



**GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA**

**TREBALL FINAL DE GRAU**

---

# **FACTORS QUE INFLUEIXEN EN LA VISUALITZACIÓ 3D EN UNA SALA DE PROJECCIÓ: “LA POSICIÓ”**

**JUDITH NAVARRO SERRANO**

**TUTORS/ DIRECTORS:**

**ÁLVAREZ MUÑOZ, JOSÉ LUIS**

**LUPÓN BAS, NÚRIA**

**TERRASSA, 26 DE JUNY DE 2014**



### GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

El Sr. José Luis Álvarez Muñoz i la Sra. Núria Lupón Bas com a director/a del treball

CERTIFIQUEN

Que la Sra. Judith Navarro Serrano ha realitzat sota la seva supervisió el treball treball "Factors que influeixen en la visualització 3D en una sala de projecció: la posició", 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. José Luis Álvarez  
Director del treball

Sra. Núria Lupón  
Directora del treball

Terrassa, 26 de Juny de 2014



## GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

# FACTORS QUE INFLUEIXEN EN LA VISUALITZACIÓ 3D EN UNA SALA DE PROJECCIÓ: LA POSICIÓ

### RESUM

Avui dia la visualització del 3D simulada està prenent més protagonisme en la nostra vida quotidiana. Ja que a més de en l'àmbit cinematogràfic, cada vegada hi ha dispositius tecnològics com el televisor, videojocs, telèfons mòbils, etc., que permeten la seva visualització.

En aquest treball es pretén estudiar un dels factors que influeixen en la percepció del 3D simulada pel que fa al rendiment visual dels observadors: la posició d'observació.

Per realitzar aquest estudi s'ha utilitzat una mostra de 16 observadors que van visualitzar el test des de les 9 posicions d'observació de l'aula 2.3 de la FOOT, la nostra sala de projecció. Aquest test està format per 24 presentacions, que tenien un rang de disparitats binoculars horitzontals entre 12 i 3.900". D'aquestes presentacions 10 eren percebudes en visió paral·lela, 13 en creuada i una d'elles no presentava disparitat.

S'ha analitzat el rendiment visual dels observadors en funció de la posició considerant: la totalitat de les presentacions; només les que són percebudes en visió creuada; i només les que ho són en visió paral·lela. Per cada una de les posicions també s'ha analitzat l'efecte de la disparitat binocular en el rendiment dels observadors.

Segons els resultats obtinguts es pot dir que les presentacions paral·leles presenten un millor rendiment visual des de les diferents posicions. La posició 5 (central), seria la més favorable, amb un major percentatge d'encerts i la posició 1 (davant, extrem esquerre) la menys favorable. El rendiment visual dels observadors en funció de la disparitat binocular horitzontal dels estímuls presenta tendències diferents en les diferents posicions.



## GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

# FACTORS QUE INFLUEIXEN EN LA VISUALITZACIÓ 3D EN UNA SALA DE PROJECCIÓ: LA POSICIÓ

### RESUMEN

Hoy en día la visualización del 3D simulado está tomando más protagonismo en nuestra vida cotidiana. Ya que además de en el ámbito cinematográfico, cada vez hay dispositivos tecnológicos como el televisor, videojuegos, teléfonos móviles, etc., que permiten su visualización.

En este trabajo se pretende estudiar uno de los factores que influyen en la percepción del 3D simulada en cuanto al rendimiento visual de los observadores: la posición de observación.

Para realizar este estudio se ha utilizado una muestra de 16 observadores que visualizaron el test desde las 9 posiciones de observación del aula 2.3 de la FOOT, nuestra sala de proyección. Este test está formado por 24 presentaciones, que tenían un rango de disparidades binoculares horizontales entre 12 y 3.900". De estas presentaciones 10 eran percibidas en visión paralela, 13 en cruzada y una de ellas no presentaba disparidad.

Se ha analizado el rendimiento visual de los observadores en función de la posición considerando: la totalidad de las presentaciones; sólo las que son percibidas en visión cruzada; y sólo las que lo son en visión paralela. Por cada una de las posiciones también se ha analizado el efecto de la disparidad binocular en el rendimiento de los observadores.

Según los resultados obtenidos se puede decir que las presentaciones paralelas presentan un mejor rendimiento visual desde las diferentes posiciones. La posición 5 (central), sería la más favorable, con un mayor porcentaje de aciertos y la posición 1 (frente, extremo izquierdo) la menos favorable. El rendimiento visual de los observadores en función de la disparidad binocular horizontal de los estímulos presenta tendencias diferentes en las distintas posiciones.



## GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

# FACTORS QUE INFLUEIXEN EN LA VISUALITZACIÓ 3D EN UNA SALA DE PROJECCIÓ: LA POSICIÓ

### ABSTRACT

Nowadays the simulation of 3D visualization is having more importance in our daily life. Apart from most film industry, there is increasing technological devices such as TV, video games, cell phones which allow 3D its visualization

This work aims to study one of the factors that it is influenced in the 3D perception that it is simulated performance in connection with visual observers: it is the observation position.

For carry out this study we have used a sample of 16 observers who viewed the test from 9 different positions of observation in the 2.3 FOOT projection classroom. This test is composed of 24 submissions, which had a range of binocular horizontal disparities between 12 and 3,900. "About these 10 submissions were perceived in parallel view, 13 in cross and one of them did not show disparity.

We have analyzed efficiency in terms of visual observers according to the position. We have considered: all presentations; only those that they are perceived crossed vision and only those that they are perceived in parallel vision. In each case positions was also analyzed the binocular disparity effect on observers performance.

According to the results obtained we can say that the parallel presentations have a better visual performance from different positions. Position 5 (middle), it would be the most favorable, with a higher percentage of successes and position 1 (front, far left) the least favorable. The observer's visual performance depending on the horizontal binocular disparity stimuli presented different tendencies in different positions



## GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

# FACTORS QUE INFLUEIXEN EN LA VISUALITZACIÓ 3D EN UNA SALA DE PROJECCIÓ: LA POSICIÓ

### SUMMARY

#### **Introduction:**

Along the last decade has been created a major impact in film as well as on television regarding the simulated 3D view, it has even broadcasted football matches in 3D simulated view, in technology as well where is increasing devices on the market such as video games, phones, tablets ... etc., they are capable of providing a simulated 3D view to the user.

However, 3D simulation and visualization view, in many cases is often accompanied by side effects in the observer, these can be: eyestrain, headaches, dizziness, nausea, etc., with this study we aim to analyze the factors which can cause these effects.

#### **Objectives:**

##### ***General objective:***

This work is part of a group study with a global objective in order to analyze the factors that they influence in performance view and therefore in 3D visual display of simulation as well. These factors are: observer 's position, the visual characteristics of the observers and the characterization of the stimulus.

In this research specifically, we are going to analyze the role of observer's position in relation to others visual performance how these influence on the simulated 3D vision perception. The other two factors are discussed more particularly in two final year degree which have already been defended..



**Specific objectives:**

- Analyzing the observer's visual performance depending on their position in the projection room while we are viewing a test consisting of 24 presentations anaglyph static. The analysis is going to carry out considering the first of all, the test thoroughly, and then, make out between the presentations which are viewed in cross and parallel perception.
- In this case, compare the yields obtained from the different positions and determine what differences there are between them.
- In each case, determine the most favorable position for 3D visualization and the least favorable in the 2.3. Classroom the FOOT, our projection room.
- Analyze the horizontal binocular disparity (DB) effect in each observer's position.

**Methodology:**

In this study we use the 2.3 classroom as a screening room, where we determined 9 observation positions, which belong the most extreme positions and middle positions. We chose this class because is one of the largest rooms of the faculty and it is one of the few that it has a focused projection screen.

The test used is 24 submissions, 13 crossed disparity, disparity 10th parallel and 1 the zero disparity. The presentations have a disparity range between 12 and 3900. "

The sample we used it was composed of 16 observers, aged between 20 and 50 years. A participation requirement was that observers had to have a visual acuity of 1.0 correctly measured with Landolt rings vision test; and stereo acuity of 120 "measured TNO.

To carry out this study, the material used was the projection screen where the test was performed, anaglyph glasses red - Blue and answer sheet.

The 16 observers viewed the test from 9 positions of observation, and in the answer sheet, they had to fill up the gap if the small circle is looked closer (p) or large circle, and if you looked further (L) or equal (=).

The order presentation was randomized for each position and each presentation was projected for 7 seconds. Between presentations, there was a slide without stimulus, because the observer wrote down the result and this was also a period of 7 seconds. The order of presentation was randomized so as to avoid that observers could memorize the answers.

The realization of experiment was done in two sessions on the first one, nine observers participated and a second one part was 7 observers. Thus each observer during the sessions and occupied a position and following a rotation order it was possible to carry out the experiment quickly and organized.



Patients were made a complete optometric test, where they gave the following tests: visual acuity test letters; the dip; stereoscopic vision with TNO, the amplitude of accommodation with the method of Donders, flexibility and adaptation in monocular and binocular distance vision; measurement of phoria in far vision and near vision; the relation between convergence and adaptation: AC / A; Convergence on: CRN and CRP; flexibility of convergence: in distant vision with prisms nasal base (BN) and prisms temporary basis (BT); The adaptive lag of the method MEM; disparity and fixation with disparometer.

### Results:

The processing information is divided into two sections; one is about a visual observer's performance in regard to the position; and another one section is that which belongs to the binocular disparity effect of the 23 presentations in each position.

Firstly, we have to analyze the visual performance of the observer according to the observation position, from the number on correct answers, if we focus on global presentation on the whole, in the subset of presentations as much to parallel as crossed. These results can be seen as the subset of the presentations parallel observers had better visual performance, with a success rate of between 59% and 77%. From the graphical representations are two positions, one position with a worse visual performance with a lower percentage of successes and position 5 with a better visual performance, and therefore a greater percentage of success. Through an analysis of contrasts, we can see position 1 is the most significant differences in relation to other positions getting the most value comparisons P-values  $<0.05$ , being the position presents a performance visually lower, both overall and in all parallel and crossed subset. From the standard deviations of the number of successes we analyze the variability of responses for each position, which highlights deviations with low position 1 to position where observers tend to make more mistakes and position 5 where most observers guess.

Then we analyze the effect of binocular disparity at each position. In this section you can see how it varies according to the percentage of correct binocular disparity from different positions of the projection room. To make a more precise 23 DB grouped into four intervals binocular disparities [0-60] [61-240] [241-480] [481-3900]. We can see in positions 1, 3, 4 and 6 the extreme lateral visual performance grows linearly with respect to increasing the range of DB to the interval [241-480], from here the visual performance decreases. In contrast, the central positions 2, 5 and 8 and the Side 7 and 9 does not occur this fall visual performance. This fall the high visual performance of DB is produced by the asymmetry in the perception of 3D stimulus and therefore the stimulus display is distorted and observers make more mistakes while to respond.

Notably position 1 is where there are more significant differences between the performance of different ranks DB, since it is the most extreme position in terms of proximity and handedness; and that the present values of DB generally lower, so the observer needs to do more visual effort.

### Conclusions:

The conclusions drawn from this work are:

- With the stimuli used observed better performance with visual presentations binocular disparity parallel to the cross.





- In the test set is in position 5 where there is a better visual performance and position 1 where it is worse. In parallel presentations highlighting the continuing position 1 and position 5. Regarding the Cross presentations where visual performance is better in position 8, as in the other cases being position 1 where a lower yield visual.
- The variation of visual performance in relation to the observer position is asymmetric. In addition, there are positions in the visual characteristics of the observer seem to have more weight with regard to performance.
- The visual performance of the observers according to the DB is different depending on the position, because of the interaction between the DB position and presentation.
- In extreme positions 1, 3, 4 and 6 performance increases up to 480" and thereafter decreases slightly. However in other positions the performance depending on the DB grows.
- The low yield obtained in extreme positions for high DB can be explained by the asymmetric 3D geometry linked to the stimulus



## GRAU EN OPTICA I OPTOMETRIA

# FACTORS QUE INFLUEIXEN EN LA VISUALITZACIÓ 3D EN UNA SALA DE PROJECCIÓ: LA POSICIÓ

### AGRAÏMENTS.

Per poder realitzar aquest treball, s'han necessitats molts mesos i moltes hores. Per això voldria donar-li les gràcies a les persones que durant aquest temps han estat al meu costat donant-me suport i ànims.

