctes, quan s'esperaven respostes incorrectes perquè l'observador té una estereoagudesa més gran que la DB de l'estímul presentat.

FN: *Falsos Negatius*. Nombre de respostes incorrectes, quan s'esperaven respostes correctes perquè l'observador té una estereoagudesa igual o menor a la DB de l'estímul presentat.

VN: *Veritables Negatius*. Nombre de respostes incorrectes, quan s'esperaven respostes incorrectes perquè l'observador té una estereoagudesa més gran que la DB de l'estímul presentat.

Així doncs, l'exactitud es calcula mitjançant la fracció de respostes que coincideixen amb el que esperàvem (les veu quan s'espera que les vegi i no les veu quan s'espera que no les vegi), respecte al total de presentacions.

$$EXA = \frac{VP + VN}{VP + FP + VN + FN}$$

El valor de ℓ que dona lloc a l'exactitud màxima hauria de correspondre a l'estereoagudesa de l'observador, perquè és el que concorda millor amb els seus resultats. Enlloc de considerar un

únic valor, el que fem és considerar l'interval de DB que tenen exactituds que no s'allunyen significativament ($\alpha=0.05$) de la màxima.

Així, a partir de les corbes d'exactitud de cada observador, s'ha determinat l'interval de disparitats pel qual els valors d'aquesta exactitud no presenten diferències significatives amb l'exactitud màxima. Els resultats obtinguts figuren a la setena columna de la Taula 7. Tot i que en un principi s'esperava que la AVE mesurada amb el TNO es trobés dins d'aquest interval de disparitats pels quals l'exactitud és màxima, es troba que només és així en 6 de 16 casos. Pensem que pot ser degut a que el test TNO es realitza en visió propera i el nostre test en visió llunyana.

4.1.2. Nombre global d'encerts segons percepció

Per tal de comparar correctament el nombre d'encerts de cada pacient segons la percepció creuada i la paral·lela, s'han descartat els resultats de les presentacions creuades amb disparitats compreses entre 12"arc i 57"arc. També s'han descartat els resultats de les presentacions que no mostren disparitat. D'aquesta manera, el rang de disparitats entre les percepcions creuades i les paral·leles s'iguala. A més també s'iguala el nombre de presentacions creuades i paral·leles. Finalment queden: 90 estímuls de percepció creuada i 90 de paral·lela.

La *llei de la bona forma*, una de les lleis que formen part de la *teoria del Gestalt* (Oviedo GL. 2004), indica que el cervell intenta organitzar els elements percebuts de la forma més simple. Això inclou el sentit de perspectiva, volum, profunditat etc. El cervell prefereix les formes integrades, completes i estables. És per aquest motiu que tots els tests clínics per mesurar l'agudesesa visual estereoscòpica utilitzen estímuls de percepció creuada, com ara el TNO, Randot, etc. En aquest cas l'objecte que té associat un estímulo de disparitat binocular positiva és percebut més proper que el pla del test. D'aquesta manera, el cervell pot organitzar els elements de la forma més simple, que consisteix en percebre un fons (pla del test) i un objecte "flotant" més proper. Si la disparitat binocular de l'estímul fos negativa (estímul de percepció paral·lela), el cervell no podria organitzar aquest elements de forma simple, ja que s'estaria percebent un objecte més allunyat que el propi pla del test, i això no seria possible en la vida real a no ser que el pla del test fos transparent, i no opac.

En el test utilitzat per aquest estudi, la fixació de l'observador se centra en el cercle central (cercle fix) i no en el cercle perifèric (cercle variable) que és el que proporciona la percepció de profunditat, ja que el cercle central és el més senzill i estable. Tenint en compte aquest factor,

esperem que els observadors presentin més facilitat per interpretar un estímul de percepció creuada que no paral·lela.

A l'Annex 2 també es troben les gràfiques de 0 i 1 per cada observador, diferenciant entre presentacions de percepció creuada i paral·lela, amb la corresponent corba d'exactitud.

A continuació es mostra un resum en els que es pot veure el nombre d'encerts en percepció paral·lela i creuada, els intervals de disparitat calculats respecte el test utilitzat i l'estereoagudeses amb el TNO per a cadascun dels observadors. S'ha de destacar, que existeixen 6 observadors els quals mostren uns rendiments extraordinàriament baixos (marcats en vermell en la Taula 7), això ens fa pensar que possiblement no van entendre el funcionament de la prova.

Obs	Nº Encerts Creuat	% Encerts Creuat	Nº Encerts Paral·lel	% Encerts Paral·lel	% Total Encerts	Interval Disparitat ("arc)	AVE amb TNO ("arc)	
M	88	97,78	86	95,56	96,67	[12,20]	60	Exofòrics
P	22	24,44	32	35,56	30,00	[1128,3900]	60	
JL	77	85,56	81	90,00	87,78	[12,59]	60	
È	10	11,11	17	18,89	15,00	[1026,3900]	60	
O	36	40,00	23	25,56	32,78	[256,3900]	60	
T	75	83,33	85	94,44	88,89	[12,62]	60	
Y	42	46,67	41	45,56	46,11	[171,715]	60	
A	65	72,22	82	91,11	81,67	[58,179]	60	
L	88	97,78	84	93,33	95,56	[12,48]	60	
U	90	100,00	83	92,22	96,11	[12,68]	60	
Al	52	57,78	56	62,22	60,00	[179,536]	120	Ortofòrics
Ai	36	40,00	41	45,56	42,78	[171,3900]	60	
X	9	10,00	16	17,78	13,89	[875,3900]	30	Endofòrics
Mi	90	100,00	90	100,00	100,00	[14,62]	60	
J	90	100,00	84	93,33	96,67	[12,41]	60	
AT	83	92,22	90	100,00	96,11	[48,103]	60	

Taula 7 Nombre encerts segons percepció creuada o paral·lela, intervals de disparitat amb el nostre test i AVE amb el TNO
 En color verd es marca el nombre d'encerts més elevat respecte l'altre, en color taronja es marca l'únic cas que té el mateix nombre d'encerts en la percepció creuada que en la paral·lela i en vermell els observadors amb baix rendiment.

Per una banda, la Taula 7 mostra que 8 observadors visualitzen millor les presentacions de percepció paral·lela, tot i que hi ha 6 que visualitzen millor la creuada. D'altra banda, un dels observadors té el mateix nombre d'encerts en els dos tipus de percepció.

Per a cada observador s'analitza si existeixen diferències significatives en la proporció d'encerts segons el tipus de percepció (paral·lela o creuada). Esperem que no hi hagi diferències estadísticament significatives, ja que a la part de l'estudi que fa referència als estímuls, només s'han obtingut a l'analitzar-ho per rangs de disparitats.

Aquesta comparació s’ha realitzat mitjançant la prova exacta de Fisher, ja que és la més indicada quan la mostra és reduïda o quan les proporcions són pròximes a 0 o a 1, que és el cas de les anteriors, moltes per sobre del 90%.

El criteri general per a descartar la hipòtesi nul·la es basa en el P-valor. S’estableix un límit, que s’anomena nivell de significació (α). Aquest s’ha de fixar abans de realitzar l’experiment, el més habitual i el que s’ha utilitzat en aquest estudi és $\alpha= 0,05$. Establert aquest valor s’actua de la forma següent:

- Si P-valor és inferior al nivell de significació, es descarta la hipòtesi nul·la.
- Si P-valor és igual o superior al nivell de significació, es diu que la mostra no aporta evidències suficients per a descartar la hipòtesi nul·la.

Observador	P-valor	Fòria VL	
M	0.682	4 ∇BN	Exofòrics
P	0.143	4 ∇BN	
J L	0.496	3 ∇BN	
È	0.210	2 ∇BN	
O	0.056	2 ∇BN	
T	0.03	2 ∇BN	
Y	1	2 ∇BN	
A	0.002	1 ∇BN	
L	0.278	1 ∇BN	
U	0.014	1 ∇BN	
Al	0.648	0	Ortofòrics
Ai	0.547	0	
X	0.195	1 ∇BT	Endofòrics
Mi	1	2 ∇BT	
J	0.029	3 ∇BT	
A T	0.014	5 ∇BT	

Taula 8 Resultats P-valor amb la prova exacta de Fisher

Com es pot veure en la Taula 8, en el cas de l’Al, M, P, J L, È, Y, L, Ai, X, Mi el P-valor és notablement superior al nivell de significació ($\alpha=0.05$), per tant els resultats mostren que no hi ha cap associació significativa entre el nombre d’encerts en les presentacions de percepció creuada i les de percepció paral·lela.

Pel contrari, en el cas de la T, l’A, la U, la J i la AT (marcats en vermell a la Taula 8), el P-valor és inferior al nivell de significació ($\alpha=0.05$), o bé pròxim en el cas d’O, marcat amb groc. Per tant, en els primers casos trobem que sí existeix una associació estadísticament significativa entre el nombre d’encerts en presentacions de percepció creuada i les de percepció paral·lela.

Tot i així, els resultats obtinguts són lògics, si tenim en compte el valor de l'heterofòria. Els exofòrics (T, A i U), en general tenen una proporció d'encerts superior en percepció paral·lela. La percepció creuada exigeix certa convergència i això pot ser difícil pel pacient amb valors d'exofòries elevades. El cas de l'U, és una excepció, és exofòric però té més nombre d'encerts en la percepció creuada. Una possible explicació pot ser que la seva exofòria és molt baixa ($1 \nabla \text{BN}$).

Pel que fa als endofòrics (J i AT), tenen un nombre més elevat d'encerts en la percepció creuada. La percepció paral·lela exigeix certa divergència i pot resultar difícil pels pacients amb endofòries altes, l'excepció en aquest cas és l' AT.

4.2. PROVES OPTOMÈTRIQUES

La fatiga visual o la impossibilitat de visió en 3D majoritàriament està relacionada amb alguna disfunció visual. Tal com s’ha explicat en altres apartats, s’han escollit algunes proves d’acomodació i algunes de binocularitat per tal de ser analitzades posteriorment amb els encerts de cadascun dels observadors. A continuació es mostra una taula on es troben tots els resultats obtinguts de les proves realitzades als observadors:

OBS	DIP	AV (MON)	AV (BIN)	AVE (TNO)	AA (PPA)	FLEX. ACM. MONO (VL)	FLEX. ACM. BINO (VL)	FÒRIA (VL)
Ai	61	1-/1-	1	60"arc	9D	10/19cpm	14cpm	0
Al	64	1/1	1	120 "arc	11D	41/41cpm	7cpm	0
A	55	1/1	1	60"arc	10.5D	16/19 cpm	18cpm	1BN
AT	62	1.2/1	1.5	60"arc	4D	7/8 cpm	12cpm	5BT
E	64	1/1-	1	30"arc	10D	18/13 cpm	14cpm	2BN
JL	65	1/1	1	60"arc	3.5D	8/10 cpm	13cpm	3BN
J	56	1/1	1	60"arc	11D	11/11 cpm	3cpm	3BT
L	58	1/1	1	60"arc	10D	16/14 cpm	10cpm	1BN
M	60	1.5/1.5	2	60"arc	9D	20/20 cpm	15cpm	4BN
Mi	60	1/1	1.2	60"arc	*	*	*	2BT
O	63	1/1	1	30"arc	9D	19/19 cpm	17cpm	2BN
P	60	1/1-	1	60"arc	8D	2/3 cpm	12cpm	4BN
T	60	1-/1-	1-	60"arc	11D	20/20 cpm	2cpm	2BN
U	60	1/1	1	60"arc	11D	19/23 cpm	12cpm	1BN
X	60	1/1	1	30"arc	10.5	13/13 cpm	21cpm	1BT
Y	61	1/1	1	60"arc	10	5/7 cpm	10cpm	2BN

OBS	FÒRIA (VP)	FÒRIA VP (-1.00D)	ACA	CRP (∇BT)	CRN (∇BN)	FLEX VER (∇BT)	FLEX VER (∇BN)	MEM
Ai	7BN	5BN	2D	14/17/8	x/15/5	0cpm	0cpm	+1.00/+0.75
Al	2BT	6BT	4D	21/31/14	x/12/8	3cpm	1cpm	+0.75/+0.75
A	10BT	17BT	7D	24/29/18	x/12/6	19cpm	4cpm	+1.50/+1.00
AT	3BT	10BT	5D	x/24/13	x/6/5	12cpm	3cpm	+0.75/+0.75
E	8BN	10BN	2D	8/27/22	6/15/6	17cpm	19cpm	+0.50/+0.50
JL	11BN	3BN	8D	18/32/26	x/12/10	23cpm	13cpm	+0.50/+0.75
J	1BN	5BT	6D	10/22/13	x/4/2	14cpm	4cpm	+0.75/+0.75
L	2BN	6BT	8D	18/22/12	x/8/2	14cpm	7cpm	+0.50/+0.75
M	11BN	10BN	1D	>40	x/8/6	22cpm	13cpm	+1.00/+1.00
Mi	10BN	7BN	3D	18/24/5	x/6/5	3cpm	4cpm	+1.50/+1.50
O	17BN	7BN	10D	18/24/18	x/6/2	18cpm	1cpm	Neutre AO
P	6BN	8BN	2D	12/30/12	10/12/17	15cpm	10cpm	+1.00/+0.25
T	2BN	3BT	5D	8/12/4	6/12/4	0cpm	11cpm	+0.75/+1.25
U	1BT	7BT	6D	20/22/10	x/10/4	17cpm	6cpm	+0.75/+0.50
X	1BN	6BT	5D	20/32/28	x/7/4	14cpm	0cpm	+1.00/+0.75
Y	5BT	8BT	3D	23/27/10	x/7/5	9cpm	1cpm	+0.75/+0.75

Taula 9 Resultats de les proves optomètriques per cadascun dels observadors

Cal dir, que pel que fa a la disparitat de fixació, tots els observadors tenen ortodisparitat.

(*) El pacient no té valors en les proves d’acomodació, per l’efecte de la presbícia.

Tot i que en algunes de les proves es troben valors fora de la normalitat, com ja s'ha comentat anteriorment, els únics criteris que es van tenir en compte per tal de participar en l'estudi eren: una bona agudesa visual en ambdós ulls i una estereoagudesa mínima de 120"arc. D'aquesta manera podem assegurar que els observadors podien visualitzar correctament el test.

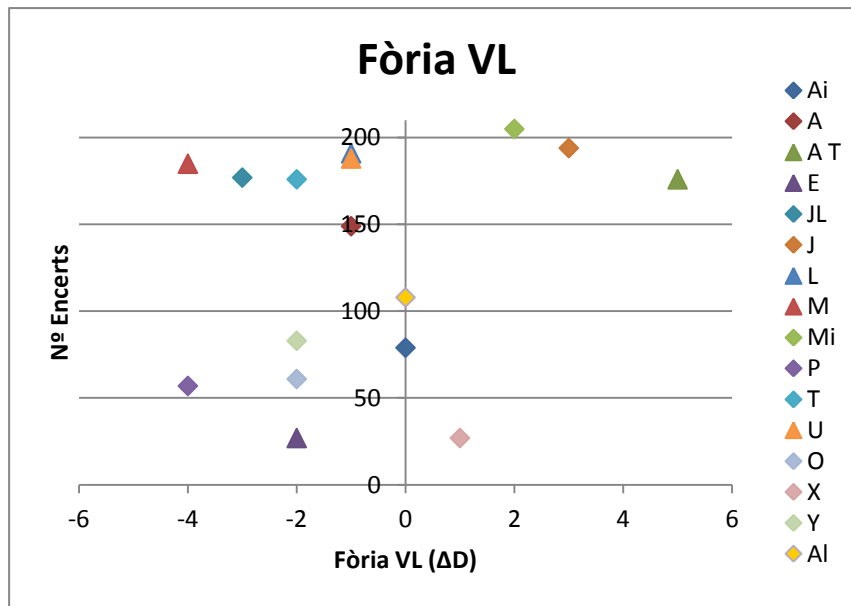
S'han analitzat els resultats per tal de veure si existeix alguna relació entre els resultats de les proves i el nombre d'encerts de cadascun dels observadors, mitjançant els gràfics que es poden veure a l'Annex 3.