Per començar donar-li les gràcies al Miquel, la Núria i el José Luis, els meus tutors; que en tot moment m'han donat el seu recolzament i gràcies a les idees, aportacions i dedicació ha sigut possible la realització d'aquest treball.

També agrair a les persones que han participat en l'experiment com a observadors, la seva col·laboració i implicació en la part experimental.

A amics com la Jessica i el Raül, que des del principi m'han donat suport i ànims, i sempre que he necessitat algun pacient extern durant la carrera, han estat allà. També agrair a companys de classe totes les hores que em passats junts d'estudi i no estudi en tots aquests anys, concretament a l'Antonio, el meu cari, que des d'un principi ens vam entendre i em compartit molts moments bons i d'altres potser no tan bons, durant aquests anys. I a la Laura i la Urgell, les companyes del projecte.

Agrair també al Javier el seu recolzament i ànims durant aquests anys i la seva ajuda en alguns aspectes del treball.

I per últim, però no menys important agrair-li a la família: pares, germana, avia, tiets i cosins, tot el seu recolzament i disposició quan m'han fet falta.

## Índex

1. Introducció	1
2. Marc teòric: fonaments de la visió binocular i l'estereòpsia	2
2.1 La visió binocular	2
2.2 Disparitat binocular horitzontal	3
2.3 L'estereòpsia	5
2.4 L'estereoagudesesa	5
2.5 La Visió 3D simulada	5
2.5.1 La tècnica de fusió lliure	6
2.5.2 Els anàglifs	6
2.6 Mesura de l'agudesesa visual estereoscòpica	7
3. Objectius	9
3.1 Objectiu genèric	9
3.2 Objectius específics	9
4. Mètode experimental	10
4.1 Descripció de la sala de projecció	10
4.2 Descripció de l'estímul	11
4.2.1 Descripció de l'estímul	11
4.2.2 La visualització de l'estímul	12
4.3 Càlcul de les disparitats binoculars de les diferents presentacions	13
4.4 Selecció de la mostra	14
4.5 Material utilitzat	15
4.6 Realització de l'estudi	15
5. Resultats i discussió	17
5.1 Rendiment visual en relació a la posició	17
5.1.1 Conjunt de totes les presentacions	17
5.1.2 Presentacions amb visualització paral·lela	19
5.1.3 Presentacions amb visualització creuada	20
5.1.4 Desviacions estàndards dels encerts per posicions	22
5.1.5 Discussions	23
5.2 Efecte de la disparitat binocular en cada posició	23
5.2.1 Resultats per posició	24
5.2.2 Rendiments visuals en les posicions extremes	29
5.2.3 El fenomen de distorsió	30
5.2.3.1 Interpretació de les gràfiques	30
5.2.3.2 La distorsió en les presentacions paral·leles	31
5.2.3.3 La distorsió en les presentacions creuades	33
5.2.4 Discussió	34
6. Conclusions	35
7. Implicacions ètiques, legals i de protecció de dades	36
8. Bibliografia	37
9. Annexos	39

## Índex de figures

Figura 2.1 Representació de l'eix de projecció.

Figura 2.3. Àrea i espai de Panum.

Figura 2.4. Disparitat Binocular Horitzontal.

Figura 2.5. Disparitat Binocular Horitzontal, presentació de les distàncies que interfereixen.

Figura 2.6. Visualització paral·lela i creuada en visió lliure.

Figura 2.7. Imatges estereoscòpiques amb color complementari vermell-verd.

Figura 2.8. Visualització de la visió estereoscòpica amb anàglifs.

Figura 2.9. Test de Randot.

Figura 2.10. Test de Titmus-Wirt.

Figura 2.11. Test de TNO.

Figura 4.1. caracterització de la sala a 1:1000 i representació de les nou posicions de l'observador.

Figura 4.2. exemple d'estímul utilitzat en l'estudi, presentació 23. Extret: grup de recerca Vision & Control of Action (VISA).

Figura 4.3. Esquema de la disparitat binocular i els elements que hi participen.

Figura 5.1. Ajust a tota l'aula del número de encerts total per posicions.

Figura 5.2. Ajust del número d'encerts. Presentacions amb disparitat paral·lela.

Figura 5.3. Ajust del número d'encerts. Presentacions amb disparitat creuada.

Figura 5.4. Mapa de distribució de desviacions estàndards, dels encerts per posicions.

Figura 5.5. Presentació 22.

Figura 5.6. Presentació 15.

Figura 5.7. Presentació 23.

## índex de taules

Taula 4.1. distàncies en l'eix x i l'eix y per casa posició.

Taula 4.2. Tipus de percepció i separació mesurada de les diferents presentacions.

Taula 4.3. Taula de les DB calculades per presentació i posició.

Taula 5.1. Taula del % d'encerts per cada posició en ordre decreixent.

Taula 5.2. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per posició.

Taula 5.3. Taula del % d'encerts per cada posició en ordre decreixent.

Taula 5.4. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per posició considerant només les presentacions amb percepció paral·lela.

Taula 5.5. Taula del % d'encerts per cada posició en ordre decreixent.

Taula 5.6. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per posició considerant només les presentacions amb percepció creuada.

Taula 5.7. Desviacions estàndards dels encerts per posicions.

Taula 5.8. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 1.

Taula 5.9. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 2.

Taula 5.10. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 3.

Taula 5.11. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 4.

Taula 5.12. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 5.

Taula 5.13. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 6.

Taula 5.14. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 7.

Taula 5.15. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 8.

Taula 5.16 Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 9.

### **Índex de les gràfiques.**

Gràfica 5.1. Representació del % d'encerts en les diferents posicions en ordre decreixent.

Gràfica 5.2. Representació del percentatge d'encerts per posicions en disparitats paral·lel.

Gràfica 5.3. Representació del percentatge d'encerts per posicions en disparitats creuades.

Gràfica 5.4. (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 1.

Gràfica 5.5 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 2.

Gràfica 5.6 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 3.

Gràfica 5.7 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 4.

Gràfica 5.8 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 5.

Gràfica 5.9 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 6.

Gràfica 5.10 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 7.

Gràfica 5.11 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 8.

Gràfica 5.12 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 9.

Gràfica 5.13. Simulació de la percepció de la presentació 22 des de la posició 5.

Gràfica 5.14. Simulació 3D de la presentació 15 en la posició 5.

Gràfica 5.15. simulació 3D de la presentació 15 en la posició 1.

Gràfica 5.16. Simulació de la presentació 23 des de la posició 5.

Gràfica 5.17. Simulació de la presentació 23 des de la posició 1.

## 1. Introducció

El cinema i la TV 3D volen entrar a formar part de la nostra vida diària. La retransmissió d'esdeveniments esportius de gran audiència, com l'anterior mundial de futbol i també el que s'ha de celebrar pròximament, segurament farà que la proporció de llars amb terminals 3D augmenti considerablement en les pròximes dates. L'increment de terminals i l'increment de continguts s'estimulen mútuament. Probablement per aquest motiu, entre d'altres, l'oferta de continguts 3D també sembla anar creixent, encara que sigui gradualment, i en alguns països europeus trobem ofertes com aquesta de juny de l'any passat per animar a la gent a conèixer aquesta tecnologia i a familiaritzar-s'hi:



## Should I get a 3D TV?

If you're not yet ready to make the leap into 3D TV, you can still experience its wonder at more than 1,500 pubs and clubs around the UK and Ireland, courtesy of Sky's 3D TV channel.

You can find your nearest Sky 3D venue using the Sky pub finder - just visit [www.sky.com](http://www.sky.com). Keep checking back for details of forthcoming fixtures, and make sure you call your venue to check scheduling and reserve a seat if necessary.

Per això vaig trobar interessant participar en l'estudi sobre els factors que influeixen en la visualització del 3D en una sala de projecció. Aquest estudi va estar dividit en tres treballs que han analitzat els efectes dels tres factors més representatius o específics de la nostra àrea d'estudi: la visió.

Aquests tres factors són: l'estímul, l'observador i la posició. Concretament en aquest treball és on examinarem la influència de la posició de l'observador a l'hora de visualitzar el 3D en una aula de la FOOT que va fer les funcions de sala de projecció.

## 2. Marc teòric: fonaments de la visió binocular i l'estereòpsia.

### 2.1. La visió binocular.

La visió binocular és la interpretació més fidel del nostre entorn en una única imatge perceptual a partir de dues imatges retinianes. Aquesta interpretació ens permet orientar-nos i definir la posició espacial d'un objecte determinant la seva direcció i la distància. (Pons i Martinez, 2004).

La direcció i distància visual, es defineix a partir de la projecció monocular. On la línia més important de projecció és la que parteix del centre de la fòvea, coneguda com a eix visual i normalment com a eix de projecció. Aquest eix, com podem veure en la figura 2.1, és la línia que va des de la fòvea  $M'$  a través del centre monocular de projecció, el punt nodal  $N$ . Un objecte puntual  $A$  situat en qualsevol punt de la línia  $AN$  estimularà la retina en un punt concret  $A'$ .

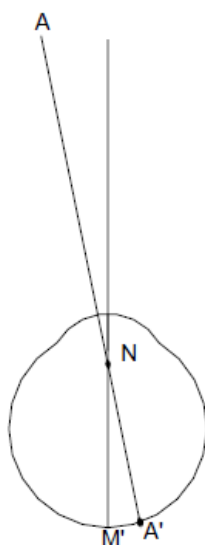


Figura 2.1 Representació de l'eix de projecció. *Optica fisiològica.*

La localització d'un objecte en l'espai depèn de zona de la retina estimulada, ja que cada zona de la retina té una direcció visual específica relativa al punt de fixació. A més té un valor motor que incideix un moviment de fixació foveal, per que aquest sigui fixat en la fòvea, la zona de la retina amb major agudeses visual.

La visió única de les projeccions monoculares d'ambdues retines, és possible quan hi ha correspondència entre els punts estimulats de cada retina. Dos punts de la retina són corresponents quan al estimular-los per separat tenen la mateixa direcció visual i els seus moviments de rotació son d'igual magnitud. Quan aquesta estimulació es duu a terme binocularment, és simultània en les dues retines, proporciona una sensació de localització subjectiva en un punt únic en l'espai.

L'any 1858, Panum va introduir el concepte d'àrees corresponents, on a cada punt de la retina no li correspon un altre punt concret de l'altra retina, sinó un àrea, coneguda com a àrea de Panum. Per tant si s'estimula un punt de la retina, existeix una superfície de punts en l'altra, que sent estimulats simultàniament produirà una visió única, fora d'aquesta àrea de Panum els objectes es veuran doble. Aquesta àrea de Panum en l'espai físic té la seva correspondència en



l'espai de Panum, aquest format per estímuls que a partir d'un punt fixat tenen correspondència retinina on tenen un percepció binocular única. (Puell, 2006).

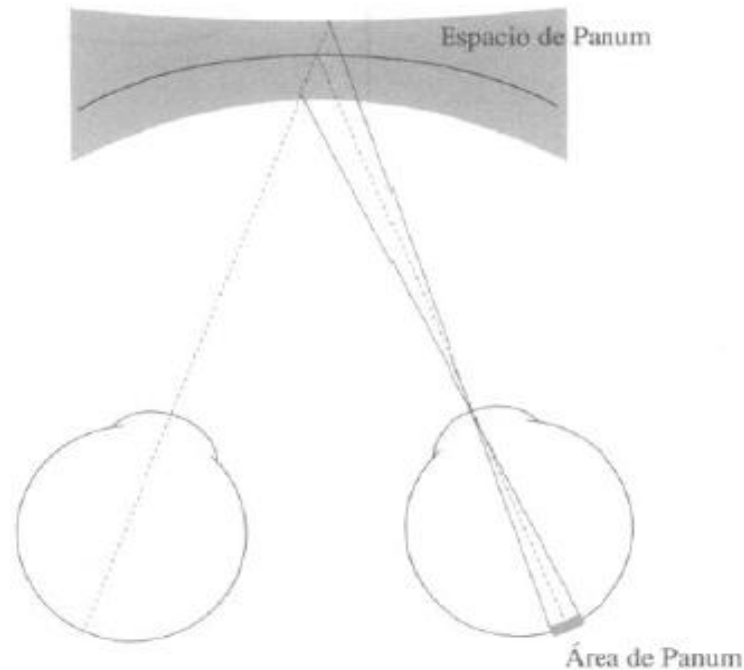


Figura 2.3. Àrea i espai de Panum . Optica fisiològica

## 2.2. La disparitat binocular horitzontal.

La disparitat binocular horitzontal, és la diferència entre les imatges retinianes, produïda per la separació horitzontal entre els dos ull, facilitant-nos les estimacions de profunditats en la visió binocular i dotant-nos de la visió tridimensional. Aquesta diferència entre imatges es deguda a la geometria , en el qual es fonamenta la visió binocular, que ens proporciona informació relativa d'un objecte en contret en un espai i en relació als elements que l'envolten. (Pons i Martinez, 2004).