En general, excepte en les heterofòries, no s'ha trobat cap tendència clara entre les proves realitzades i el nombre d'encerts dels observadors. Probablement es podria començar a trobar alguna tendència si s'utilitzés un test que s'estengués més en el temps (efecte de fatiga) amb separacions més extremes en les presentacions o bé un test sense descans entre presentació i presentació.

Segons estudis anteriors (Speranza et al. 2006), les disparitats retinals superiors a 1° comencen a causar incomoditat visual. Aquesta incomoditat s'acostuma a valorar subjectivament mitjançant un qüestionari, per exemple, en l'article "*The zone of comfort: Predicting visual discomfort with stereo displays*" (Shibata T et al. 2011) fa referència a "*the simulator sickness questionnaire (SSQ)*" creat per Kennedy et al. 1993. En el nostre estudi, la incomoditat visual es tradueix en una disminució del nombre d'encerts.

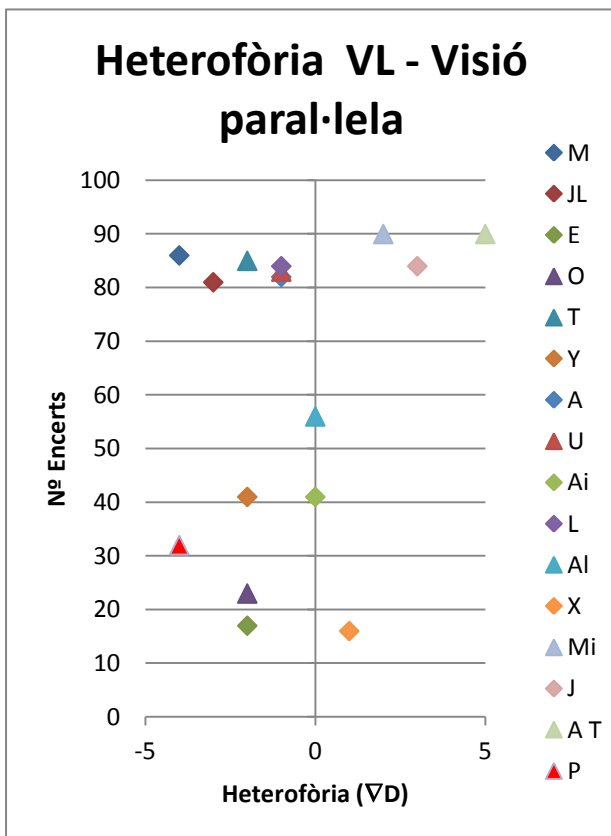
A més d'aquest criteri de confort visual, n'existeixen d'altres que s'analitzaran amb un cert detall en l'apartat següent. Pel que fa al nostre test, només hi ha una presentació amb 3.900"arc la qual supera el límit de confort de 1° i, per altra banda, tots els estímuls es troben dins de les zones de confort que s'analitzen més endavant.

Pensem que aquest fet pot explicar la manca de relacions clares entre les característiques optomètriques dels nostres observadors i el nombre d'encerts que obtenien al test.

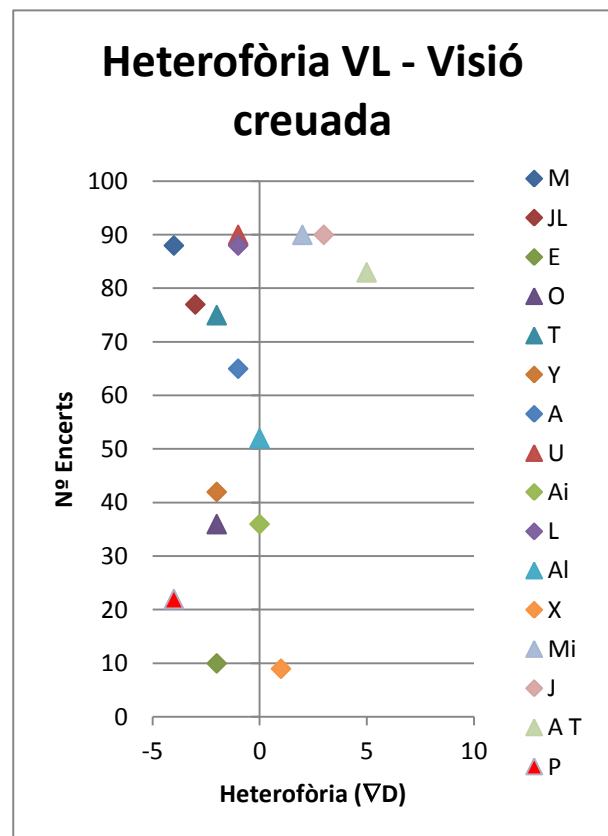


Gràfic 1 Relació heterofòria i nombre d'encerts dels pacients

Pel que fa a les heterofòries, mirant el Gràfic 1 es pot veure clarament que hi ha 4 endofòrics, dels quals 3 d'ells tenen un nombre elevat d'encerts i 1 d'ells té un nombre baix d'encerts. Els exofòrics tenen clarament comportaments diversos entre ells, de manera que 6 d'ells han obtingut un nombre elevat d'encerts, però pel contrari, 4 d'ells no han obtingut tant bons resultats.



Gràfic 2 Relació heterofòria en projeccions de percepció paral·lela i nombre d'encerts dels pacients



Gràfic 3 Relació heterofòria en projeccions de percepció creuada i nombre d'encerts dels pacients

S'ha fet una diferenciació d'aquests nombres d'encerts per pacient tenint en compte si estaven davant de presentacions amb percepció creuada o paral·lela; els resultats són els que es presenten a la Taula 7 i gràficament es veu en el Gràfic 2 i Gràfic 3.

Aquests gràfics mostren que els pacients endofòrics tenen un elevat nombre d'encerts, tant en percepció creuada com en paral·lela, tot i que en general tenen major nombre d'encerts en percepció paral·lela. Pel que fa als pacients exofòrics, es pot veure que en general el nombre d'encerts disminueix en les presentacions de percepció creuada.

S'ha fet una comprovació estadística per veure si existeixen diferències significatives entre el nombre total d'encerts dels observadors endofòrics i els exofòrics. En aquest cas, s'ha utilitzat el mètode de l'aproximació per la normal, ja que la mostra és prou nombrosa (1944 encerts totals).

Total Encerts exofòrics	Total Encerts endofòrics	Total Encerts
1207	552	1944

Taula 10 Encerts totals i encerts totals segons heterofòria

Igual que amb la prova exacta de Fisher, per a descartar la hipòtesi nul·la amb aquest mètode, també es basa en el P-valor i s'utilitza el mateix nivell de significació $\alpha = 0,05$.

El mètode de l'aproximació per la normal ha donat un P-valor = 0, això significa que existeixen diferències significatives entre els encerts de pacients exofòrics i endofòrics. Els gràfics anteriors ja posen en manifest que, d'una mostra en la que 10 pacients són exofòrics i 4 endofòrics, només un d'aquests quatre endofòrics presenta una proporció baixa d'encerts, mentre que en els altres tres tenen unes proporcions pròximes al 90%. Els altres 10 exofòrics reparteixen més les seves proporcions d'encerts entre valors baixos i alts.

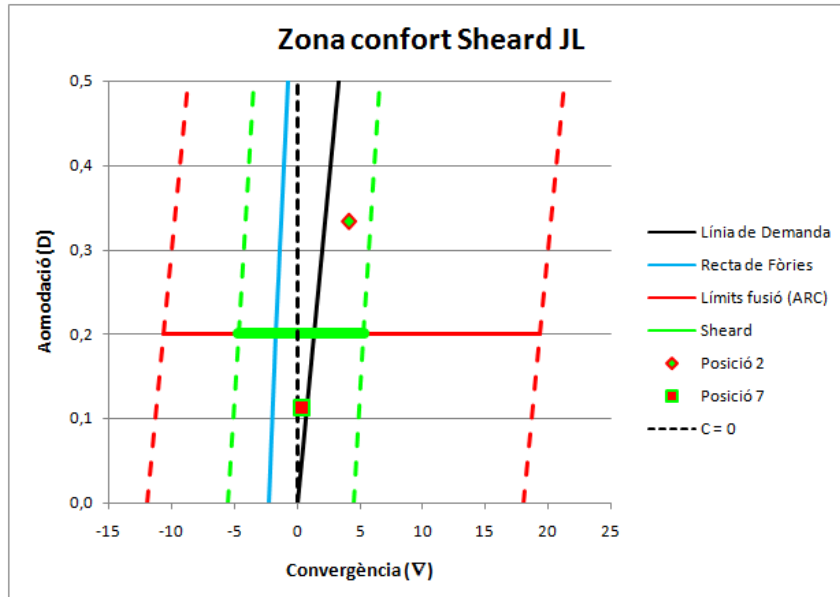
Admetent que la mostra sigui representativa de la població analitzada (16 observadors), s'observa que la proporció d'exofòrics (62'5%) és significativament més gran que d'endofòrics (25%) amb P-valor = 0,037. Per poder fer una comparació més acurada, es caldria una mostra més equilibrada.

4.3. ZONES DE CONFORT DE CADA OBSERVADOR

Cadascuna de les posicions des de les quals els pacients visualitzaran el test, requereix una acomodació i una convergència determinada, els valors de la qual variaran entre els pacients per la influència de la DIP. A més, gràcies a les separacions dels cercles grans (vermell i blau), cada presentació provoca un canvi en la convergència requerida per cada posició, d'aquesta manera es permet situar la convergència i l'acomodació en dos plans diferents i així proporcionar sensació de profunditat.

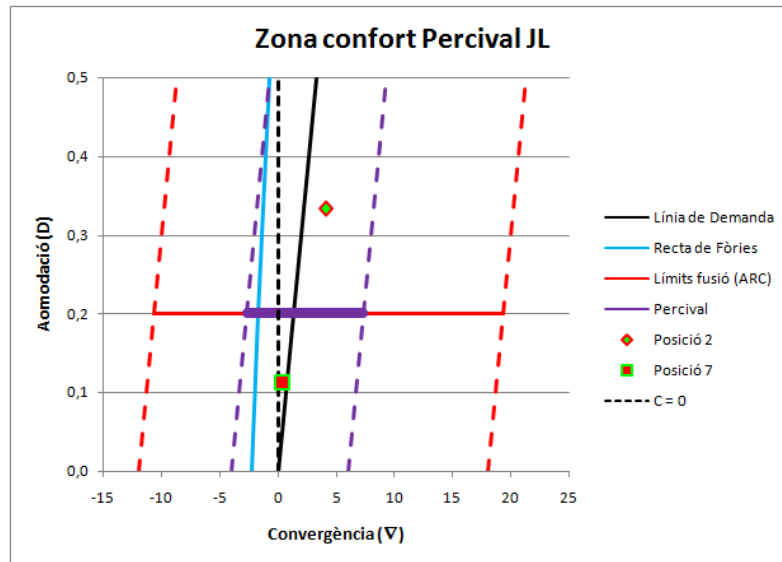
S'han estudiat les zones de confort per cadascun dels pacients segons els mètodes de Sheard i Percival.

- *Zona de confort de Sheard*: té en compte l'heterofòria del pacient, per tant la seva zona de confort serà paral·lela a la recta de les fòries. Partint de la recta de les fòries, el límit de la zona de confort pel costat esquerre vindrà determinat per 1/3 de la CFN, i 1/3 de la CFP donarà el límit pel costat dret.



Gràfic 4 Exemple zona de confort de Sheard en pacient exofòric

- *Zona de confort de Percival*: no té en compte l'heterofòria del pacient, per tant la seva zona de confort serà paral·lela a la línia de demanda. Partint d'aquesta línia de demanda, el límit de la zona de confort pel costat esquerre vindrà determinat per 1/3 de la CRN, i 1/3 de la CRP donarà el límit pel costat dret.



Gràfic 5 Exemple zona de confort de Percival en pacient exofòric

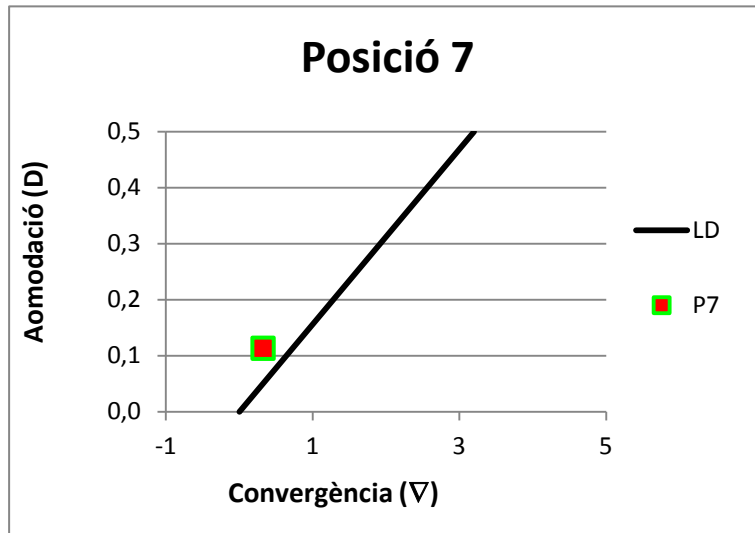
Al Gràfic 4 i Gràfic 5 s’hi representa, per un dels observadors la zona de visió binocular simple i nítida (més ampla i compresa entre les línies discontinues en vermell) i, respectivament, les zones de confort de Sheard i Percival (més estretes i compreses entre les línies discontinues verdes en cas de Sheard o liles en Percival). En aquests gràfics també hi apareixen els punts convergència – acomodació corresponents a dos dels estímuls utilitzats.

El punt corresponent a la visualització del cercle petit, es troba en un punt de la línia de demanda en qualsevol posició i presentació. És per això que en els gràfics on es representen les zones de confort no està representat.

Els punts corresponents a la visualització del cercle gran, varien segons la posició i la presentació en la qual es troba el pacient. Per aquest motiu s’han escollit dues posicions i dues presentacions per tal d’estudiar les situacions més extremes, una amb la major i l’altre amb la menor convergència possible, la resta no s’han representat per tal de fer més entenedors els gràfics.

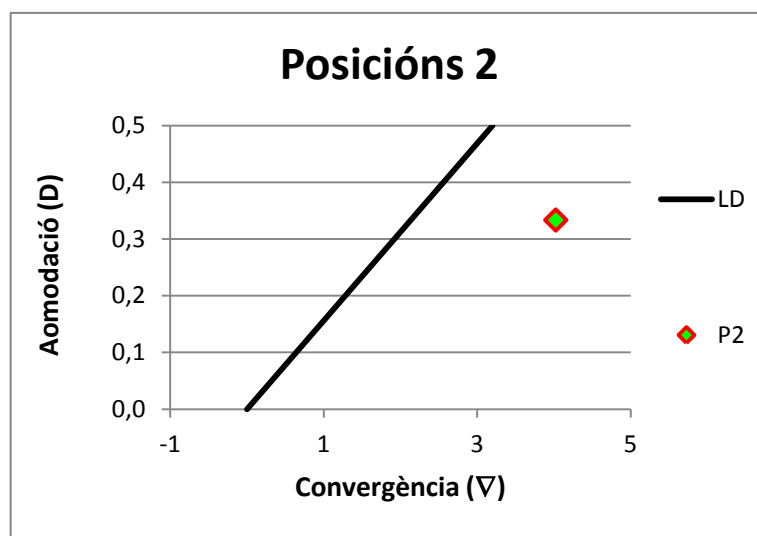
S’ha utilitzat la posició amb màxima distància a la pantalla (posició 7) i la presentació amb major separació paral·lela (presentació 15) per l’estudi de la *mínima convergència* en la nostra sala. Així doncs, trobem que el punt corresponent a la visualització del cercle gran queda a

l'esquerra de la línia de demanda, ja que requereix menys convergència i menys acomodació que les requerides per veure el cercle petit sobre la pantalla. Tot i així no queda massa separat de la línia de demanda perquè la separació entre els cercles és baixa i la distància del pacient a la pantalla és alta.



Gràfic 6 Representació gràfica de la presentació 15 (separació paral·lela 4,538 mm) des de la posició 7 respecte línia de demanda

Per altra banda, s'ha utilitzat la mínima distància a la pantalla (posició 2) i la presentació amb major separació creuada (presentació 23) per l'estudi de la *màxima convergència* en la nostra sala. Així doncs, trobem que en aquest cas, el punt corresponent a la visualització del cercle gran queda a la dreta de la línia de demanda, ja que requereix més convergència i més acomodació que les requerides per visualitzar el cercle petit sobre la pantalla.



Gràfic 7 Representació gràfica de la presentació 23 (separació creuada 5,672 mm) des de la posició 2 respecte línia de demanda

Els gràfics com el Gràfic 4 i Gràfic 5 corresponents a cada observador es troben a l'Annex 4. A continuació es mostra una taula on es pot veure un resum extret dels gràfics de tots els pacients.

Observador	Zona Percival	Zona Sheard	Fòria VL	
M	Dins	Dins	-4	Exofòrics
P	Dins	Posició 2 Fora	-4	
J L	Dins	Dins	-3	
È	Dins	Posició 2 Fora	-2	
O	Dins	Dins	-2	
T	Dins	Posició 2 Fora	-2	
Y	Dins	Dins	-2	
A	Dins	Dins	-1	
L	Dins	Dins	-1	
U	Dins	Dins	-1	
Al	Dins	Dins	0	Ortofòrics
Ai	Dins	Dins	0	
X	Dins	Dins	1	Endofòrics
Mi	Dins	Posició 7 Fora	2	
J	Dins	Posició 7 Fora	3	
A T	Dins	Posició 7 Fora	5	

Taula 11 Resum dels gràfics de zona de confort de Percival i Sheard

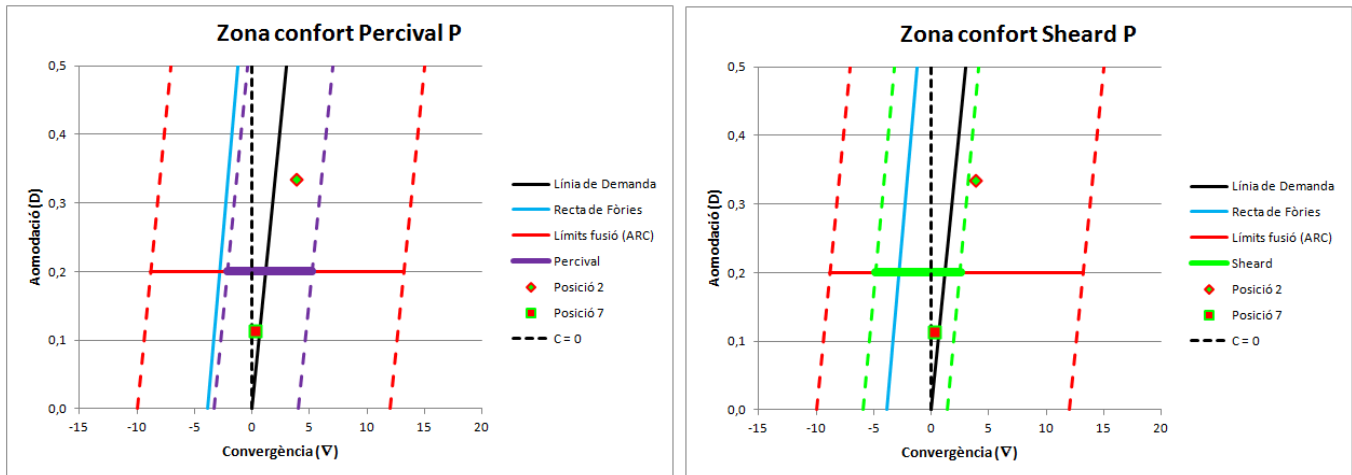
Es destaquen en vermell els pacients pels quals algun dels estímuls visualitzats queden fora de la seva zona de confort en alguna de les posicions.

Els dos estímuls extrems considerats es troben dins de la zona de Percival per tots els observadors ja que tots els estímuls es troben molt propers a la línia de demanda, i com ja hem comentat abans, la zona de confort de Percival queda paral·lela a la línia de demanda perquè no té en compte el valor de la heterofòria del pacient.

En canvi, s'esperava que algun dels estímuls quedés fora de la zona de confort de Sheard per algun observador, ja que en aquest cas, aquesta zona és paral·lela a la recta de les fòries, això provoca que aquesta zona quedi desplaçada cap a la dreta o cap a l'esquerra, segons la heterofòria de l'observador.

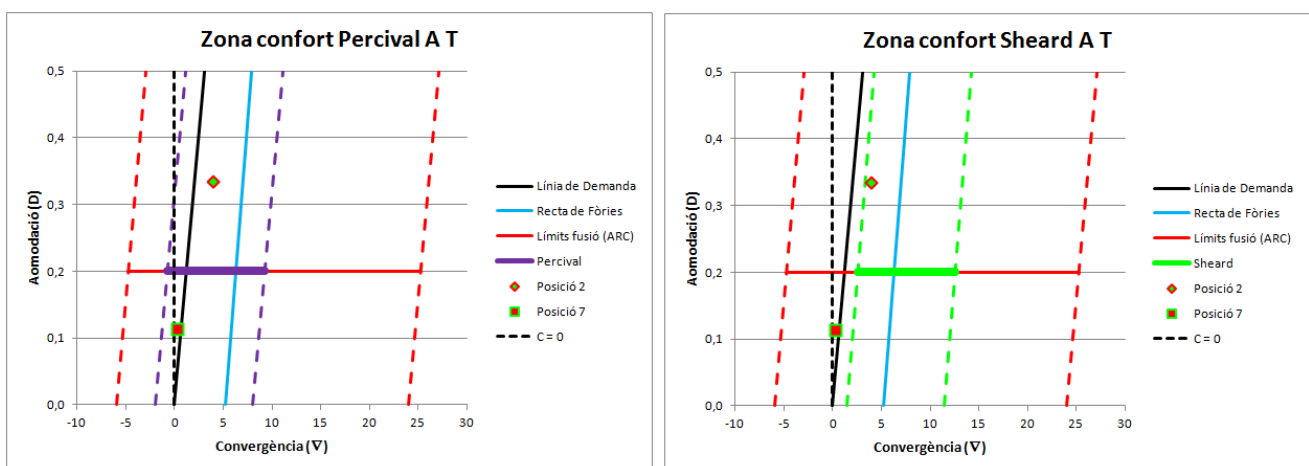
Com es pot veure a la Taula 11 hi ha 6 pacients (marcats en vermell) pels quals l'estímul visualitzat es troba fora de la seva zona de confort de Sheard. A continuació es mostra un exemple dels gràfics on es representa la zona de confort per un pacient endofòric i un exofòric, on l'estímul visualitzat es troba fora de la seva zona de confort de Sheard.

En exofòrics la recta de les fòries sempre queda desplaçada a l'esquerra de la línia de demanda. El punt corresponent a la presentació 23 des de la posició 2 es troba fora de la zona de confort d'alguns dels pacients (3 pacients), sobretot en els pacients que presenten majors valors d'exofòria.



Gràfic 8 Exemples zones de confort Percival i Sheard per a observador exofòric de 4V

En endofòrics la recta de les fòries sempre queda desplaçada a la dreta de la línia de demanda. El punt corresponent a la presentació 15 des de la posició 7 es troba fora de la zona de confort d'alguns dels pacients (3 pacients), sobretot en els pacients que presenten majors valors d'endofòria.



Gràfic 9 Exemples zones de confort Percival i Sheard per a observador endofòric de 5V

5. CONCLUSIONS I PERSPECTIVES FUTURES

La creixent popularitat del cinema en tres dimensions possibilita veure pel·lícules en la seva màxima esplendor. No obstant això, no totes les persones poden gaudir d'aquesta sofisticada tècnica, ja que segons el degà del Col·legi Nacional d'Òptics - Optometristes, Juan Carlos Martínez Moral (2010), "hi ha alguns problemes visuals, bastant freqüents, que poden impedir que certes persones gaudeixin realment l'efecte 3D, ja que fins i tot aquesta tècnica pot arribar a provocar visió doble, marejos, etc."

La quantitat d'articles respecte la visió tridimensional i la fatiga visual que suposa per alguns dels observadors, han estat el desencadenant d'aquest estudi; Factors que influeixen en la visualització 3D en una sala de projecció. Dividit en tres projectes: l'estímul, l'observador i les posicions.

En aquesta part s'han estudiat els diferents observadors, tenint en compte les seves característiques optomètriques. Primer de tot s'ha analitzat la capacitat dels observadors per veure en 3D mitjançant un test amb estímuls anàglifs. També s'ha analitzat la relació entre el nombre d'encerts i els resultats de diferents proves optomètriques. Finalment, s'han analitzat les zones de confort segons Percival i Sheard per a cadascun dels observadors.

5.1. CONCLUSIONS NOMBRE ENCERTS SEGONS PERCEPCIÓ

Com ja hem fet referència en el punt 4.1, la *lleï de la bona forma* (Oviedo GL. 2004) indica que el cervell intenta organitzar els elements que percep de la forma més simple, preferint les formes integrades, completes i estables. Per això, en el test utilitzat, la fixació de l'observador se centra en el cercle central (cercle fix) i no en el cercle perifèric (cercle variable) que és el que proporciona la percepció de profunditat, ja que el cercle central és el més senzill i estable. L'observador té tendència a pensar que el cercle petit és el variable.

És per això que creiem, que els resultats obtinguts respecte la percepció paral·lela i la creuada amb el test utilitzat són contraris a altres estudis, com per exemple; "Crossed and uncrossed stereoacuity at distance and the effect from heterophoria" (Lam AK et al. 2002) que fa referència a que en general la percepció creuada resulta més fàcil que la paral·lela.

Les diferències significatives que s'han trobat entre el nombre d'encerts per percepcions creuades i paral·leles en 6 dels pacients, són justificables pel valor de l'heterofòria, ja que en casos d'endofòries facilita la percepció creuada i en canvi en casos d'exofòria la dificulta.

5.2. CONCLUSIONS PROVES OPTOMÈTRIQUES

No s'ha trobat cap tendència clara respecte la relació que existeix entre els resultats de les proves optomètriques i el nombre d'encerts de cadascun dels observadors, excepte en les heterofòries.

En els resultats de les heterofòries, s'ha trobat que els observadors endofòrics en general tenen un elevat nombre d'encerts, en canvi els exofòrics presenten més variacions. Si s'analitzen les presentacions en percepció creuada i percepció paral·lela per separat, es pot veure clarament que en la majoria d'exofòrics el nombre d'encerts disminueix en les presentacions de percepció creuada. Aquesta disminució es deu a la dificultat per realitzar la convergència requerida per aquestes presentacions.

Pel que fa els endofòrics, el nombre d'encerts és semblant tant en percepció creuada com paral·lela, tot i que en general tenen major nombre d'encerts en percepció paral·lela.

Existeixen diferències estadísticament significatives entre els encerts d'observadors exofòrics i endofòrics. Això era d'esperar, ja que tenim una mostra en la que 10 observadors són exofòrics i 4 endofòrics. Per poder fer una comparació més acurada, es necessita una mostra més equilibrada.

Probablement, per trobar alguna altra relació entre el nombre d'encerts dels observadors i els resultats de les seves proves optomètriques, utilitzant un test que s'estengués més en el temps (efecte de fatiga) amb separacions més extremes en les presentacions o bé un test sense descans entre presentació i presentació.

5.3. CONCLUSIONS ZONA DE CONFORT DE CADA OBSERVADOR

La zona de visió simple i nítida ens dona informació del grau de flexibilitat del sistema binocular en la relació Convergència – Acomodació de cadascun dels pacients. En aquest apartat s'ha estudiat les zones de confort de Sheard i Percival. D'aquesta manera es pot analitzar si els estímuls presentats als observadors es troben dins de la seva zona de confort en les diferents posicions.

S'ha vist que tots els estímuls presentats als observadors estan dins de la zona de confort de Percival, ja que totes les presentacions estan properes a la línia de demanda i la zona de confort de Percival és paral·lela a aquesta.

Existeixen 6 pacients en els quals els estímuls presentats estan fora de la zona de confort de Sheard, ja que aquesta zona és paral·lela a la recta de les fòries, situada a la dreta o a l'esquerra de la línia de demanda segons l'heterofòria del pacient.

Per una banda, 3 en observadors exofòrics el punt corresponent a la presentació 23 des de la posició 2 es troba fora de la zona de confort de Sheard, ja que aquesta posició és la que requereix la màxima convergència.

D'altra banda, en 3 observadors endofòrics el punt corresponent a la presentació 15 des de la posició 7, es troba fora de la zona de confort de Sheard, ja que aquesta posició és la que requereix més la mínima convergència.

Aquests sis pacients, tot i tenir els estímuls fora de la seva zona de confort, tenen un elevat nombre d'encerts. com ja he dit abans, utilitzant un test que s'estengués més en el temps (efecte de fatiga) amb separacions més extremes en les presentacions o bé un test sense descans entre presentació i presentació, probablement es trobaria una disminució en els seus encerts.