La disparitat binocular horitzontal (DBH), es pot definir des de l'espai objecte i des de l'espai imatge, com podem observar en la figura 2.4.

Quan la definim en l'espai objecte la DBH fa referència en la diferència que hi ha entre els angles de convergència corresponents a dos punts/objectes/elements de l'espai, sent un d'ells el de referència, veure figura 2.4. Es calcula segons la següent formula:

$$DBH = C_1 - C_2$$

Si tenim en compte l'espai imatge, aquesta es defineix tenint present la correspondència retiniana i l'excentricitat en punts de la retina, indicant-nos la separació angular horitzontal respecte a la fòvea. Definint la DBH con la diferència d'excentricitat entre les imatges dels dos punts de l'espai en la retina en tots dos ulls. Per tant:

$$DBH = \phi_1 - \phi_2$$

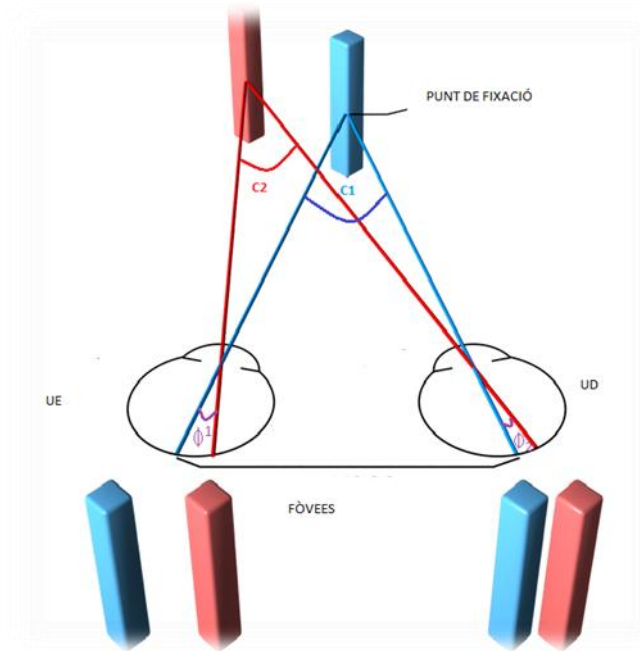


Figura 2.4. Disparitat Binocular Horitzontal <http://oftalmologia-barcelona.com/2011/12/09/117/>

L'assimilació d'aquests angles en radiants a la seva tangent, ens condueix a una descripció trigonomètrica de la DBH, a partir de la següent fórmula:

$$DBH = \frac{dip \cdot \Delta d}{d^2}$$

En la figura 2.5 es representen els elements de la fórmula anterior, on la distància "e", correspon a la DIP de l'observador, "d" fa referència a la distància entre l'observador i el punt de fixació, o element principal, i "Δd" a la distància que hi ha entre el punt de fixació i un altre punt en l'espai.

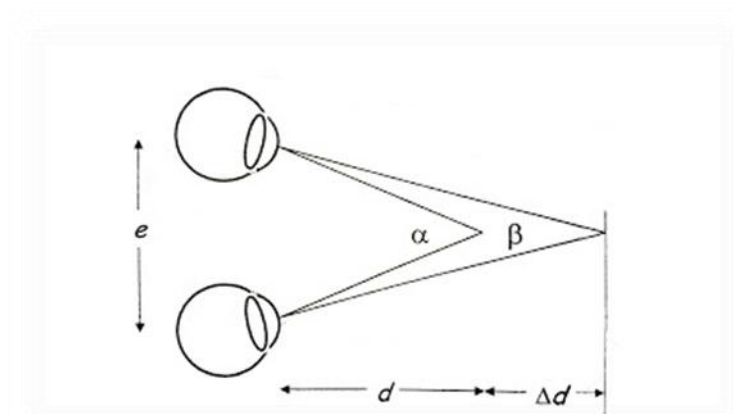


Figura 2.5. Disparitat Binocular Horitzontal, presentació de les distàncies que interfereixen. <http://eluniversodewavens.blogspot.com.es/2011/06/estereogramas.html>

### 2.3. L'estereòpsia.

L'estereòpsis és l'habilitat del sistema visual que ens permet fer valoracions de distàncies relatives entre objectes a partir de factors binoculars que ens permeten percebre la profunditat, en funció de si l'objecte no fixat es troba dintre o fora de l'espai de Panum.

Quan l'objecte no fixat es troba fora de l'àrea de Panum, es produeix diplopia fisiològica, ja que s'estimulen punts corresponents fora de l'àrea de Panum. La magnitud de la diplopia ens informa de la distància, ja que separacions majors entre imatges equivalen a majors distàncies d'observació.

Si l'objecte no fixat cau dintre de l'àrea de Panum, es produeix disparitat binocular, fent possible la percepció binocular de l'espai tridimensional. (Tàpies i Álvarez, 2010)

### 2.4. L'estereoagudesesa.

L'estereoagudesesa mesura la sensibilitat de la visió estereoscòpica amb l'objectiu de determinar el llindar de profunditat perceptible d'un observador, sent aquest la mínima diferència de profunditat que l'observador pot discriminar entre dos objectes en l'espai. D'aquesta manera com més baix sigui aquest llindar millor agudesesa estereoscòpica tindrà l'observador. Per tant l'agudesesa estereoscòpica, és l'angle més petit de disparitat binocular relativa que un observador pot percebre i s'expressa en segons d'arc.

Aquesta es calcula a partir de la següent fórmula, on AVE correspon al concepte de Agudesesa Visual Estereoscòpica.

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

Des del punt de vista clínic es consideren valors d'agudesesa estereoscòpica normals els que estan al voltant dels 40".

### 2.5. La visió 3D simulada.

La visió 3D simulada s'aconsegueix mitjançant estereogrames, aquests són una imatge que oculta un patró de disparitats binoculars que en les condicions adequades ens permeten visualitzar la figura tridimensional. Hi ha dos tipus d'estereogrames, les parelles estereoscòpiques i els estereogrames de paper pintat.

En aquest treball es faran servir els primers que consisteixen en imatges duplicades (parelles) que són percebudes com a una sola. Això només passa si la imatge duplicada es dissocia correctament, el que vol dir que un dels ulls de l'observador veu només una de les imatges i l'altre ull veu l'altre imatge. Aquesta dissociació d'imatges es duu a terme mitjançant la tècnica de visió lliure o a partir de l'ús de filtres òptics com poden ser: vermell-verd; cian-vermell; polaritzats; entre altres o estereoscòpis.

Per un altre costat els estereogrames de paper pintat són imatges compostes per un tapis que es repeteix horitzontalment però amb una distorsió que oculta un patró de disparitats. (Pons i Martínez, 2014)

### 2.5.1. La tècnica de fusió lliure.

La visualització en 3D simulat, és possible amb la tècnica de fusió lliure, ja que mitjançant moviments de vergències i a partir d'uns punts guies, ens permet la percepció en 3D, mitjançant la visualització en convergència (creuada) o en divergència (paral·lela).

Com podem veure en la figura 2.9, quan la fusió, es produeix sobre un punt més proper al pla de l'estereograma, la pantalla, la visualització és creuada, donant-nos una sensació de proximitat; i quan es produeix en un punt més allunyat, la visualització és paral·lela i la sensació que hi tenim és de profunditat. (Pons i Martinez, 2004)

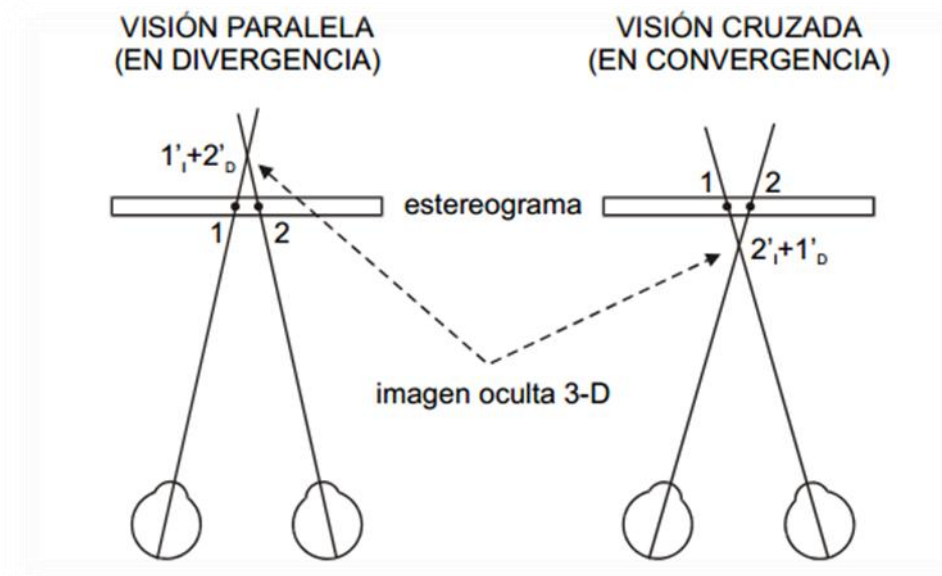


Figura 2.6. Visualització paral·lela i creuada en visió lliure. Fundamentos de la vision binocular

### 2.5.2. El sistema anàglif.

Els anàglifs són parelles d'imatges estereoscòpiques pintades de colors complementaris (vermell-verd; vermell-cian), per ser visualitzades amb filtres de color corresponents als colors complementaris utilitzats en les imatges.

Aquestes imatges com podem veure en la figura 2.10 estan compostes per dues capes d'aquest colors complementaris, que es col·loquen amb una lleugera desviació entre si per crear l'efecte de profunditat.



Figura 2.7. Imatges estereoscòpiques amb color complementari vermell-verd  
<http://doberman.creatuforo.com/adentrandonos-en-el-mundo-3d-tema1553.html>

Al mirar a través de les ulleres anaglífiques, es crea la imatge estereoscòpica (figura 2.11); cada ull veu només un color ja que al mirar pel filtre vermell, aquest bloqueja la visualització d'aquest color i els colors verds o cians es veuran com a negres; el mateix però a la inversa passa quan mirem pel filtre verd-cian, d'aquesta manera obtenim les dues imatges retinianes diferents que el cervell unirà en una única imatge. (Cine y educación, 2014)

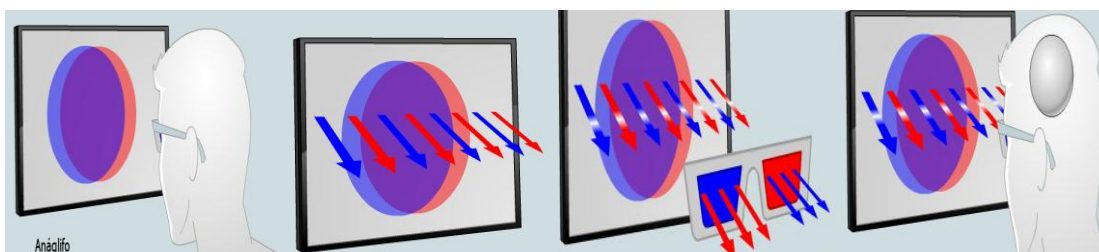


Figura 2.8. Visualització de la visió estereoscòpica amb anàglifs. <http://doberman.creatuforo.com/adentrandonos-en-el-mundo-3d-tema1553.html>

## 2.6. Mesura de l'agudes visual estereoscòpica.

En la pràctica de l'optometria l'AVE és mesurada per test de visió propera i en el cas de que l'observador necessiti refracció ha d'anar corregit, els més habituals són (Borrás et al. 2010):

- Test de Randot: aquest test es realitza amb ulleres polaritzades. El test consta de tres nivells; en el primer s'han d'identificar figures geomètriques ocultes en els quadres; en el test dels animals cal dir quin animal es veu com a més proper; en l'últim nivell s'ha d'indicar quin és el cercle que veu més aixecat. Aquest test mesura un llinar màxim de 20".