5.4. CONCLUSIONS GENERALS

Les principals conclusions que es poden extreure d'aquest estudi són:

- Exceptuant les heterofòries, amb aquest test els resultats de les proves optomètriques no mostren relació amb el rendiment visual dels observadors.
- En general les presentacions de percepció paral·lela es visualitzen millor que les de percepció creuada i la geometria de l'estímul explica aquesta diferència respecte altres estudis.
- Es compleix que la condició d'heterofòria més habitual en la població analitzada és l'exofòria.
- Les presentacions utilitzades es troben dins de la zona de confort de la majoria d'observadors del nostre estudi.
- Admetent la representativitat de la mostra, el test utilitzat en aquest treball seria visualitzat confortablement per la majoria de la població amb la AV = 1 (corregida) i AVE inferior a 120"arc.

5.5. PERSPECTIVES FUTURES

Degut a la limitació en el temps que aquest estudi porta associada, existeixen una gran quantitat de treballs que podrien realitzar-se a partir d'aquest:

En primer lloc s'hauria de realitzar l'estudi amb una mostra més gran i equilibrada entre pacients exofòrics i endofòrics, d'aquesta manera es podrien fer comparacions més acurades entre aquests.

D'altra banda, com hem comentat, es podria utilitzar un test més llarg utilitzant presentacions amb separacions més extremes. Així, es podria comprovar què passa amb els pacients als quals se'ls presenten estímuls que estan fora de la seva zona de confort de Sheard.

També es podria canviar el test, situant els cercles un al costat de l'altre enlloc de tenir dos cercles concèntrics, així es pot evitar *la llei de bona forma* comentada anteriorment i alhora, es podria passar qüestionari "*the simulator sickness questionnaire (SSQ)*" creat per Kennedy et al. 1993 per tal de valorar subjectivament la fatiga visual dels observadors.

Per últim, es podria realitzar un test amb més estímuls superiors a 1°, d'aquesta manera es podria trobar el límit de disparitat que permet una visualització còmoda al pacient sense proporcionar-li fatiga visual.

6. IMPLICACIONS ÈTIQUES, LEGALS I DE PROTECCIÓ DE DADES

Aquesta memòria ha estat realitzada tenint en compte la "Ley Orgánica 15/1999, de 13 de Diciembre, de protección de datos de carácter personal" que garanteix i protegeix, pel que fa al tractament de les dades personals, les llibertats públiques i els drets fonamentals de les persones físiques, i especialment del seu honor i intimitat personal i familiar.

7. BIBLIOGRAFIA

ÁLVAREZ AL, PULGARÍN CA. *Relación acomodación convergencia por acomodación (AC/A) con el método del gradiente en un pequeño grupo poblacional de la ciudad de Pereira*. Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular. 2007(8):29-36.

ANTONA PEÑALBA B. *Fiabilidad intraexaminador y concordancia de pruebas clínicas de evaluación de la visión binocular*. 2010.

BORRAS R, GISPETS J, ONDATEGUI JC, PACHECO M, SÁNCHEZ E, VARÓN C. *Visión binocular, diagnóstico y tratamiento*. Ediciones UPC; 1998.

CARPENTE RECOUSO A, ALBELAPEREZ D. *Visión en 3D*. A Coruña: Facultad de Informática de la Universidad de A Coruña; 2012.

EBERT R. *Why 3D doesn't work and never will. Case closed*. Chicago Sun Times: <http://www.rogerebert.com/rogers-journal/why-3d-doesnt-work-and-never-will-case-closed>. 23 de gener 2011.

GONZÁLEZ CASTRO P, NÚÑEZ PÉREZ JC, VALLEJO G. *Autoconcepto y su relación con la alineación de los ejes visuales*. Psicothema. 1998; 10(2):413-22.

HOFFMAN DM, GIRSHICK AR, AKELEY K, BANKS MS. *Vergence–accommodation conflicts hinder visual performance and cause visual fatigue*. Journal of vision. 2008; 8(3).

JIMENEZ R, JIMÉNEZ J.R, GONZÁLEZ R, POZO A.M. *Importancia de la estereopsis en la vida cotidiana*. Gaceta Óptica. Mayo. 2006 (404):10-12

KENNEDY RS, LANE NE, BERBAUM KS, LILIENTHAL MG. *Simulator sickness questionnaire: An enhanced method for quantifying simulator sickness*. The international journal of aviation psychology. 1993;3(3):203-20.

LAM AK, TSE P, CHOY E, CHUNG M. *Crossed and uncrossed stereoacuity at distance and the effect from heterophoria*. Ophthalmic and Physiological Optics. 2002; 22(3):189-93.

LAMBOOIJ M, FORTUIN M, HEYNDERICKX I, IJSSELSTEIJN W. *Visual discomfort and visual fatigue of stereoscopic displays: a review*. J Imaging Sci Technol. 2009;53(3):30201-1,30201-14.

- MARTIN V, VECILLA G. *Manual de optometría*. Madrid: Médica Panamericana; 2011.
- MEDRANO SM. *Métodos de diagnóstico del estado acomodativo*. Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular. 2008(10):87-96.
- ORGÁNICA L. Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal. BOE de. 1999;14.
- OVIEDO GL. *La definición del concepto de percepción en psicología con base en la teoría Gestalt*. Revista de estudios sociales. 2004 (18):89-98.
- PALOMO ÁLVAREZ C. *Habilidades visuales en niños y niñas de Educación Primaria con problemas de lectura e influencia de un filtro amarillo en la visión y la lectura*. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2010.
- PEREA J. *Estrabismos*. 2ª Edición Toledo: Artes Gráficas de Toledo; 2008.
- PONS A, MARTÍNEZ F. *Fundamentos de visión binocular*. València: Publicaciones de la universitat de València; 2004.
- PUELL M. *Óptica fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular*. Madrid: Complutense; 2006.
- ROMERO MARTÍNEZ LC. *Comparación del LAG de acomodación medido con las técnicas de NOTT y MEM, en niños entre 6 y 12 años de edad en la clínica de Optometría de la Universidad de La Salle*. Bogotá: Universidad de la Salle; 2010.
- SHIBATA T, KIM J, HOFFMAN DM, BANKS MS. *The zone of comfort: Predicting visual discomfort with stereo displays*. Journal of vision. 2011;11(8):1-29.
- SILVA LMD. *El examen analítico y su importancia clínica. Método de análisis gráfico*. Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular. 2007(8):93-104.
- SPERANZA F, TAM WJ, RENAUD R, HUR N. *Effect of disparity and motion on visual comfort of stereoscopic images*. International Society for Optics and Photonics; 2006; p. 60550B, 60550B-10.
- TÀPIES, M; ÁLVAREZ, J.L. *Visió Binocular*. <http://ocw.upc.edu/curs/20281/259>. 2010.

UKAI K, HOWARTH PA. *Visual fatigue caused by viewing stereoscopic motion images: Background, theories, and observations*. Displays. 2008;29(2):106-16.

VILLA-LASO L. *Estudio de la agudeza visual estereoscòpica i su evolucion en el niño*. Universidad Internacional de la Rioja; 2012.

WOO G. C, SILLANPAA, V. (1979). *Absolute stereoscopic thresholds as measured by crossed and uncrossed disparities*. Am. J. Optom. Physiol. Opt. 56, 350–355.

ZOTTOLA-PAREJA DA. *Estereoscopia de dos colores, anaglifos*. Revista Estudiantil Nacional de Ingeniería y Arquitectura. RNPS 2359.ISSN 2307-471X. 2011; 2(2):55.

AEOPTOMETRISTAS, *El 3D no causa trastornos, pero revela problemas*
Available: <http://www.aeoptometristas.es/wordpress/?p=3959> [11/18, 2013].

INSTITUTO DE MICROCIRUGÍA OCULAR, *Cómo desarrollamos la visión estereoscópica*.
Available:<http://www.imo.es/2011/07/13/como-desarrollamos-la-vision-estereoscopica/#.UsYLLfTuJ7x>[07/13/ 2011].

INSTITUTO DE MICROCIRUGÍA OCULAR, *Los defectos en la visión binocular afectan a más de 5 millones de españoles, un 12% de la población*. Available: <http://www.imo.es/2012/03/22/los-defectos-en-la-vision-binocular-afectan-a-millones-de-espanoles/#.UsYJXvTuJ7x> [03/22, 2012].

LONGITUD DE ONDA, *3D más que un problema, un síntoma*.
Available: <http://www.longituedeonda.com/index.php/3d-mas-que-un-problema-un-sintoma/> [05/11, 2011].

8. ANNEXOS

ANNEX 1: FULL DE RESPOSTES DEL TEST PRESENTAT ALS OBSERVADORS

FULL DE RESPOSTES

- Abans de respondre, marcar la versió que s'està responent i la posició.
- Anotar l'identificador de la persona que fa el test.
- Identificar prèviament cada posició amb el nombre corresponent al mapa.

VERSIÓ:

A	B	C
---	---	---

POSICIÓ:

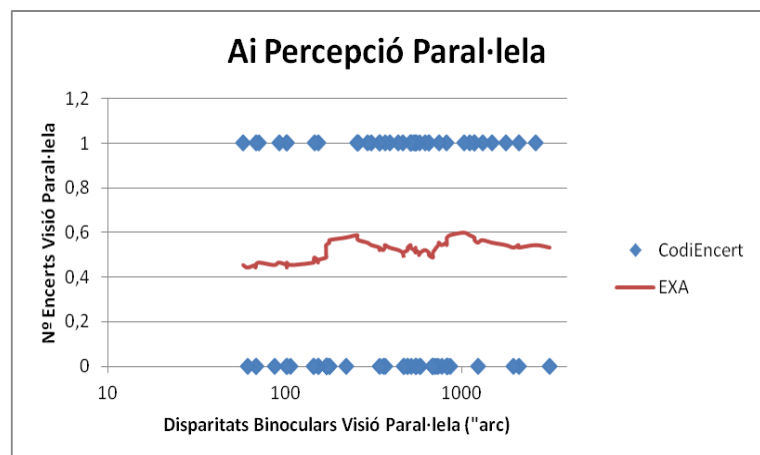
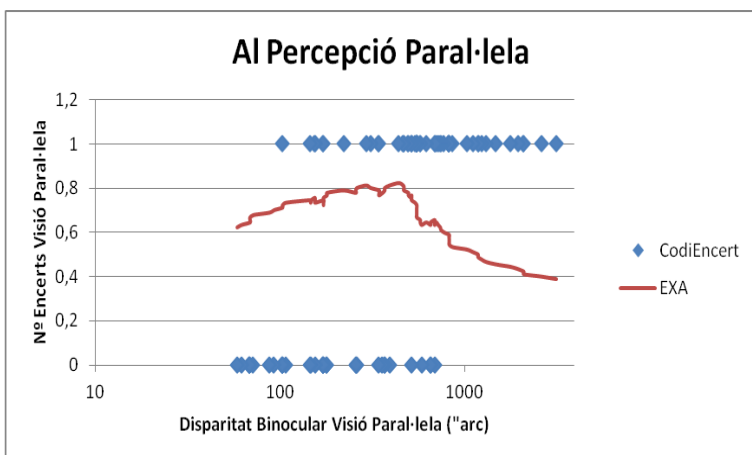
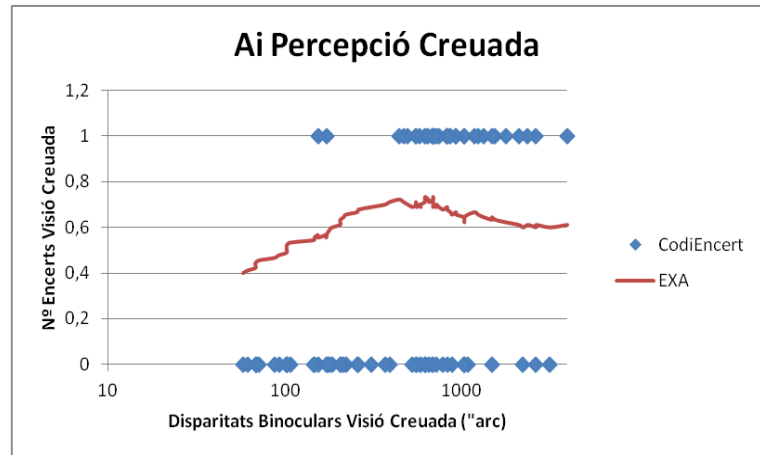
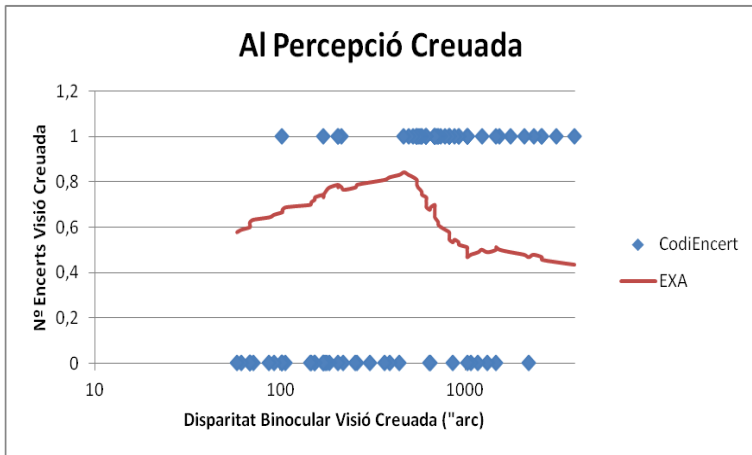
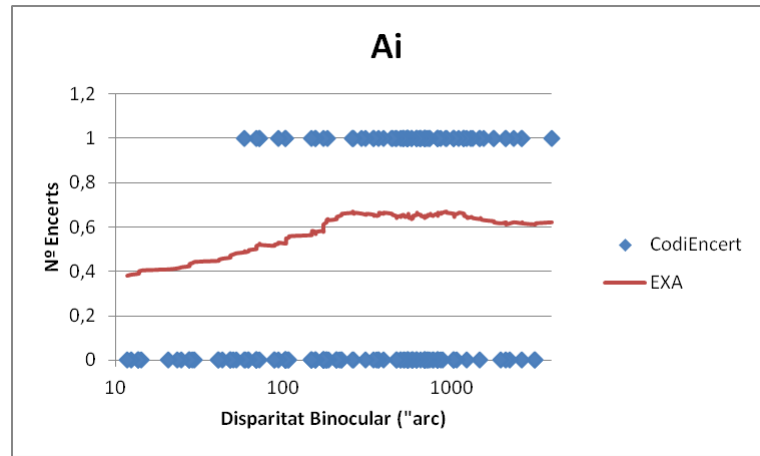
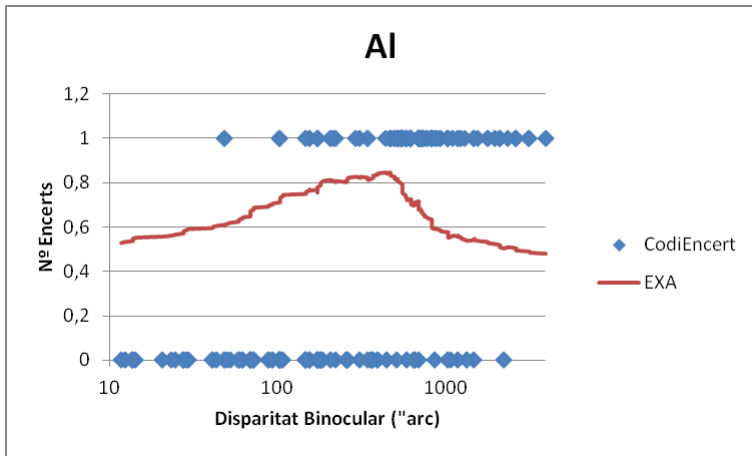
1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