Figura 2.9. Test de Randot. <http://www.cirurgiaocular.com/index.php/la-vision/pruebas-diaagnosticas/estereopsis-o-vision-3d.html>

- Test de Titmus-Wirt: aquest test també es realitza amb ulleres polaritzades. Com l'anterior també té tres nivells; el primer correspon al test de la mosca, on se li demana al pacient que li agafi l'ala; el segon nivell i el tercer coincideixen amb el del test de Randot. Tot així el màxim llindar és a 40".



Figura 2.10. Test de Titmus-Wirt. <http://www.cirurgiaocular.com/index.php/la-vision/pruebas-diaagnosticas/estereopsis-o-vision-3d.html>

- TNO: en aquest test s'utilitzen ulleres amb filtre vermell/verd. L'observador ha d'observar les diferents plantilles i se li ha de preguntar què veu en cada una d'elles i com ho veu. Aquest test té el seu llindar màxim és a 15".



Figura 2.11. Test de TNO. <http://www.cirurgiaocular.com/index.php/la-vision/pruebas-diaagnosticas/estereopsis-o-vision-3d.html>

### 3. Objectius de l'estudi.

La visualització del cine 3D, és un tema avui dia molt actual, ja que ha significat una evolució en la indústria cinematogràfica i ha tingut una bona acollida pels espectadors, tot i que una part d'aquests presentin efectes secundaris com pot ser fatiga ocular, mals de cap i nàusees.

Per aquest motiu, en aquest estudi pretenem analitzar els factors que poden influir en una visualització 3D simulada efectiva i confortable.

#### 3.1. Objectiu genèric.

Objectiu genèric:

Aquest treball forma part d'un estudi conjunt amb un objectiu global, analitzar els factors que influeixen en el rendiment visual i per tant en la visualització del 3D simulada. Aquests factors són: la posició de l'observador, les característiques visuals del observadors i la caracterització del l'estímul.

En aquest treball concretament s'analitzarà el paper que juga la posició dels observadors respecte al rendiment visual d'aquests i com aquest influeix en la percepció de la visió 3D simulada. Els altres dos factors han estat analitzats més específicament dos treballs finals de grau ja defensats.

Objectius específics:

- Analitzar el rendiment visual dels observadors en funció de la posició que ocupen en la sala de projecció mentre visualitzem un test consistent en 24 presentacions anaglífiques estàtiques. L'anàlisi es durà a terme considerant primer el test en el seu conjunt i, a continuació, distingint entre les presentacions que es visualitzen en percepció creuada i paral·lela.
  - En aquest cas, comparar els rendiments obtinguts en les diferents posicions i determinar entre quines d'elles les diferències són significatives.
  - En cada cas, determinar la posició més favorable per la visualització 3D i la menys favorable, en l'aula 2.3. de la FOOT, la nostra sala de projecció.
- Analitzar l'efecte de disparitats binocular horitzontal (DB) en cada una de les posicions de l'observador.

#### 4. Mètode experimental.

En aquest apartat farem la descripció de la sala de projecció, les característiques de les presentacions, la mostra utilitzada i el mètode experimental de l'estudi realitzat.

##### 4.1. Descripció de la sala de projecció.

Per dur a terme aquest estudi es va escollir l'aula 2.3 de la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa (FOOT), com a sala per a la projecció del nostre test. Ens vam decantar per aquesta aula perquè és una de les més amples i de les poques en que la pantalla de projecció es troba més centrada. El primer que vam fer per caracteritzar correctament la sala va ser realitzar totes les mesures pertinents per posteriorment realitzar més acuradament els càlculs necessàries. Aquestes mesures es mostren a la figura 4.1, que representa la planta de l'aula.

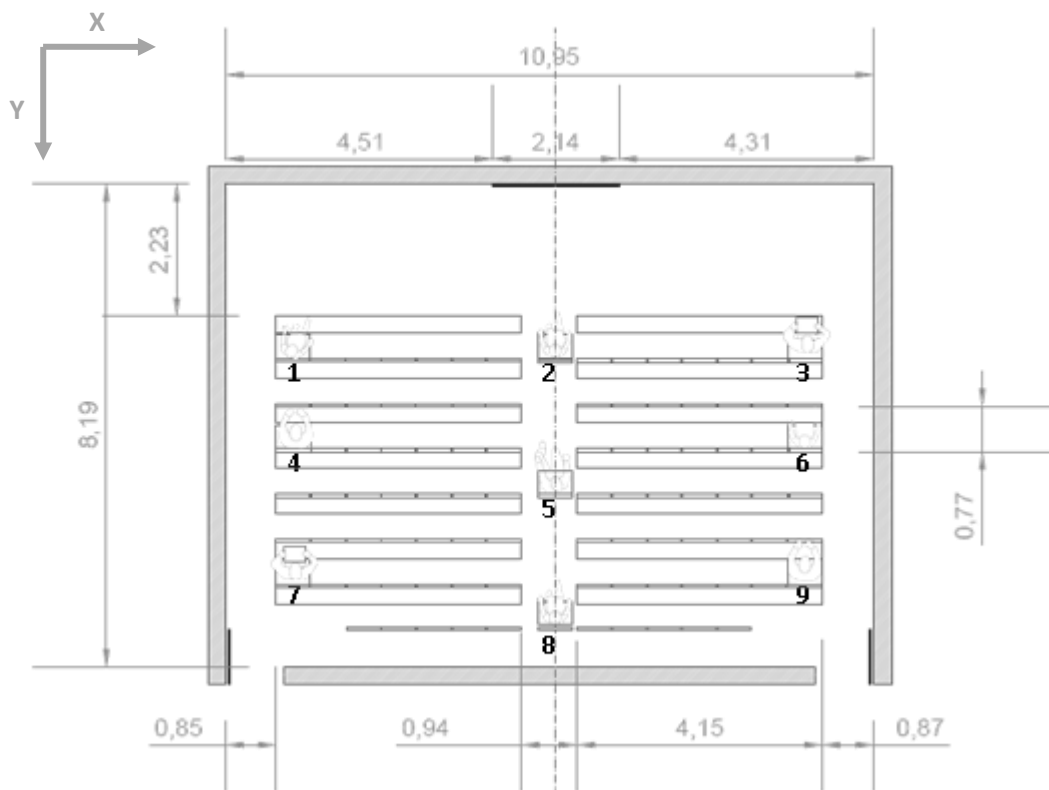


Figura 4.1. caracterització de la sala a 1:1000 i representació de les nou posicions de l'observador.

Una vegada realitzades aquestes mesures vam determinar les nou posicions en les que els observador visualitzarien les presentacions. Aquestes posicions corresponen a les laterals més extremes i a les centrals, a partir de les quals es pot extrapolar el que podria passar a la resta de les posicions.

Per poder calcular les diferents disparitats binoculars, aquestes mesures es representen mitjançant un sistema de coordenades definit a la taula 4.1; on l'eix de coordenades verticals (Y) correspon a la distància entre cada una de les posicions i el pla de la pantalla. L'eix d'abscisses (X) té com a origen el punt central de la pantalla és horitzontal i perpendicular a l'eix Y, d'aquesta manera les posicions 2,5 i 8 que corresponen a les centrals tenen una abscissa igual a 0 en relació al pla de la pantalla.



Posició	Distància al pla de la pantalla (Y)	Distància al pla perpendicular a la pantalla pel seu centre (X)
1	300	-558
2	300	0
3	300	538
4	454	-558
5	531	0
6	454	538
7	685	-558
8	762	0
9	685	538

Taula 4.1. distàncies en l'eix x i l'eix y per casa posició

## 4.2. Característiques de l'estímul.

### 4.2.1. Descripció de l'estímul.

El test està constituït per un conjunt de 24 presentacions triades aleatòriament d'una bateria de presentacions cedides pel grup de recerca *Vision & Control of Action (VISA)* del departament de Psicologia bàsica de la Facultat de psicologia de la UB. D'aquestes 24 presentacions, 13 estaven dissenyades per ser percebudes en visió creuada, 10 en visió paral·lela i 1 no presenta disparitat.

Aquestes 24 presentacions, són uns anàglifs vermell-blau formats per tres cercles, con podem veure en la figura 4.2. Un cercle de dimensions més reduïdes ocupa la posició central i és fix, aquest servirà com a punt de referència per diferenciar el tipus de percepcions, els altres dos cercles perifèrics, un de color vermell i l'altre de color blau, són tots dos de les mateixes dimensions però separats per un petit descentrament horitzontal entre sí, aquest descentrament és el que canvia d'un anàglif a un altre.

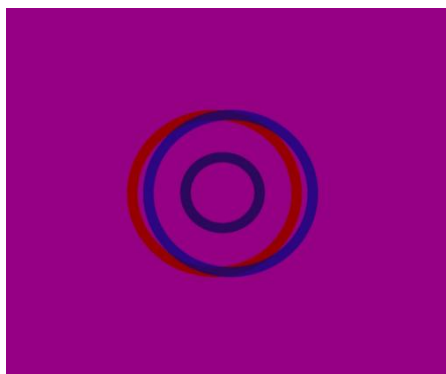


Figura 4.2. exemple d'estímul utilitzat en l'estudi, presentació 23. Extret: grup de recerca *Vision & Control of Action (VISA)*.

Intercanviant la posició dels dos colors d'aquest dos cercles i variant la separació del descentrament es simularà la percepció de profunditat en les disparitats paral·leles, o de

proximitat en les disparitats creuades. Aquesta separació entre els dos cercles ha estat mesurada amb un regle directament de la pantalla de projecció de les presentacions. En la taula 4.2. fem el recull del tipus de disparitats que s'hauria de percebre i la separació mesurada de les 24 presentacions.

Presentació	Percepció	Separació (cm)
1	Creuat	0,2
2	Paral·lel	0,4
3	Paral·lel	0,9
4	Paral·lel	0,6
5	Paral·lel	1,9
6	Paral·lel	0,9
7	Paral·lel	3,8
8	Creuat	0,4
9	Creuat	0,9
10	Creuat	1,1
11	Creuat	3,8
12	Creuat	3,8
13	Creuat	0,1
14	Creuat	0,3
15	Paral·lel	4,5
16	Paral·lel	3,0
17	Creuat	4,5
18	Paral·lel	3,0
19	Paral·lel	2,8
20	Creuat	3,0
21	Creuat	0,6
22	Nul·la	0
23	Creuat	5,7
24	Creuat	3,4

Taula 4.2. Tipus de percepció i separació mesurada de les diferents presentacions.

#### 4.2.2. La visualització de l'estímul.

Per poder simular aquestes presentacions projectades en 2D en una visualització 3D es van utilitzar ulleres anaglífiques vermell-blau, colors corresponents als dels cercles perifèrics.

Les ulleres utilitzades tenen el filtre blau en l'ull dret i el filtre vermell en l'esquerra. Això fa que l'ull dret visualitzi el cercle perifèric vermell, ja que el blau es confon amb el fons; d'aquesta manera l'ull esquerra visualitza el cercle perifèric blau. La fusió cortical d'aquestes dues imatges farà que només es vegi un cercle perifèric negre més allunyat o proper de l'observador tenint com a punt de referència el cercle central.

### 4.3. Càlcul de les disparitats binoculars de les diferents presentacions.

Per poder calcular la disparitat binocular corresponent a cada una de les 24 presentacions tenint en compte les 9 posicions d'observació cal definir i identificar els elements següents (figura 4.3):

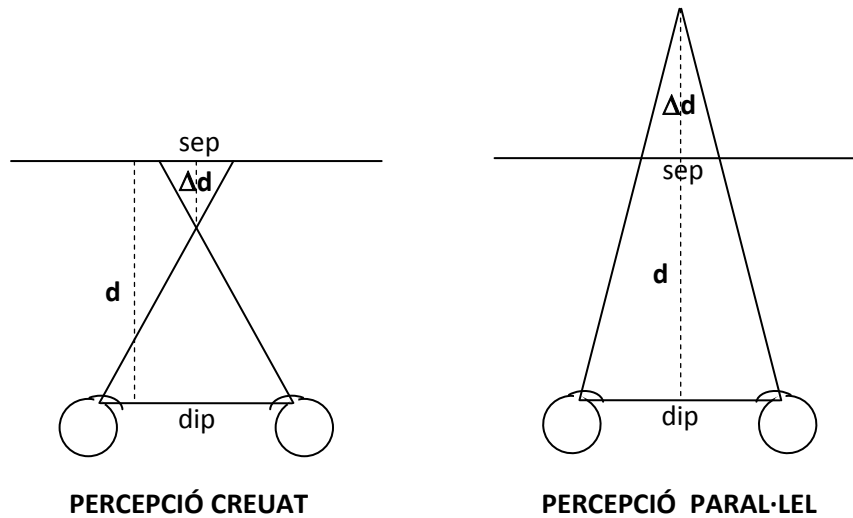


Figura 4.3. Esquema de la disparitat binocular i els elements que hi participen

- DIP: és la distància interpupil·lar dels observadors. Per realitzar els càlculs de DB, utilitzarem una DIP de 60mm, ja que correspon a la mitjana de les DIPs dels nostres observadors.
- d: és la distància entre la posició de l'observador i la pantalla de la sala de projecció.
- $\Delta d$  (increment de la distancia): equival a la profunditat amb la qual observem la presentació, depèn de la distància d'observació i de la separació entre els dos cercles perifèrics (sep). Aquest increment es pot calcular mitjançant les fórmules següents, tant per a la percepció creuada, que serà negatiu; com per la paral·lela, que serà positiu.

#### CAS CREUAT

$$\Delta d = \frac{d \cdot sep}{dip + sep}$$

#### CAS PARAL·LEL

$$\Delta d = \frac{d \cdot sep}{dip - sep}$$

Una vegada definits i calculats aquests elements mitjançant la fórmula de la DB, calculem les disparitats de les 24 presentacions per a cada posició. Obtenint un total de 216 valors de DB, representats en la taula 4.3.

$$DB = \frac{dip \cdot \Delta d}{d^2} \cdot \frac{648000}{\pi}$$

Presentació	posició		1	2	3	4	5	6	7	8	9
	d pla pantalla (cm)		300	300	300	454	531	454	685	762	685
	Percepció	Sep (cm)	DB	DB	DB	DB	DB	DB	DB	DB	DB
1	Creuat	0,2	23	104	25	27	59	29	27	41	28
2	Paral·lel	0,4	58	260	62	68	147	71	68	102	70
3	Paral·lel	0,9	146	650	154	171	367	179	171	256	176
4	Paral·lel	0,6	87	390	93	103	220	107	103	154	106
5	Paral·lel	1,9	292	1300	308	342	734	357	342	512	352
6	Paral·lel	0,9	146	650	154	171	367	179	171	256	176
7	Paral·lel	3,8	583	2600	617	684	1469	715	684	1024	704
8	Creuat	0,4	58	260	62	68	147	71	68	102	70
9	Creuat	0,9	146	650	154	171	367	179	171	256	176
10	Creuat	1,1	175	780	185	205	441	214	205	307	211
11	Creuat	3,8	583	2600	617	684	1469	715	684	1024	704
12	Creuat	3,8	583	2600	617	684	1469	715	684	1024	704
13	Creuat	0,1	12	52	12	14	29	14	14	20	14
14	Creuat	0,3	41	182	43	48	103	50	48	72	49
15	Paral·lel	4,5	700	3120	740	821	1763	858	821	1228	845
16	Paral·lel	3,0	466	2080	493	547	1175	572	548	819	563
17	Creuat	4,5	700	3120	740	821	1763	858	821	1228	845
18	Paral·lel	3,0	466	2080	493	547	1175	572	548	819	563
19	Paral·lel	2,8	437	1950	463	513	1102	536	513	768	528
20	Creuat	3,0	466	2080	493	547	1175	572	548	819	563
21	Creuat	0,6	87	390	93	103	220	107	103	154	106
22	Nul·la	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	Creuat	5,7	875	3900	925	1026	2203	1072	1027	1535	1056
24	Paral·lel	3,4	525	2340	555	616	1322	643	616	921	634

Taula 4.3. Taula de les DB calculades per presentació i posició

#### 4.4. Selecció de la mostra.

La mostra de l'estudi estava formada per 16 observadors, aquests eren tant alumnes i professors de la FOOT, com pacients externs. D'aquestes 16 persones 7 eren homes i 9 dones, amb edats entre 20 i 50 anys.

A l'hora de seleccionar la mostra, els observadors havien de complir dos requisits necessaris per a formar-ne part: tenir una agudesa visual amb correcció de 1.0, presa amb l'optotip d'agudesa visual d'anells de Landolt; i una agudesa estereoscòpica de 120'', mesurada amb el TNO.

#### 4.5. Material utilitzat en l'estudi.

Com a material imprescindible per a la realització de l'estudi es necessita: la pantalla de projecció de l'aula 2.3, on es van projectar les 24 presentacions; les ulleres anaglífiques, que ens permetien simular la visió 3D; i el full de respostes, que l'observador havia d'omplir per a cada posició indicant si es veia el cercle petit més a prop que el gran, o bé més allunyat.

#### 4.6. Realització de l'estudi.

Per dur a terme aquest estudi cada observador havia de visualitzar les 24 presentacions des de les 9 posicions d'observació de la sala de projecció, sumant un total de 216 visualitzacions per observador. Les presentacions es projectaven en ordre aleatori, i en cada posició es mostrava una versió de projecció aleatoritzada de forma diferent. D'aquesta manera es pretenia evitar la memorització de les respostes.

Cada presentació es projectava a la pantalla durant 7 segons. Per tal que l'observador pogués anotar les seves respostes, entre presentació i presentació s'hi va incloure una diapositiva llisa, del color del fons de la projecció, que també es projectava durant 7 segons.

Durant la visualització del test, els pacients havien d'anotar com percebien les presentacions en el full de resposta (Annex 1). El punt de fixació de les presentacions és el cercle central, per tant quan l'observador el veia com a més pròxim havien de anotar en la casella corresponent "P" o Prop; i quan el percebien com a més lluny havien d'anotar "L" o Lluny. Si no percebien cap d'aquestes dues sensacions havien d'apuntar "=".

La visualització del test es va dur a terme en dues sessions, una primera on van participar 9 observadors i en la segona on van participar els 7 restants. D'aquesta manera cada observador ocupava una posició, fent que la rotació per les diferents posicions i l'execució de la prova fos ràpida i eficaç.

A posteriori vam tornar a citar als 16 observador per dur a terme un conjunt de proves optomètriques per tal d'analitzar la possible influència de les característiques visuals dels observadors en el percentatge d'encerts obtinguts en els test. Basant-nos en l'article "*Visual Discomfort and Fatigue of Stereoscopic Display: A Review*" (LAMBOOIJ M, et al; 2009), vam triar les proves optomètriques necessàries per al nostre estudi. Les proves realitzades finalment van ser les següents:

- ✓ Mesura de la distància interpupil·lar (DIP).
- ✓ Agudesesa visual amb correcció en visió llunyana, monocular i binocular ( $AV_C$ ): test de lletres.
- ✓ Agudesesa visual estereoscòpica: test del TNO.
- ✓ Mesura de l'amplitud d'acomodació: mètode de Donders.
- ✓ Flexibilitat d'acomodació monocular i binocular en visió llunyana.
- ✓ Mesura de les fòries en visió llunyana i pròxima.
- ✓ Relació entre la convergència i l'acomodació: AC/A.

- ✓ Mesura de la convergència relativa: CRN i CRP.
- ✓ Flexibilitat de vergències: en visió llunyana i amb prismes de base nasal (BN) i prismes de base temporal (BT).
- ✓ Retard acomodatiu: amb el mètode del MEM.
- ✓ Disparitat de fixació (disparòmetre).

L'estudi més exhaustiu de la relació entre els resultats d'aquestes proves i el rendiment visual, es va analitzar al treball de final de grau previ on s'estudia el paper de l'observador en la visualització simulada del 3D. Tot i així en l'annex 2 es mostra una taula resum dels resultats d'aquestes proves realitzades a cada observador.

## 5. Resultats i discussió.

El tractament dels resultats obtinguts en l'estudi s'ha dut a terme mitjançant EXCEL, minitab i matlab. Les representacions gràfiques dels resultats s'han realitzat amb l'EXCEL. Amb el minitab, les anàlisis estadístiques realitzades són, principalment contrastos d'hipòtesis sobre igualtat de proporcions, que ens permeten valorar la significació estadística de les seves diferències. El matlab s'ha utilitzat bàsicament per ajustar funcions de dues variables als resultats experimentals i realitzar la representació gràfica dels resultats mitjançant un mapa de colors de les dades relatives al número d'encerts.

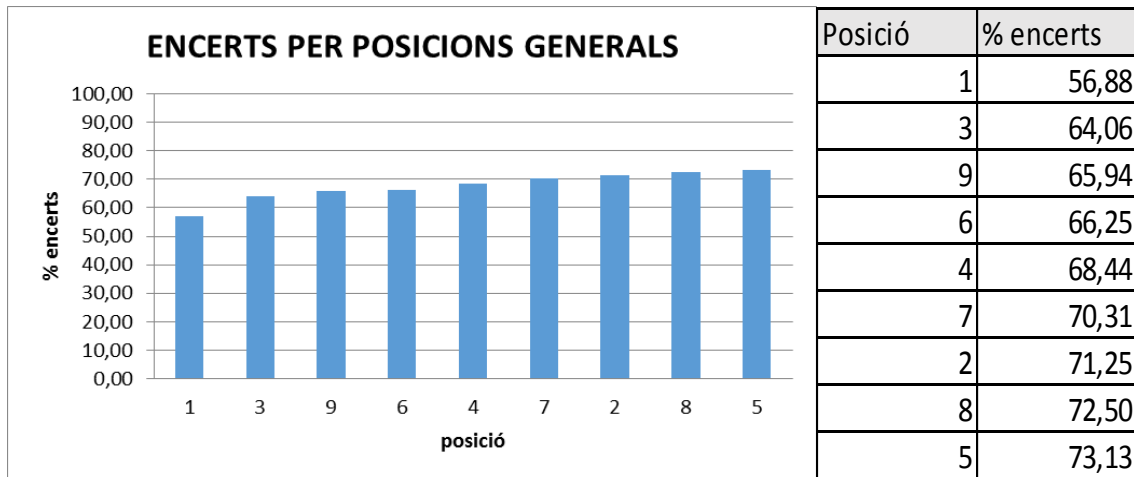
L'anàlisi estadística s'ha dividit en dos apartats. El primer on s'analitza el rendiment visual, mitjançant el número d'encerts de cada posició tenint present tot el conjunt de presentacions de forma global, el subconjunt de presentacions paral·leles i el subconjunt de presentacions creuades. En el segon apartat l'estudi es centra en analitzar com varia la disparitat binocular de les diferents presentacions i com influeix en el rendiment visual dels observadors des de les diferents posicions de l'aula. En aquest segon apartat, la discussió dels resultats requereix introduir el concepte de distorsió.

### 5.1. Rendiment visual en relació a la posició.

En aquest apart del treball s'analitza el percentatge d'encerts que aconsegueix tot el conjunt d'observadors des de les diferents posicions de l'aula. A continuació es fa una valoració comparativa del rendiment per posicions, per veure si les diferències observades són estadísticament significatives. Els resultats d'aquests contrastos es resumeixen mitjançant una matriu. Per visualitzar el comportament del rendiment des de qualsevol ubicació, es representa la funció de dues variables ajustada a les dades de rendiment de les 9 posicions examinades amb un mapa de colors de més baixos (blaus) a més alts (vermell).

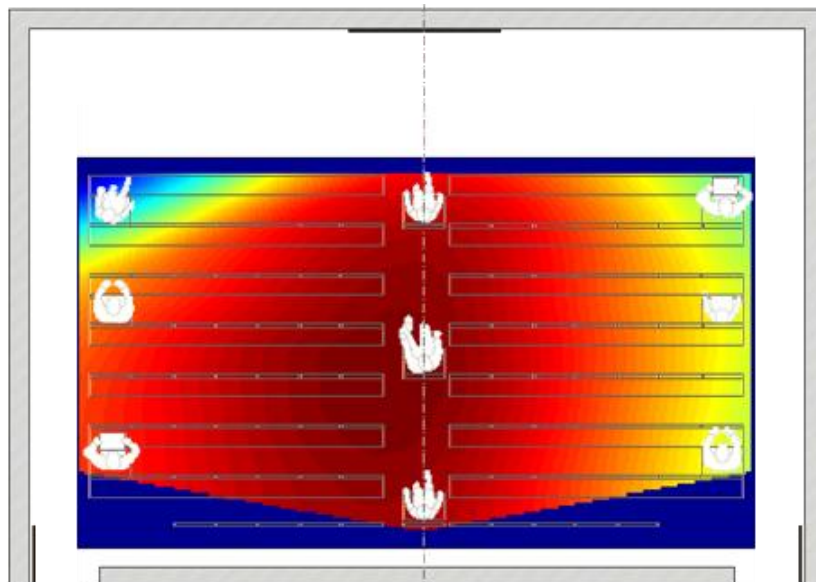
#### 5.1.1. Conjunt de totes les presentacions.