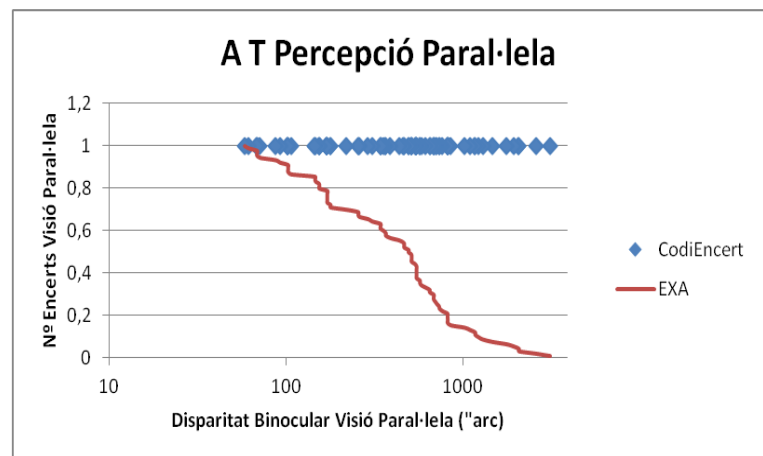
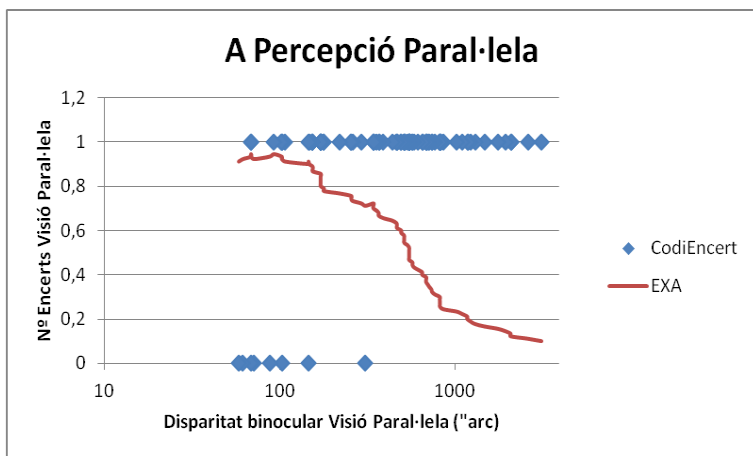
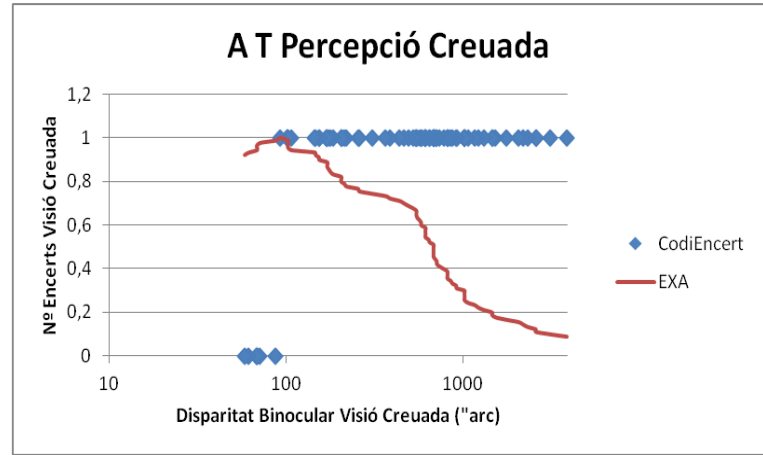
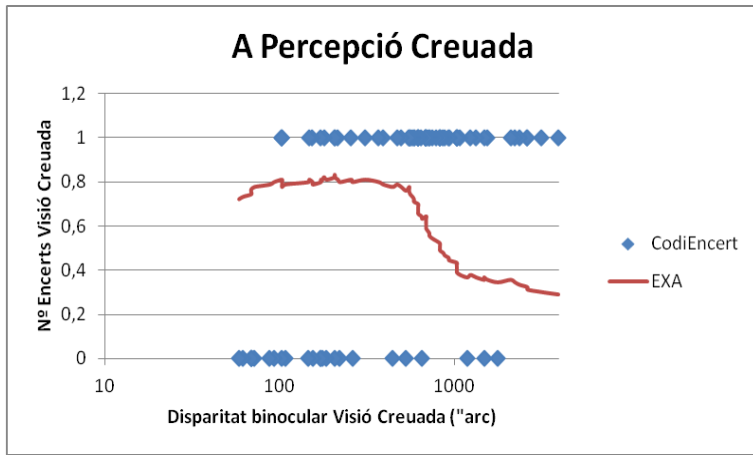
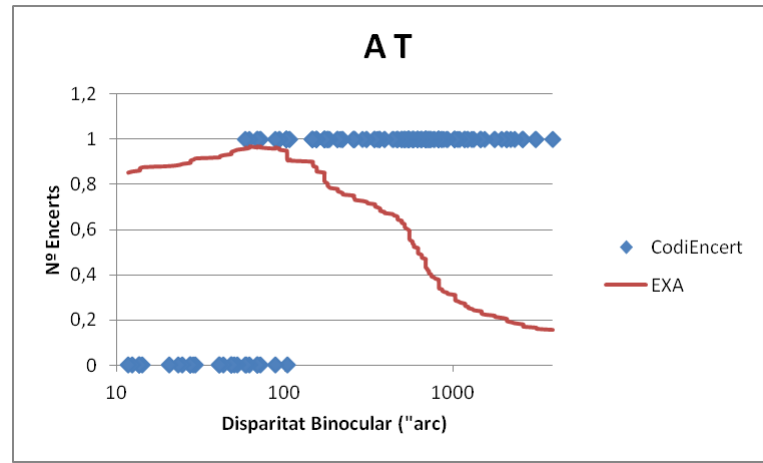
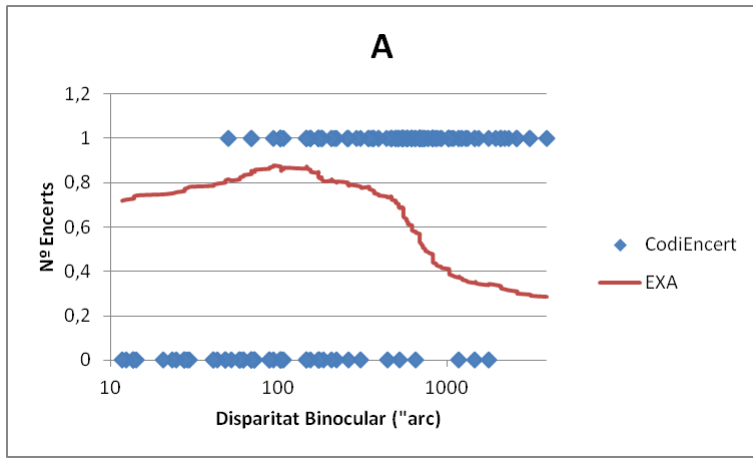
Identificador: _____

	Profunditat		Profunditat
1		13	
2		14	
3		15	
4		16	
5		17	
6		18	
7		19	
8		20	
9		21	
10		22	
11		23	
12		24	

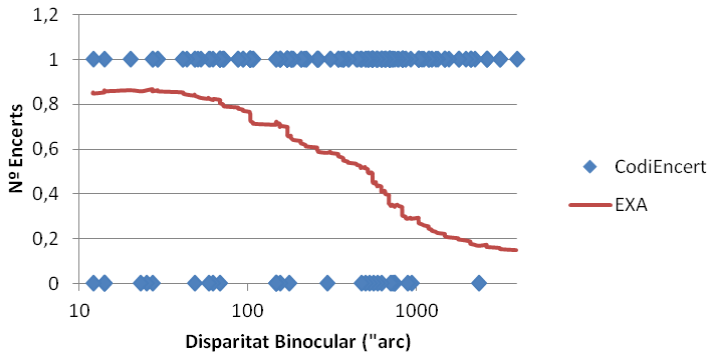
***A la columna "Profunditat" s'ha d'indicar com es percep el cercle petit respecte el gran:
lluny (L), prop (P) o igual (I).**

ANNEX 2: GRÀFICS NOMBRE TOTAL D'ENCERTS I EXACTITUD PER PACIENT

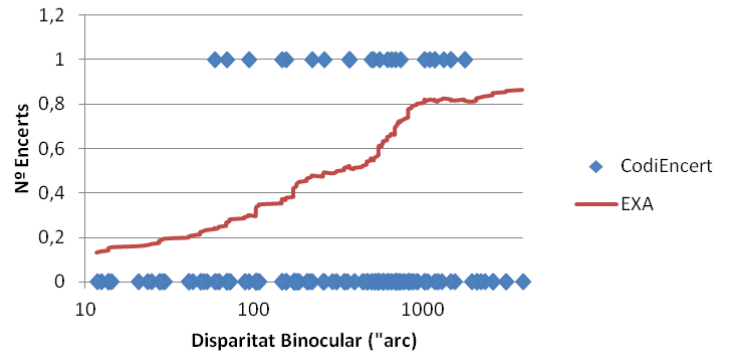




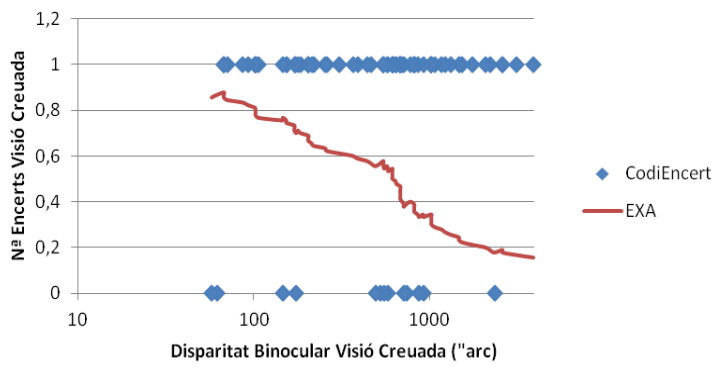
JL



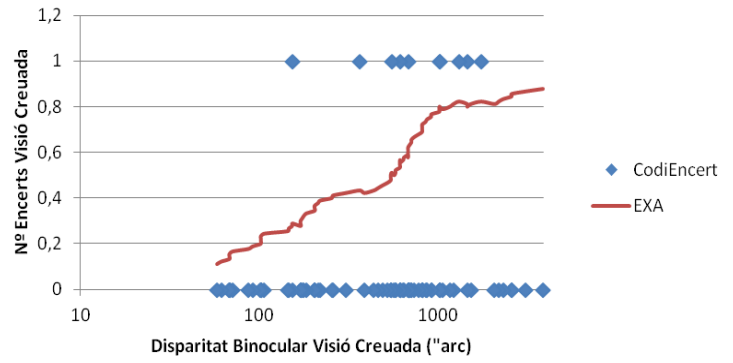
È



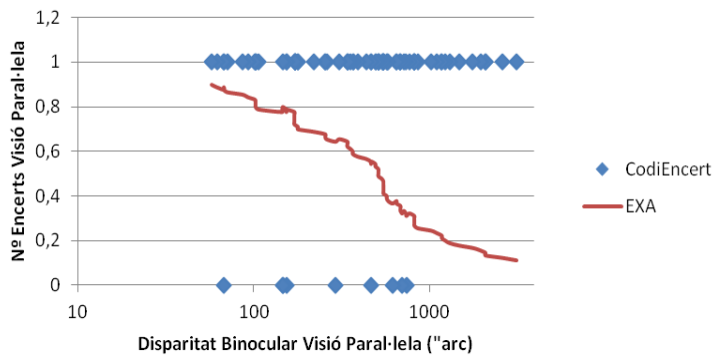
JL Percepció Creuada



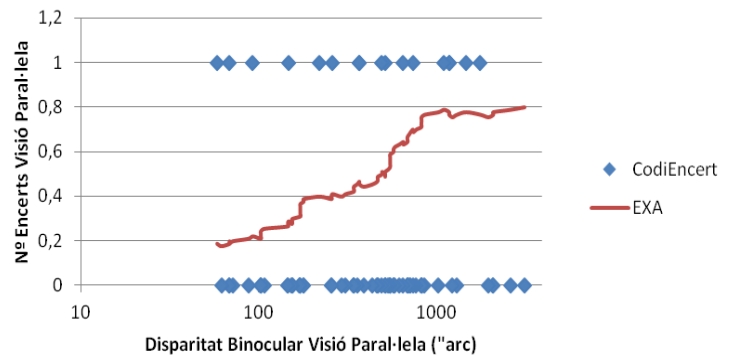
È Percepció Creuada

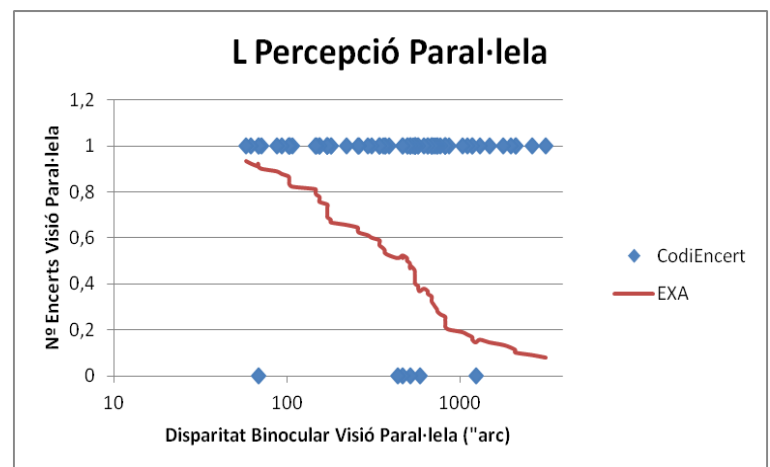
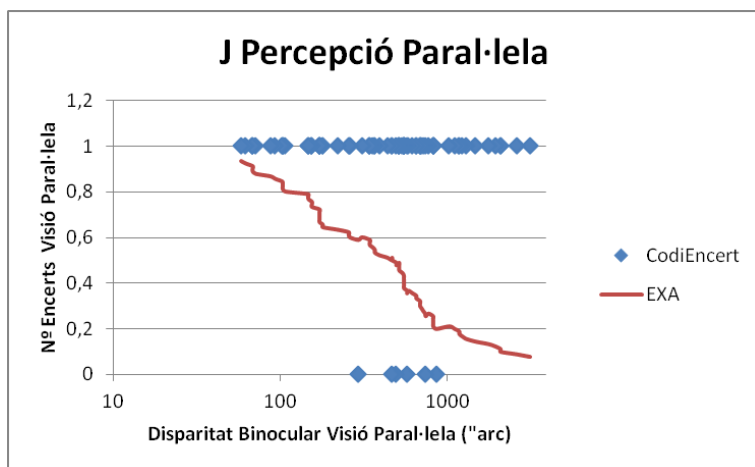
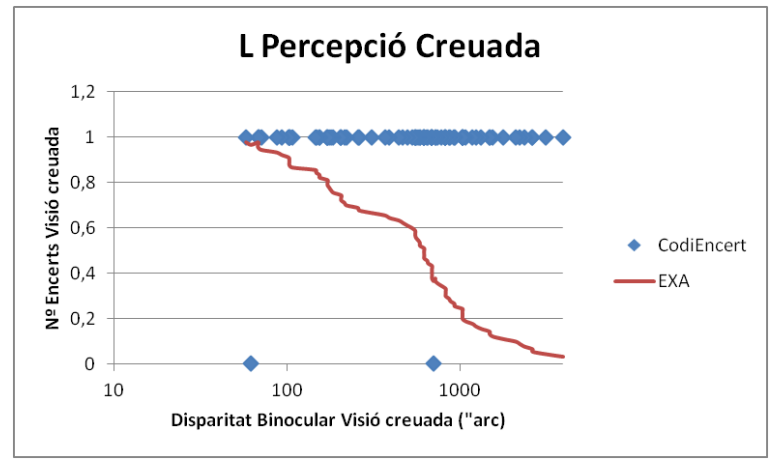
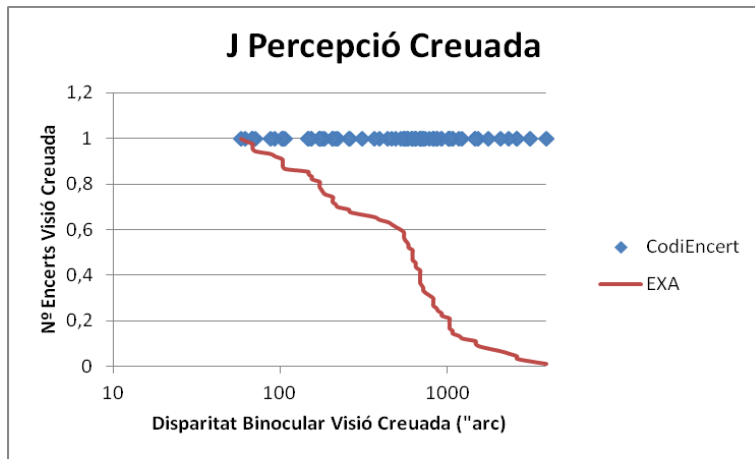
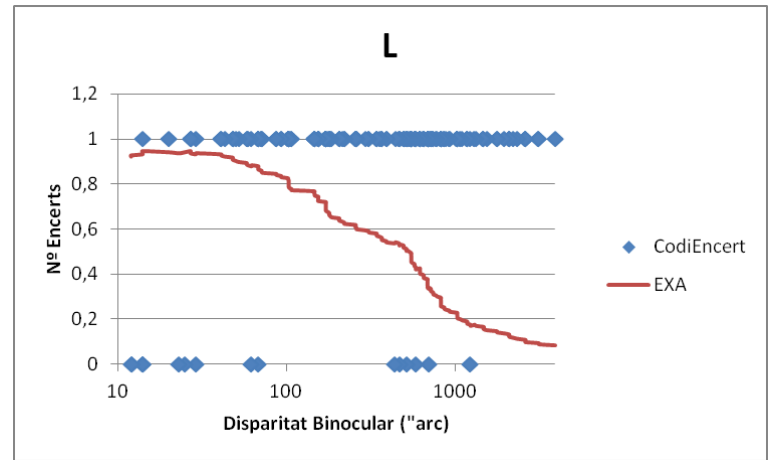
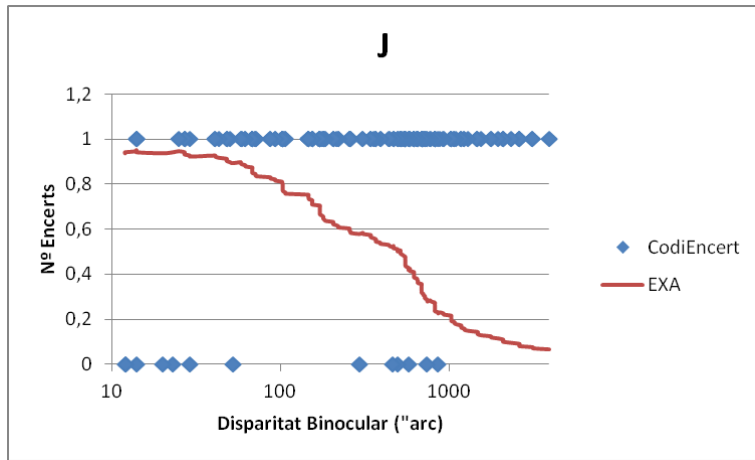


JL Percepció Paral·lela

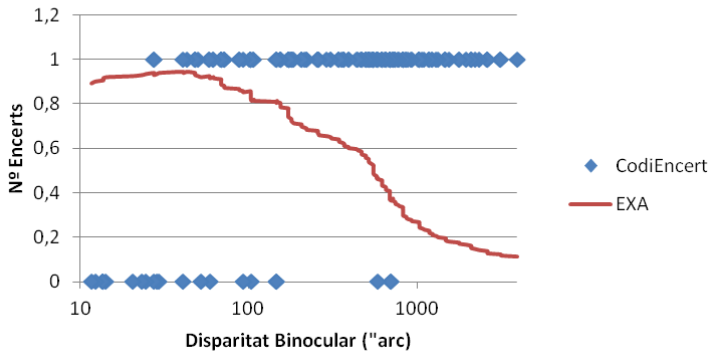


È Percepció Paral·lela

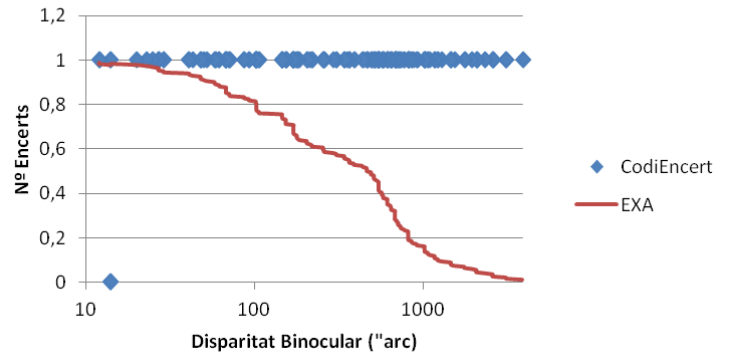




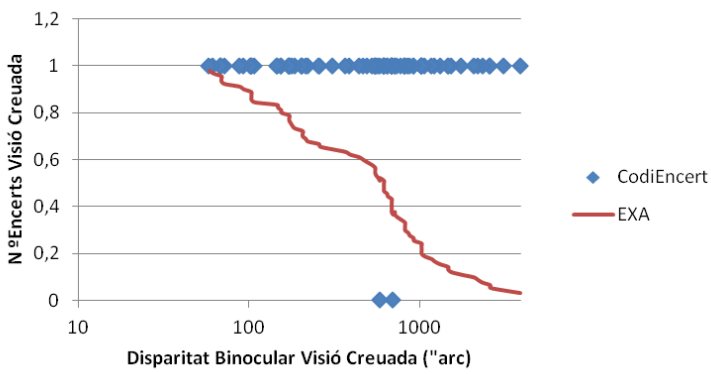
M



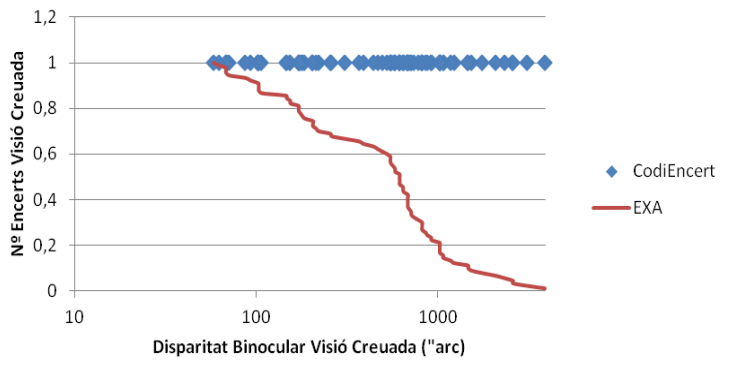
Mi



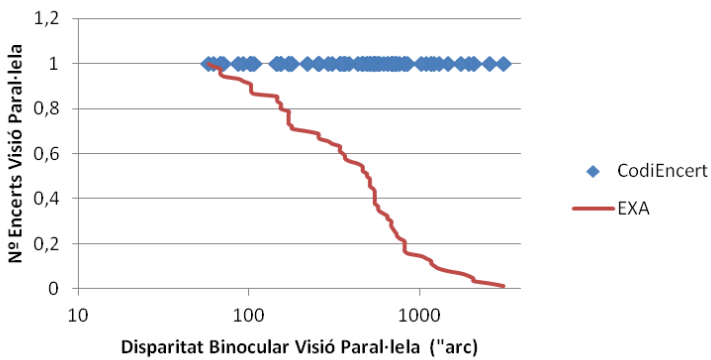
M Percepció Creuada



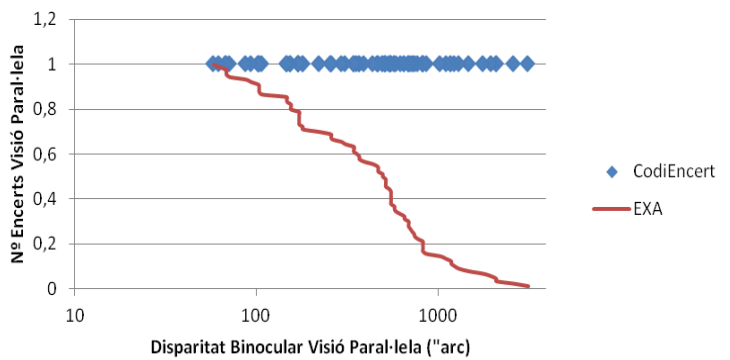
Mi Percepció Creuada

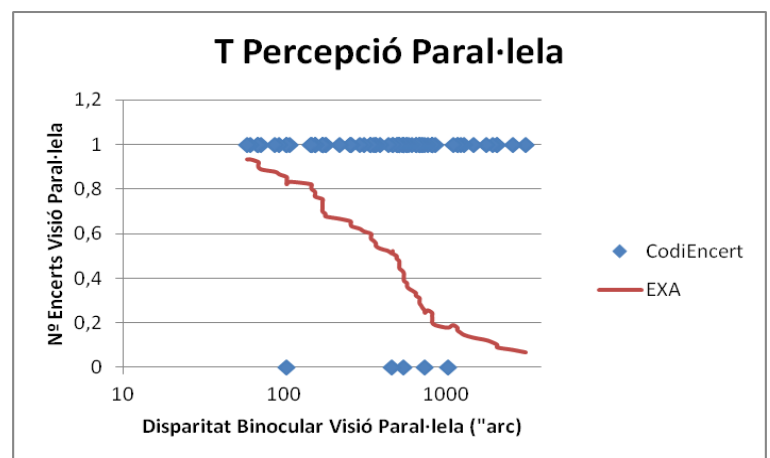
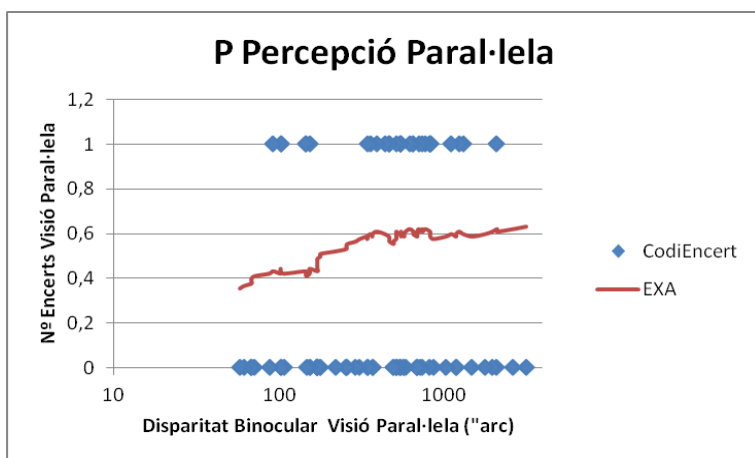
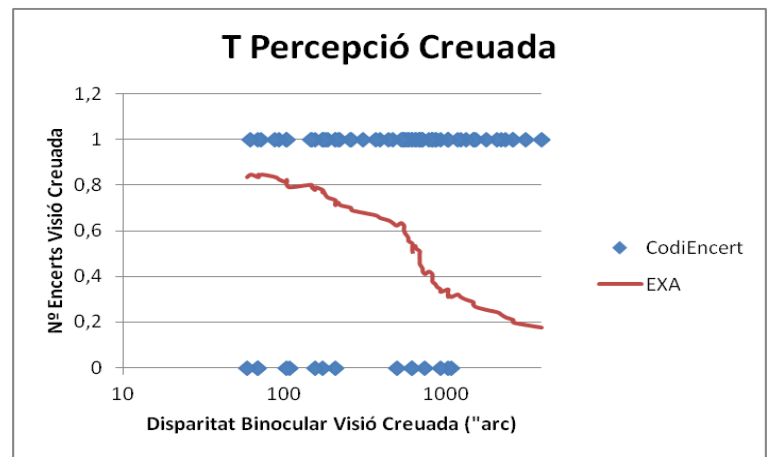
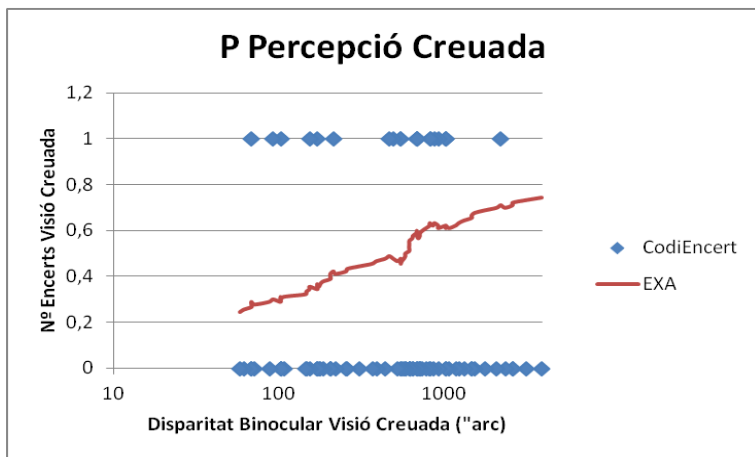
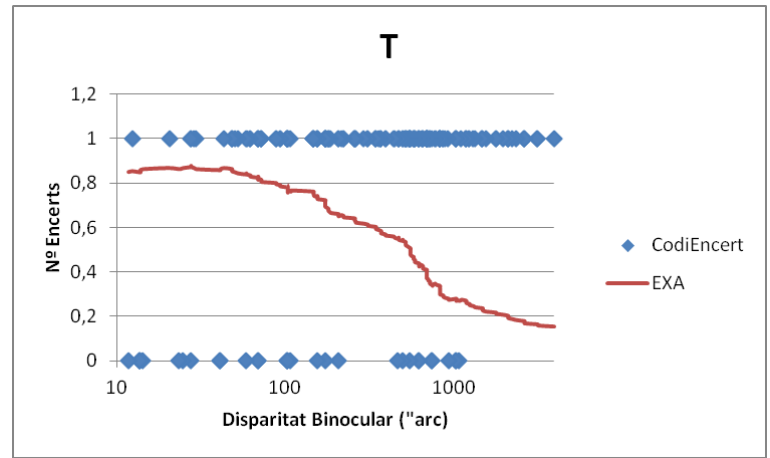
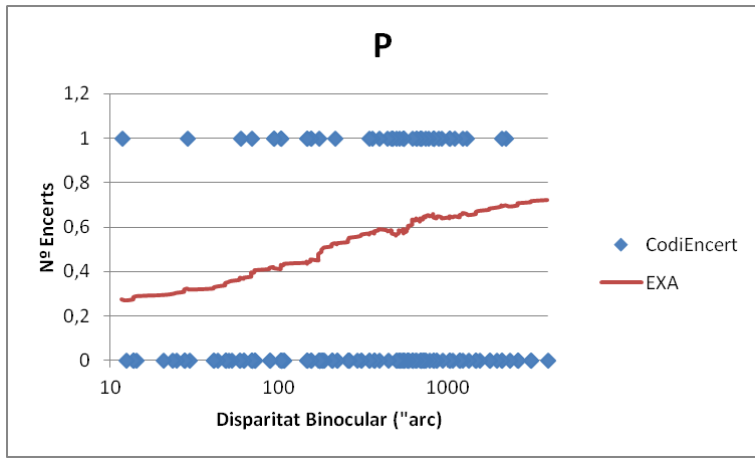