Els resultats obtinguts a partir del conjunt global de les 24 presentacions i els 16 observadors es presenta a la gràfica 5.1. En aquesta gràfica, els percentatges d'encerts obtinguts en cada posició han estat ordenats de menor a major. Com es pot apreciar les posicions laterals són les que tenen menors percentatges de encerts i és en les posicions centrals on aquests són majors. La diferència que s'aprecia entre els percentatges d'encerts per posicions oscil·la entre un mínim de 56.88% i un màxim de 73.13%, com podem apreciar en la taula 5.1.



*Gràfica 5.1. Representació del % d'encerts en les diferents posicions en ordre decreixent. Taula 5.1. Taula del % d'encerts per cada posició en ordre decreixent.*

La figura 5.1 mostra una representació més visual d'aquests resultats mitjançant una escala de colors on el color blau correspon a les posicions on els números de encerts són menors i el color vermell allà on els encerts son majors. Aquesta representació és una extrapolació de la realitat, ja que de fet només s'han analitzat nou posicions i en les altres es produeix una interpolació dels resultats. Tot així ens serveix per presentar d'una manera més visual i representativa dels resultats. En la figura 1 veiem que la posició 1 la més extrema esta en color blau més fosc, i la 5 la més central en color vermell més fosc. Podem apreciar com en la majoria de les posicions els observadors tenen un bon rendiment visual, però s'observa una lleugera asimetria respecte de l'eix de projecció, essent en les posicions lateral dretes on aquest és menor.



*Figura 5.1. Ajust a tota l'aula del número de encerts total per posicions*

Mitjançant una matriu presentem els contrastos sobre la igualtat dels resultats (rendiments) obtinguts en les diferents posicions per interpretar si presenten diferències significatives entre



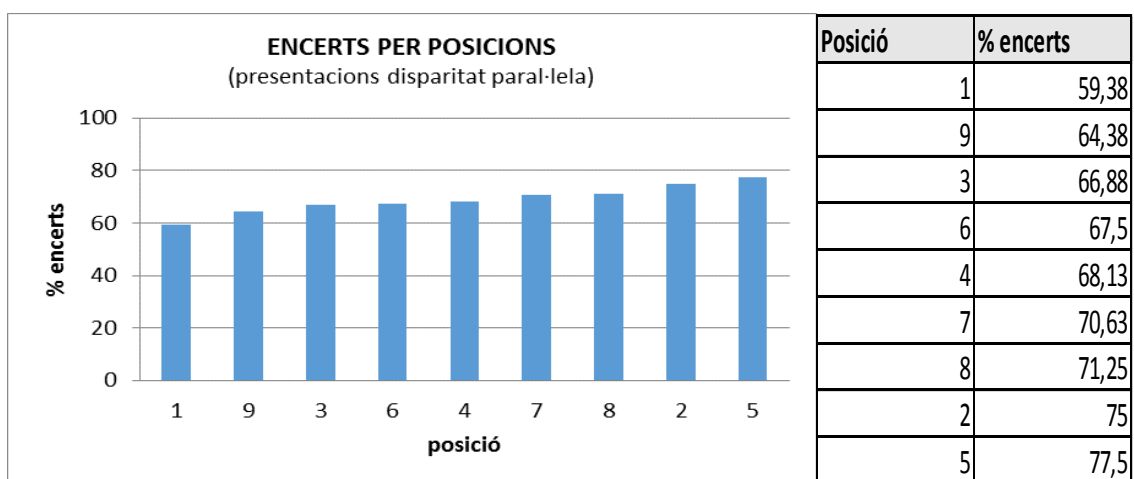
si, això es representa en la taula 5.2. Cada cel·la d'aquesta matriu presenta el P-valor que s'obté mitjançant el programa minitab al contrastar la igualtat entre els rendiments obtinguts en les diferents posicions. Les diferències significatives corresponen als P-valors  $< 0,05$ . Com es pot veure la posició 1, és la que té més valors per sota del 0'05, això vol dir que la proporció d'encerts que s'obté en aquesta posició és la que presenta més diferències significatives respecte de les altres posicions. Això concorda amb el que hem vist anteriorment: que aquesta posició és on el rendiment visual dels observadors és menor i per tant cometen més errors.

GENERAL	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 *	0	0,062	0,002	0	0,014	0	0	0,018	
2	0 *		0,051	0,438	0,597	0,172	0,794	0,725	0,147
3	0,062	0,051 *		0,241	0,013	0,561	0,092	0,021	0,619
4	0,002	0,438	0,241 *		0,192	0,555	0,607	0,259	0,5
5	0	0,597	0,013	0,192 *		0,058	0,429	0,859	0,048
6	0,014	0,172	0,561	0,555	0,058 *		0,269	0,086	0,933
7	0	0,794	0,092	0,607	0,429	0,269 *		0,54	0,234
8	0	0,725	0,021	0,259	0,859	0,086	0,54 *		0,071
9	0,018	0,147	0,619	0,5	0,048	0,933	0,234	0,071 *	

Taula 5.2. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per posició

### 5.1.2. Presentacions amb visualització paral·lela.

Les 10 presentacions on es percep el cercle central com més proper o el cercle perifèric com a més allunyat corresponen a disparitats paral·leles, en aquest cas com en l'anterior els percentatges d'encerts han sigut ordenat de menys a més. En general percentatge d'encerts per posicions es major que l'anterior amb totes les presentacions, tot així es manté la relació entre la proporció d'encerts en les respostes donades pels observadors i la posició d'observació. Com podem apreciar en la gràfica 5.2, les posicions laterals és on es produeixen menors nombres d'encerts, i en les central on aquests són majors. La diferència d'aquest percentatges per encerts oscil·len entre un mínim de 59,38% i un màxim de 77,50%, com mostra la taula 5.3.



Gràfica 5.2. Representació del percentatge d'encerts per posicions en disparitats paral·lel. Taula 5.3. Taula del % d'encerts per cada posició en ordre decreixent.

En quan a la representació en escales de colors (figura 5.2), veiem com hi ha una concentració d'encerts a la zona central, concretament en les posicions 2 i 5 es produeixen més números d'encerts. La visualització d'aquests resultats segueix presentant una asimetria on les posicions laterals situades a l'esquerra presenten menys números d'encerts.

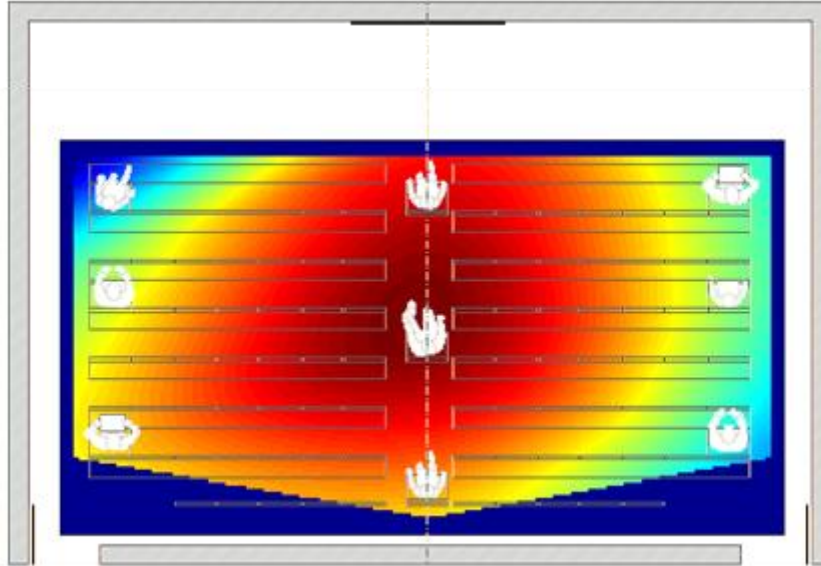


Figura 5.2. Ajust del número d'encerts. Presentacions amb disparitat paral·lela

Alhora de contrastar la igualtat entre els resultats obtinguts en les diferents posicions, en la taula 5.4, podem apreciar com la posició 1 torna a destacar com a la més significativament diferents entre les altres posicions, perquè continua sent on es produeix menys encerts, en aquest cas la posició 5 també hi destaca significativament com a diferents de les altres, ja que com hem pogut veure també en el mapa de colors és la on hi ha més números de encerts.

paral·lel	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	*	0,003	0,163	0,102	0,000	0,13	0,034	0,025	0,357
2	0,003	*	0,108	0,172	0,599	0,137	0,379	0,449	0,037
3	0,163	0,108	*	0,811	0,033	0,905	0,469	0,397	0,638
4	0,102	0,172	0,811	*	0,058	0,905	0,627	0,543	0,478
5	0,000	0,599	0,033	0,058	*	0,044	0,159	0,199	0,009
6	0,13	0,137	0,905	0,905	0,044	*	0,545	0,466	0,555
7	0,034	0,379	0,469	0,627	0,159	0,545	*	0,902	0,232
8	0,025	0,449	0,397	0,543	0,199	0,466	0,902	*	0,187
9	0,357	0,037	0,638	0,478	0,009	0,555	0,232	0,187	*

Taula 5.4. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per posició considerant només les presentacions amb percepció paral·lela

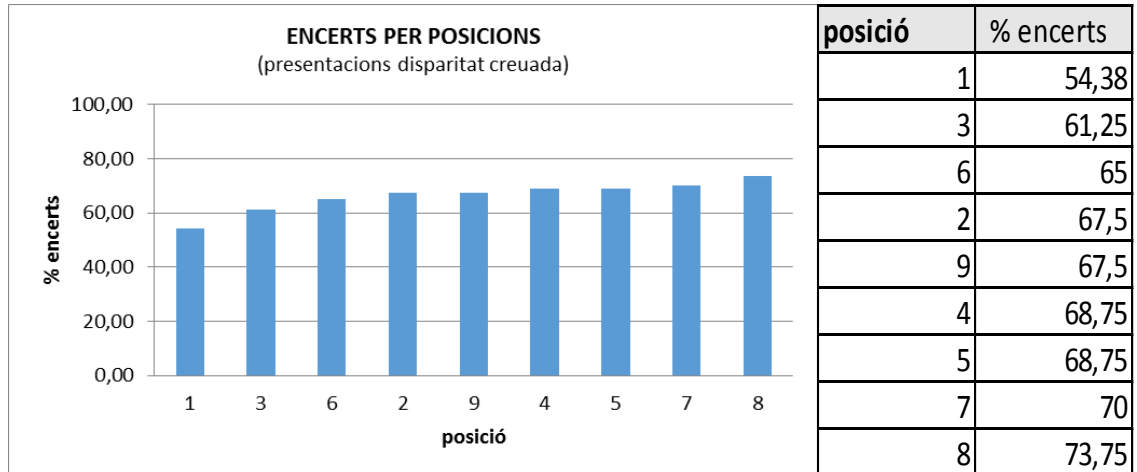
### 5.1.3. Presentacions amb visualització creuada.

Compensant l'increment en la proporció d'encerts observat per a les disparitats paral·leles, en el cas de les disparitats creuades, on el cercle central es percep més allunyat i el perifèric més proper, el percentatge d'encerts ha disminuït globalment en relació als casos anteriors.

El conjunt de presentacions creuades consta de 13 presentacions, però en l'anàlisi subsegüent hem prescindit de les presentacions 1, 13 i 14, que corresponen a les disparitats més petites. S'han descartat aquestes tres presentacions per tal que el resultat de les presentacions

creuades pugui ser comparable al de les presentacions paral·leles, ja que d'aquesta manera el rang de disparitats d'unes i altres és molt més homogeni.

En a quest cas l'ordre de les posicions per encerts ha variat. Com a posició on hi ha menys es manté la posició 1, tot així la distribució de la proporció d'encerts canvia notablement respecte les anterior, com podem apreciar en la gràfica 5.3.



Gràfica 5.3. Representació del percentatge d'encerts per posicions en disparitats creuades. Taula 5.5. Taula del % d'encerts per cada posició en ordre decreixent.

Aquesta uniformitat dels resultats i decadència en els encerts es veu reflexada en la figura 5.3, on les posició 1 i 3 destaquen pel seu color blau clar com a posició on hi ha menys encerts i la 8 una posició central i allunyada destaca pel seu color vermell intens, en les altres posicions es manté una uniformitat de colors grocs i taronges que li donen una representació més unitària a la que havien vist en els mapes anteriors.

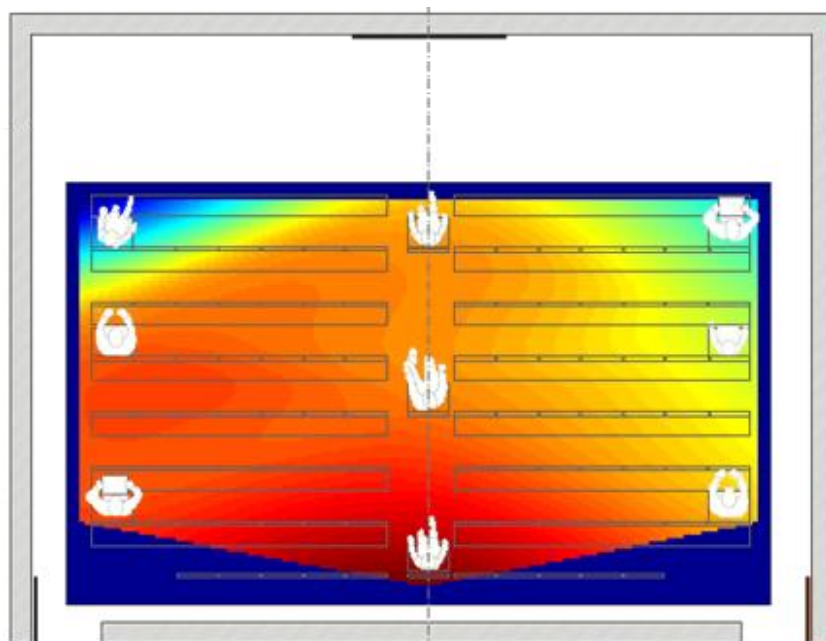


Figura 5.2. Ajust del número d'encerts. Presentacions amb disparitat creuada.

Encara que en les gràfiques de percentatges i en els mapes de color hem vist diferències amb els casos anteriors, al fer l'estudi de significació per valorar la igualtat de les proporcions d'encerts (taula 5.6) entre les diverses posicions, en aquest cas destaca únicament la posició 1, com passava en l'apartat 5.1.1, on veiem que els observadors tenen un comportament significativament diferent davant l'estímul en relació a les altres posicions, com a posició on hi ha menys encerts.

creuat	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 *		0,015	0,212	0,008	0,008	0,051	0,003	0	0,015
2	0,015 *		0,242	0,81	0,81	0,636	0,629	0,219	1
3	0,212	0,242 *		0,158	0,158	0,487	0,098	0,016	0,242
4	0,008	0,81	0,158 *		1	0,476	0,808	0,322	0,81
5	0,008	0,81	0,158	1 *		0,476	0,808	0,322	0,81
6	0,051	0,636	0,487	0,476	0,476 *		0,455	0,088	0,636
7	0,003	0,629	0,098	0,808	0,808	0,455 *		0,455	0,629
8	0	0,219	0,016	0,322	0,322	0,088	0,455 *		0,219
9	0,015	1	0,242	0,81	0,81	0,636	0,629	0,219 *	

Taula 5.6. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per posició considerant només les presentacions amb percepció creuada.

#### 5.1.4. Desviacions estàndards dels encerts per posicions.

Per concloure aquest apartat de resultats s'analitza el comportament dels observadors en cada posició. Abans ja hem presentat el percentatge mitjà d'encerts, ara examinem la variabilitat entre observadors a partir de les desviacions estàndards dels números de encerts per a cadascuna de les posicions (taula 5.7). En aquest cas en el mapa de colors el color blau clar corresponent a desviacions estàndards petites i els colors vermells a desviacions estàndards més grans.

posició	1	2	3	4	5	6	7	8	9
D.E encerts	6,821	7,710	6,237	7,920	6,976	8,376	7,338	7,509	8,384

Taula 5.7. Desviacions estàndards dels encerts per posicions.

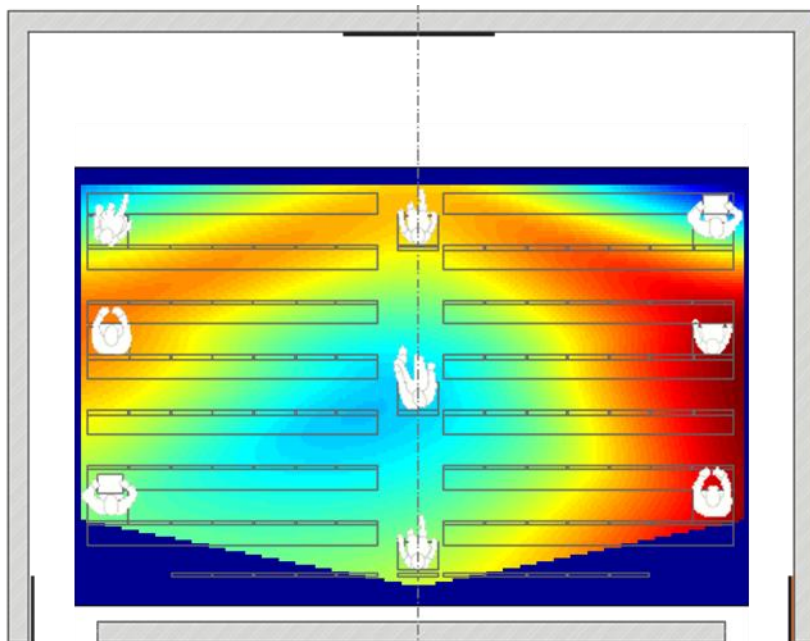


Figura 5.4. Mapa de distribució de desviacions estàndards, dels encerts per posicions.

Com veiem en la figura 5.4 les posicions 1, 3 i 5 és on es troben les desviacions estàndards més petites, com podem veure corresponen a les zones en color blau clar, sent aquestes posicions on les respostes donades pels observadors són menys disperses i hi ha menys variació de respostes. Les posicions 1 i 3 corresponen a les més extremes en quant a proximitat i obliquïtat i per tant on els observadors tendeixen donar menys respostes correctes, en contra la posició 5 és la més central i on els observadors tendeixen a encertar més respostes. Per un altre costat les posicions 9 i 6 acolorides amb un color vermell més intens és hi ha més dispersió i variabilitat de respostes. Les característiques de l'observador resulten ser més crítiques en aquestes posicions.

### 5.1.5. Discussions

Com hem pogut veure en els resultats analitzats, en el nostre estudi les presentacions amb disparitats paral·leles tenen un millor rendiment visual en relació a les creuades. Com es pot veure en l'estudi realitzat anteriorment "*crossed and uncrossed stereoacuity at distance and the effect from heterophoria*" (Lam et al., 2002), hi ha una contradicció amb els nostres resultats, ja que en l'estudi esmentat els observadors tenien un major rendiment visual en disparitats creuades. Aquesta diferència en els resultats ve donada per les característiques de l'estímul que hem utilitzat. D'aquesta manera la disparitat paral·lela del nostre estímul, equival a les creuades perceptualment; això es degut a que agafem el cercle perifèric com a punt fixe, atribuint-li la percepció de la disparitat al cercle central (que en el nostre cas és el fixe). Aquesta controvèrsia en la percepció de disparitats s'atribueix a la llei de percepció de la Gestalt corresponent a la figura-fons, definida com el procés perceptiu on focalitzem l'estímul central con a figura i la estímul perifèric que l'envolta com a fons. (Mindmatic, 2014)

En relació a les posicions més i menys favorables per a la visualització del 3D simulat, en l'article "*Vamos al cine 3D*" publicat en la revista *IMO* (<http://www.imo.es/2011/07/25/vamos-al-cine-en-d/>), coincideixen i recomanen la visualització del 3D a les posicions més centrades respecte a la pantalla de la sala de projecció, en el nostre treball la posició on hi havia un millor rendiment visual corresponia a la posició 5, la més central de la nostra sala de projecció. En aquest article també recomana no situar-se en posicions laterals i properes, ja que suporta un sobre esforç visual per l'observador, aquest sobre esforç visual es veu reflexat en el nostre treball com a rendiment visual, identificant la posició 1, la més propera i lateral, de la nostra sala de projecció com a la posició menys favorable per la visualització del 3D simulada.

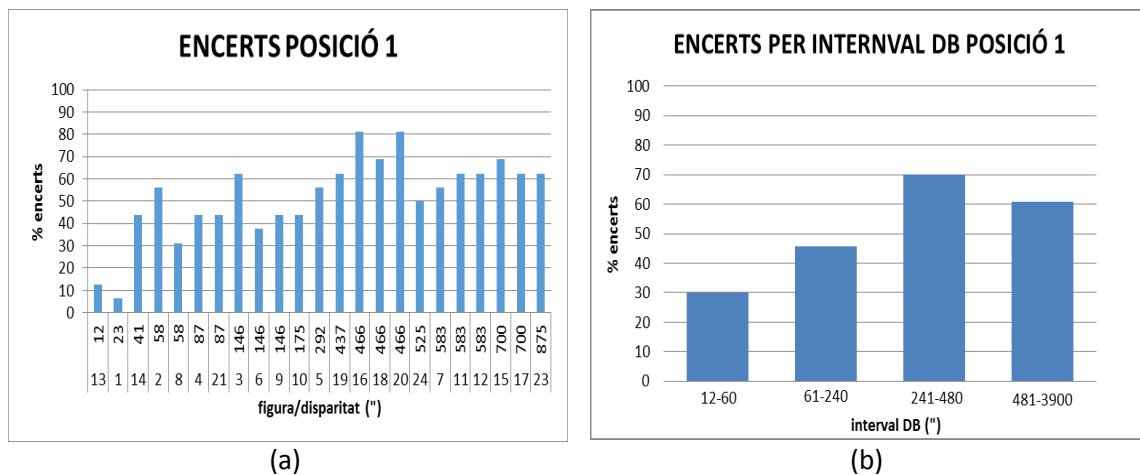
### 5.2. Efecte de la disparitat binocular en cada posició.

En aquest apartat, fem l'anàlisi estadística de la variabilitat del percentatge d'encerts segons la disparitat binocular de les diferents presentacions en relació a les diferents posicions experimentals i com afecta a la demanda visual per part de l'observador. Aquest anàlisi es duu a terme agrupant en intervals les disparitats de les 23 presentacions on hi ha disparitat binocular, excloent la presentació 22 on no hi ha disparitat binocular. S'agrupen concretament en quatre intervals de disparitats que ens permeten donar una visió global del comportament, per donar una explicació més acurada del que passa a les diferents posicions hem agrupat les 23DB de cada posició en quatre intervals de DB: [0,60], [61,240], [241,480] i [481,màxim] en

segons d'arc, com s'il·lustra en les gràfiques ENCERTS PER INTERVALS DE POSICIÓ. S'ha calculat la proporció d'encerts per a cadascun d'aquests intervals i se n'ha contrastat la igualtat. Els resultats dels contrastos es presenten per a cada posició en una matriu on es recull la significació estadística de les sis comparacions que es fan.

### 5.2.1. Resultats per posició.

En les gràfiques 5.4 a i b, es mostra el percentatge d'encerts de les 23 presentacions que tenen disparitat binocular en la posició 1, aquestes estan ordenades a de menor a major grau de disparitat. Com podem veure en la gràfica 5.4.a, les presentacions tenen disparitats binoculars petites això implica que l'observador tingui un menor rendiment visual. Si observem la gràfica 5.4.b, veiem que el percentatge d'encerts augmenta de manera creixent a mesura que augmenta l'interval de DB, però apreciem una decaiguda entre l'interval [241-480] i [481-3900].