M Percepció Paral·lela

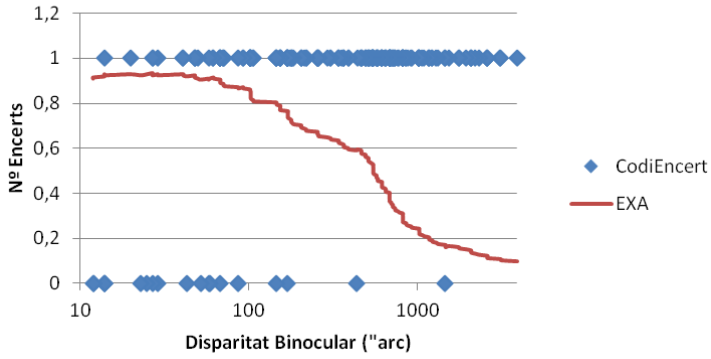


Mi Percepció Paral·lela

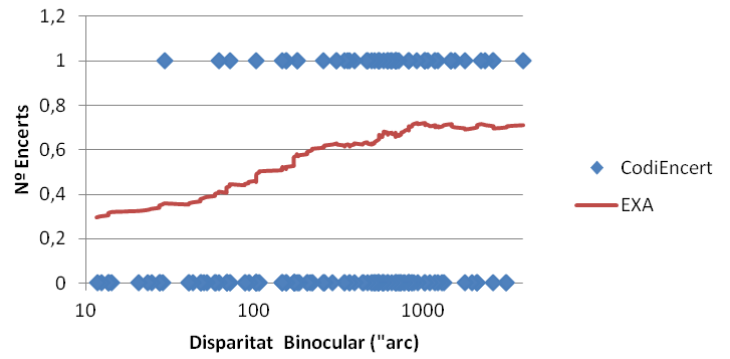




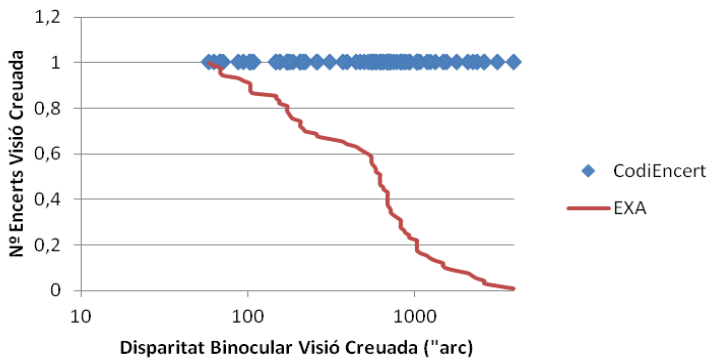
U



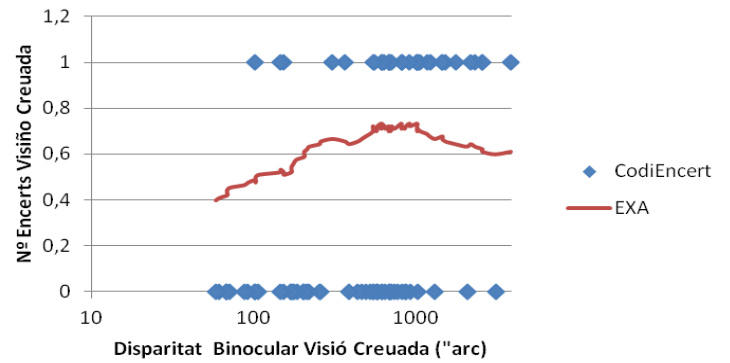
O



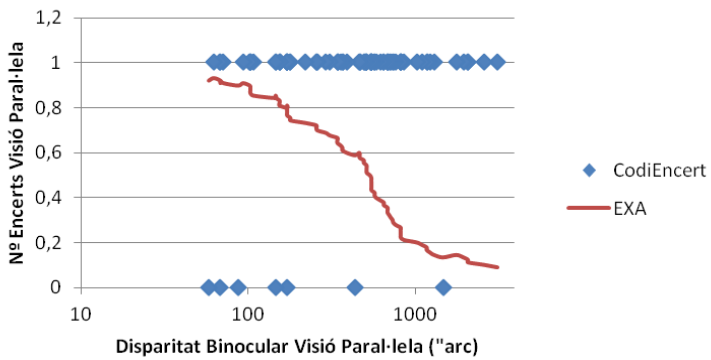
U Percepció Creuada



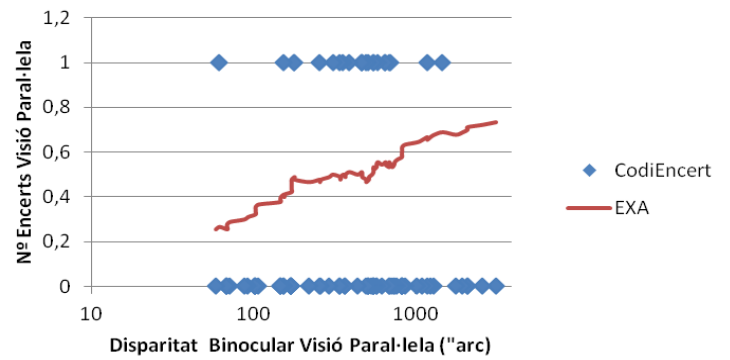
O Percepció Creuada

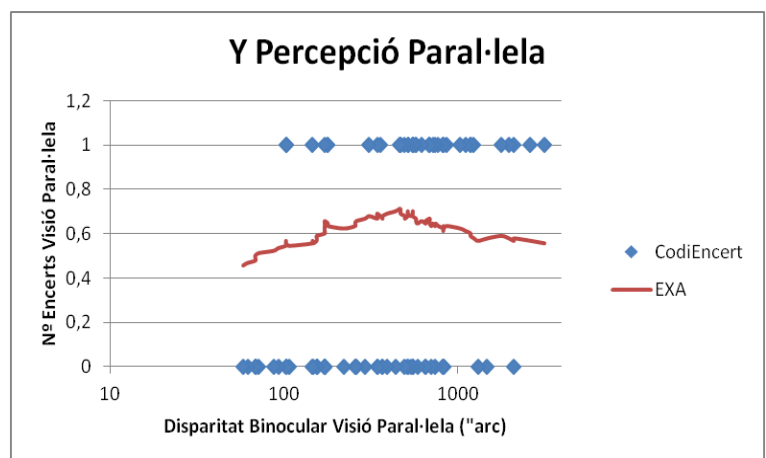
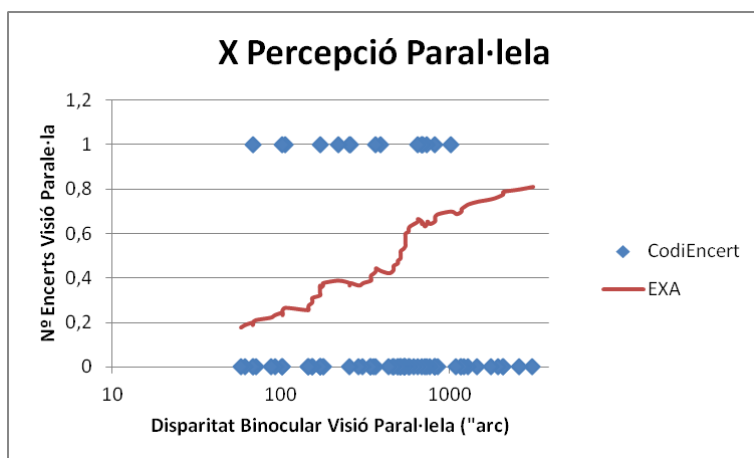
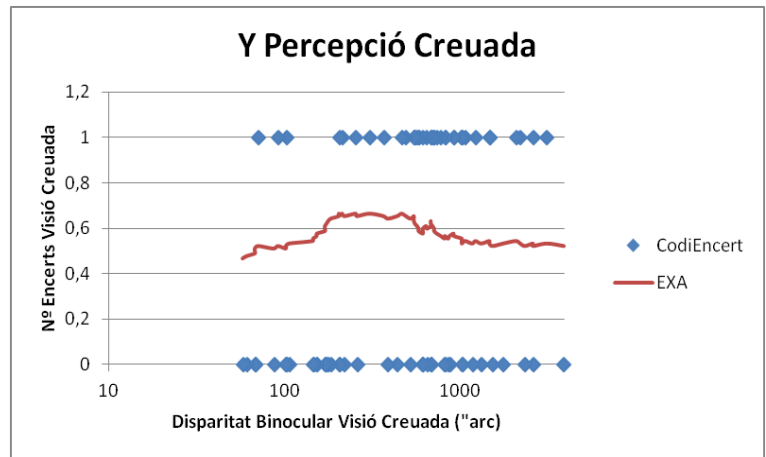
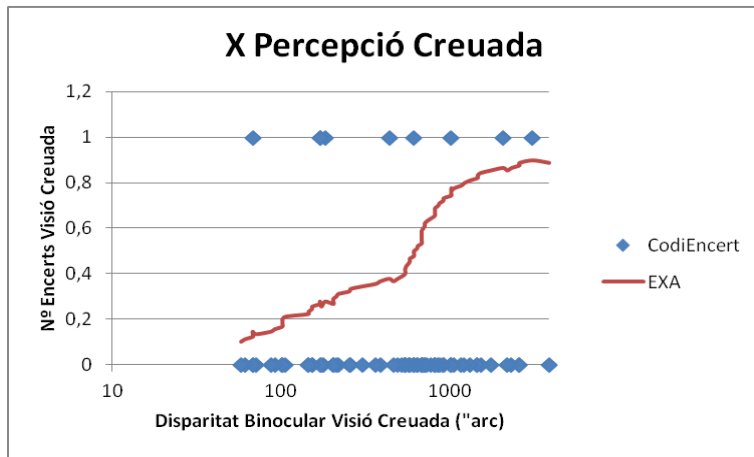
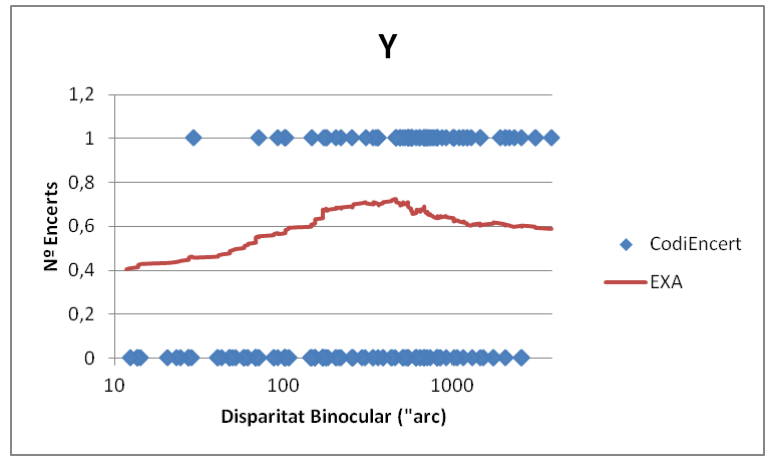
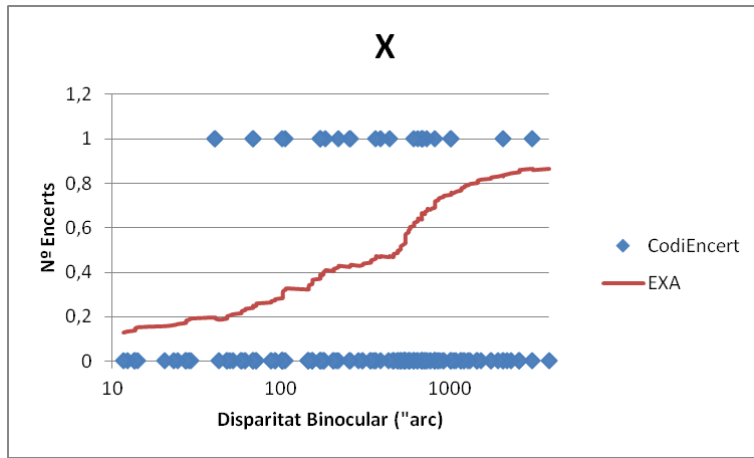


U Percepció Paral·lela

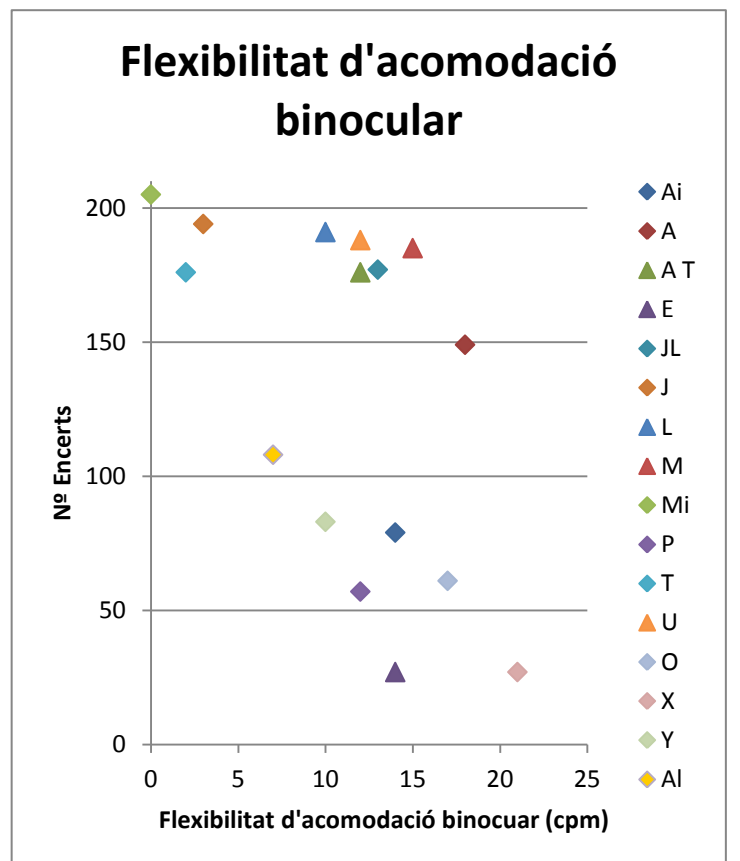
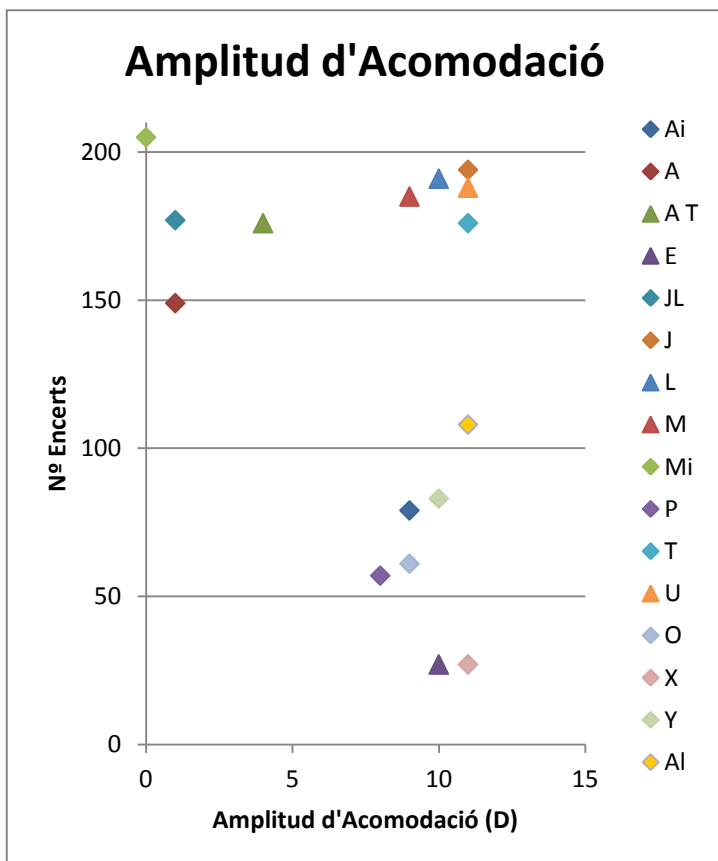
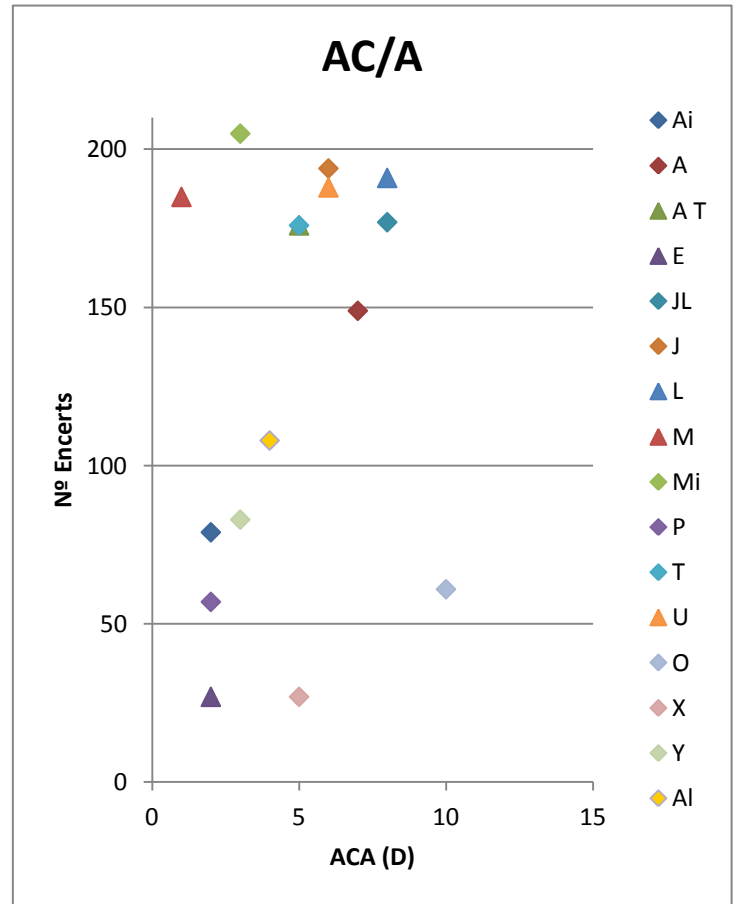
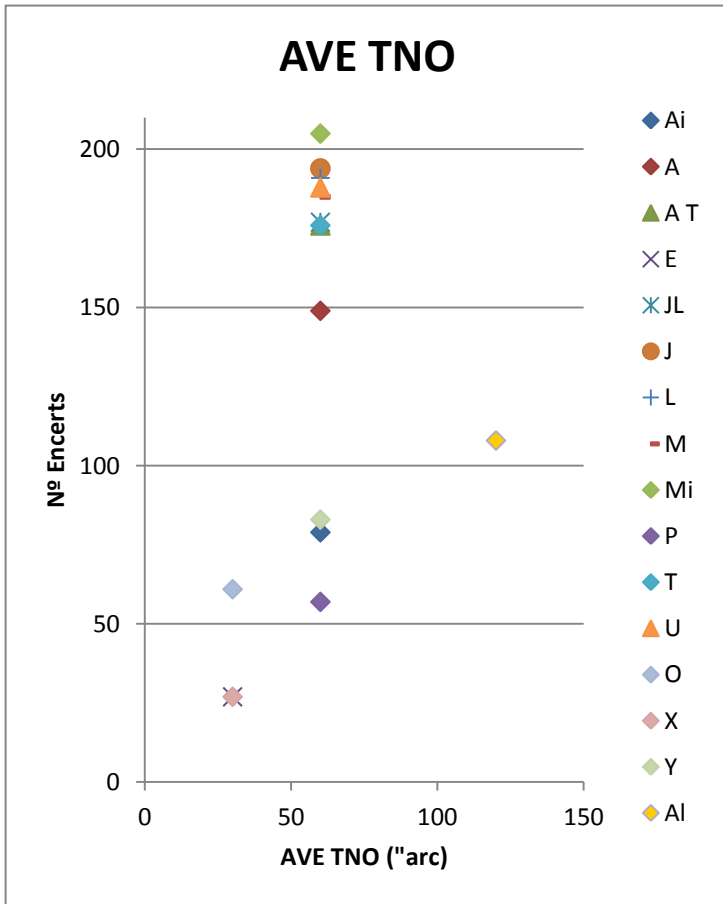


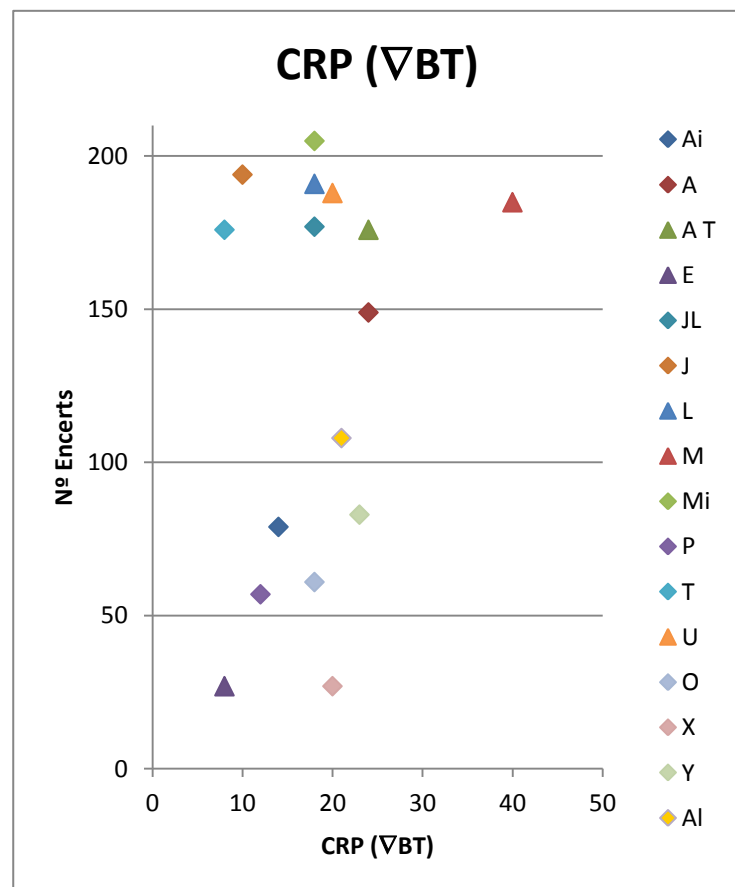
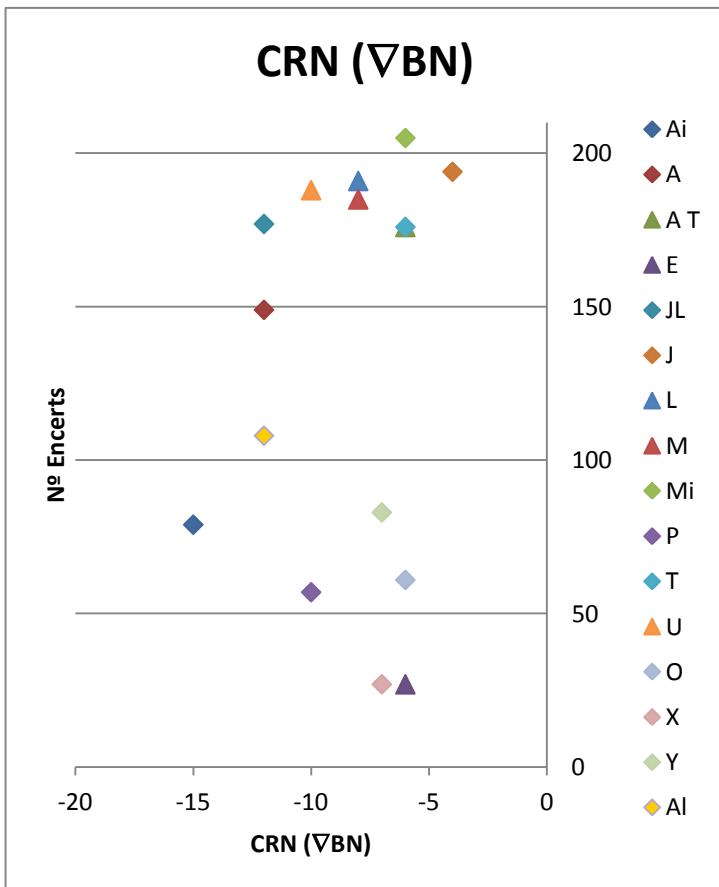
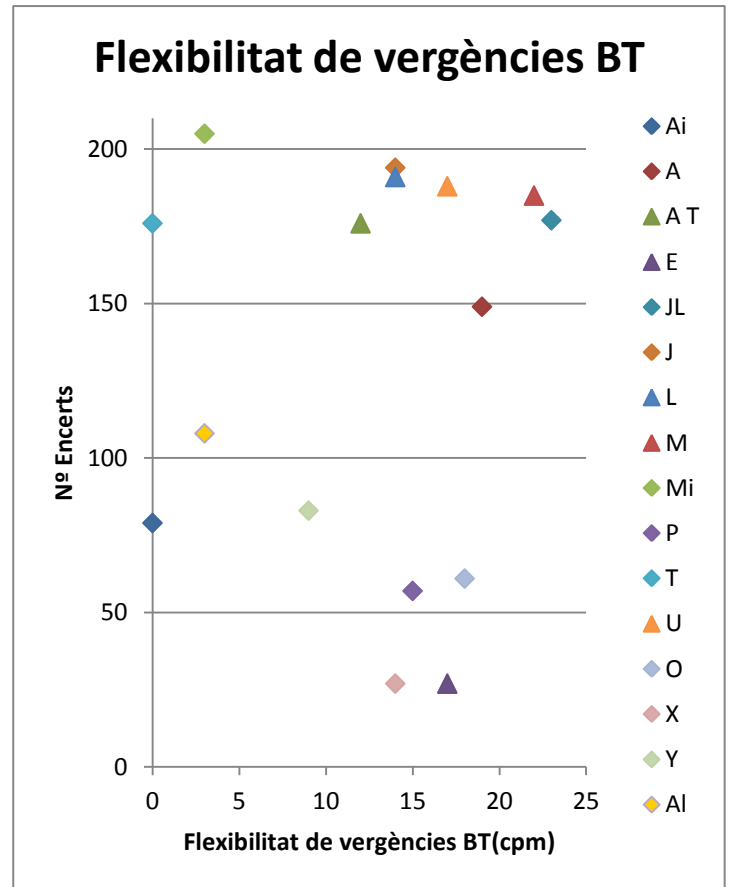
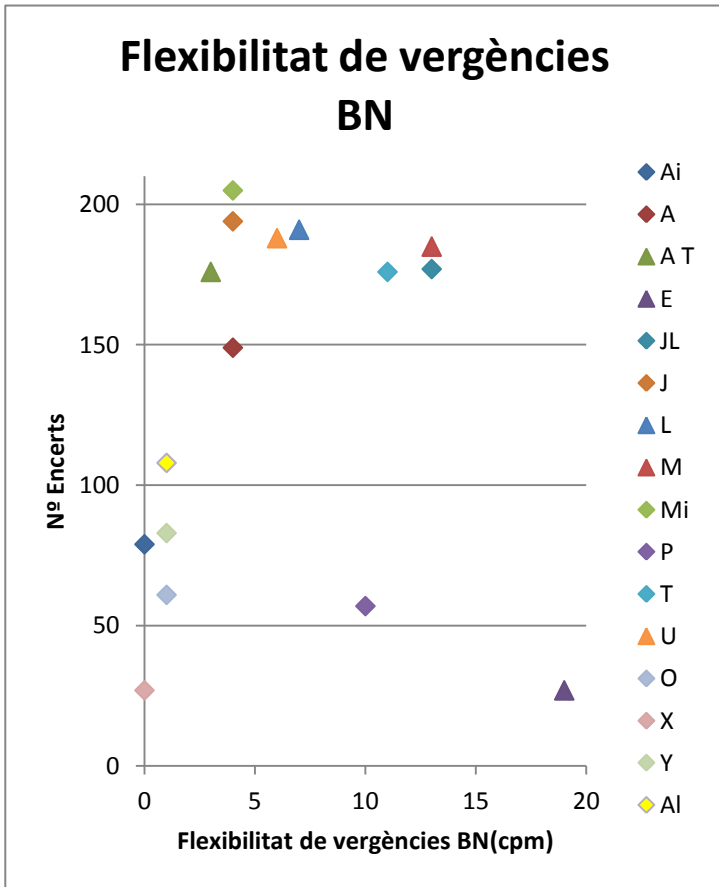
O Percepció Paral·lela





ANNEX 3: GRÀFIQUES PROVES OPTOMÈTRIQUES I NOMBRE D'ENCERTS





ANNEX 4: GRÀFICS ZONES DE CONFORT DE SHEARD I PERCIVAL