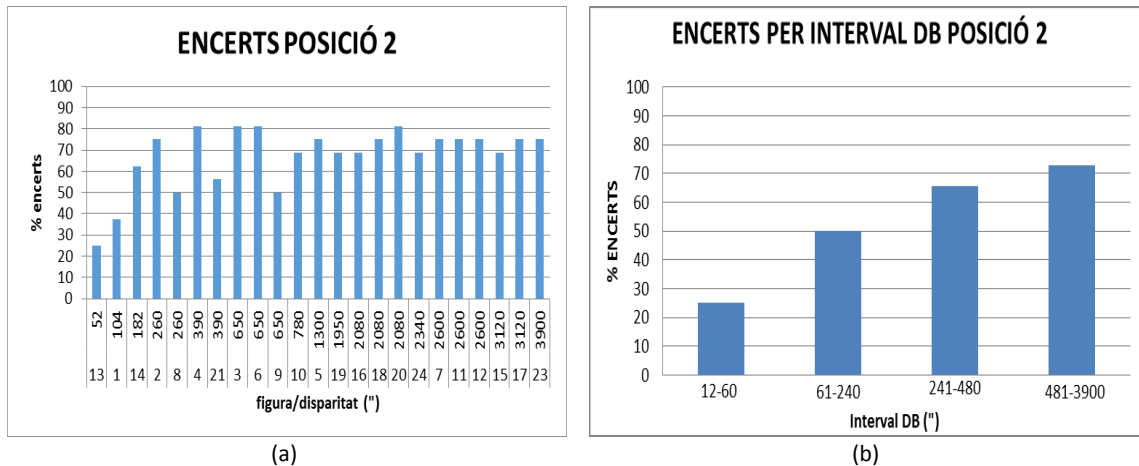
Gràfica 5.4. (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 1.

Aquestes proporcions d'encerts són significativament diferents entre si (taula 5.8), excepte en el cas de [241,480] i [480, màxim], en el que no es pot descartar que siguin iguals.

	DB 12-60	DB 61-240	DB 241-480	DB 481-3900
DB 12-60	**	0,028	<0,0005	<0,0005
DB 58-240		**	<0,0005	0,03
DB 241-480			**	0,089
DB 481-3900				**

Taula 5.8. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 1

Les gràfiques 5.5 a i b, fan referència a la posició 2. Com podem apreciar a la gràfica 5.5.a les disparitats de les presentacions es fan més gran fent que els observador cometin més encerts. A la gràfica 5.5.b, veiem com el percentatge d'encerts augmenta a mesura que els intervals de DB també ho fan, mantenint una relació directa.



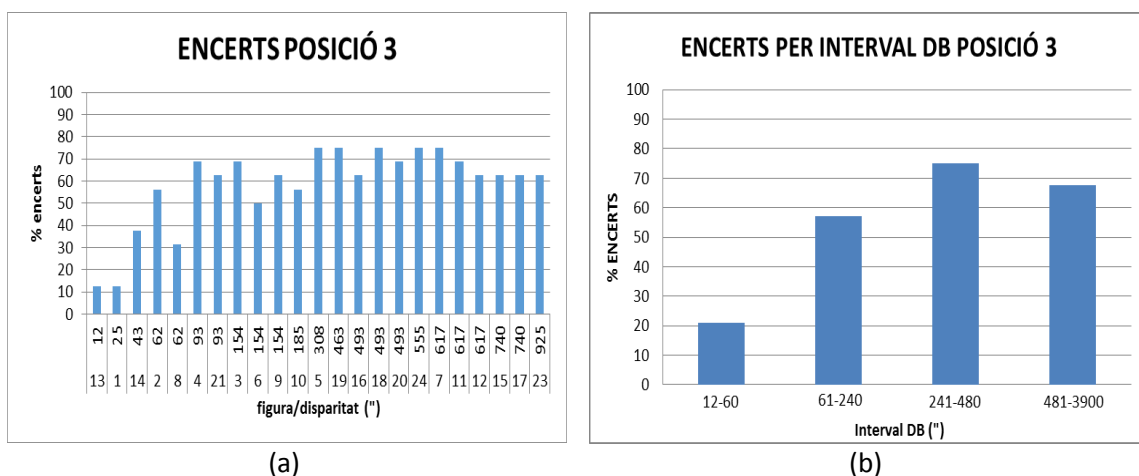
Gràfica 5.5 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 2.

En aquest cas les proporcions corresponents a disparitats baixes [0,60] i [61,120] són significativament diferents de les proporcions corresponents a disparitats altes [241,480] i [480, màxim]. Però no hi ha diferències significatives entre les dues baixes ni entre les dues altes. (taula 5.9).

	DB 12-60	DB 61-240	DB 241-480	DB 481-3900
DB 12-60	**	0,127	0,005	<0.0005
DB 58-240		**	0,185	0,013
DB 241-480			**	0,282
DB 481-3900				**

Taula 5.9. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 2.

En la posició 3 com podem veure en les gràfiques 5.6.a i b, el comportament dels observadors és similar al de la posició 1. En la gràfica 5.6.a corresponent al percentatge d'encerts per presentació també presenta disparitats més baixes, tot i que el percentatge d'encerts augmenta en general. Quan aquest encerts els analitzem per intervals (gràfica 5.6.b) observem que com en la posició 1 els encerts entre l'interval [241-480] i [481-3900] torna a decaure.



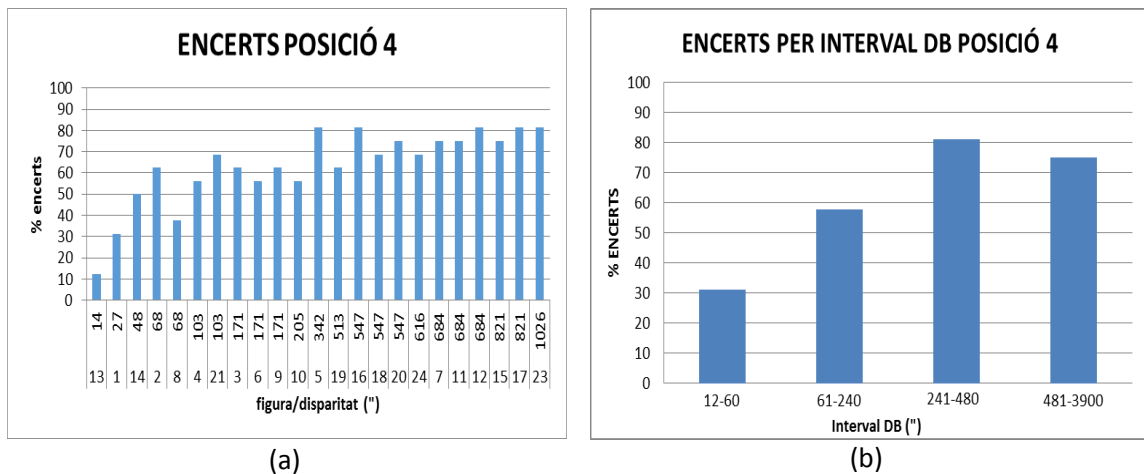
Gràfica 5.6 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 3.

En la posició 3, només la proporció corresponent a les disparitats més baixes [0,60] es diferencia significativament de tota la resta, que no presenten diferències significatives. (taula 5.10)

	DB 12-60	DB 61-240	DB 241-480	DB 481-3900
DB 12-60	**	<0.0005	<0.0005	<0.0005
DB 61-240		**	0,071	0,086
DB 241-480			**	0,532
DB 481-3900				**

Taula 5.10. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 3.

En la posició 4 com s’ha apreciat a la gràfica 5.7.a. el grau de disparitat comença a assemblar-se més al observat en la posició 2, al augmentar aquest grau de disparitat també ho fa el percentatge de encerts. Tot així si observem la gràfica 5.7.b es segueix el mateix patró de resposta que les posicions laterals 1 i 3.



Gràfica 5.7 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 4

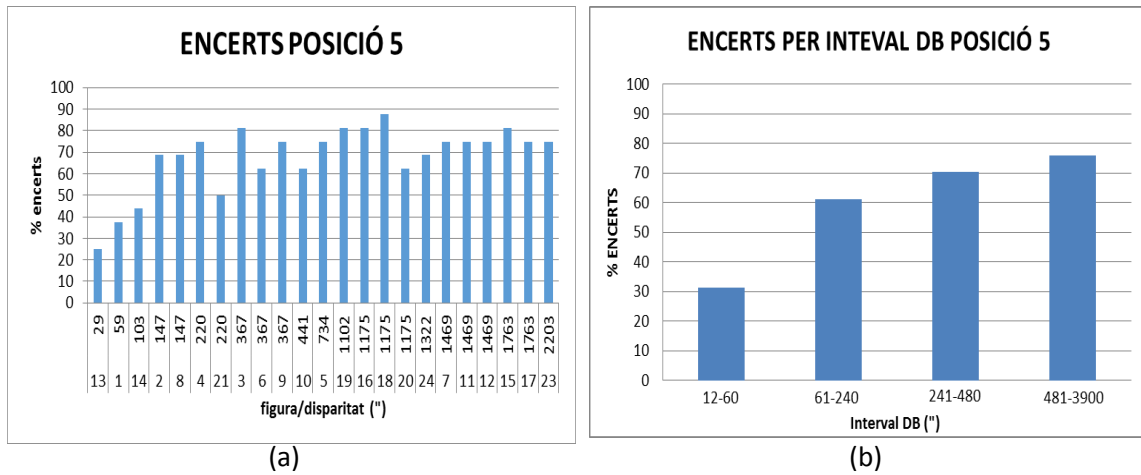
En relació a la significació estadística com veiem en la taula 5.11, s’aprecia com a part presentar diferències significatives l’interval de disparitats més baixes també hi ha diferència significativa entre interval [61-240] i l’interval [481-3900].

	DB 12-60	DB 61-240	DB 241-480	DB 481-3900
DB 12-60	**	0,002	0,001	0
DB 61-240		**	0,103	0,002
DB 241-480			**	0,765
DB 481-3900				**

Taula 5.11. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 4.

Respecte a la posició 5, que correspon a una posició central, podem veure tant en les gràfiques 5.8.a i b, com en la taula 5.12; que els observadors tenen un comportament similar al que es mostra en la posició 2.



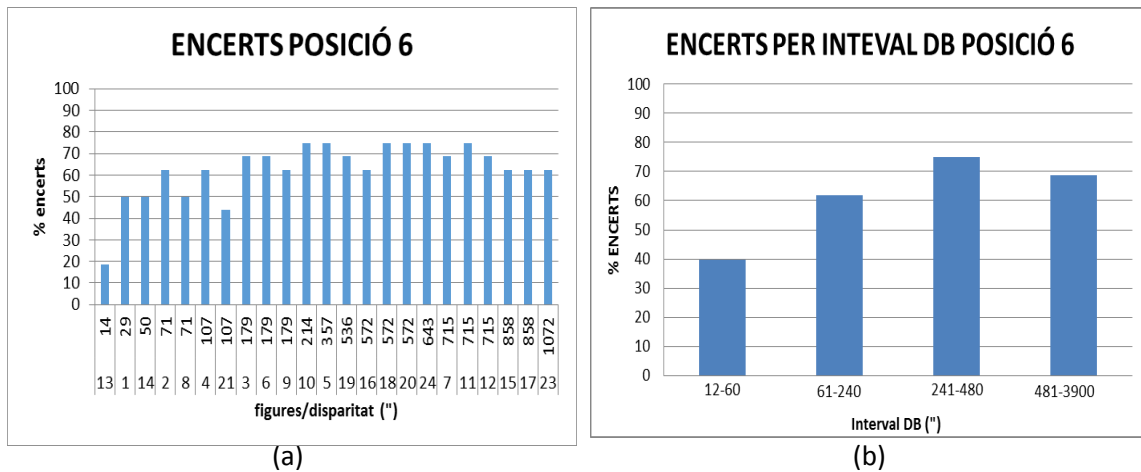


Gràfica 5.8 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 5

	DB 12-60	DB 61-240	DB 241-480	DB 481-3900
DB 12-60	**	0,002	0	0
DB 61-240		**	0,293	0,018
DB 241-480			**	0,377
DB 481-3900				**

Taula 5.12. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 5.

La posició 6 com a posició lateral, podem veure en les gràfiques 5.9.a i b i taula 5.13, com els observadors es comporten de manera similar a les posicions 1,3 i 4, aquestes també laterals.



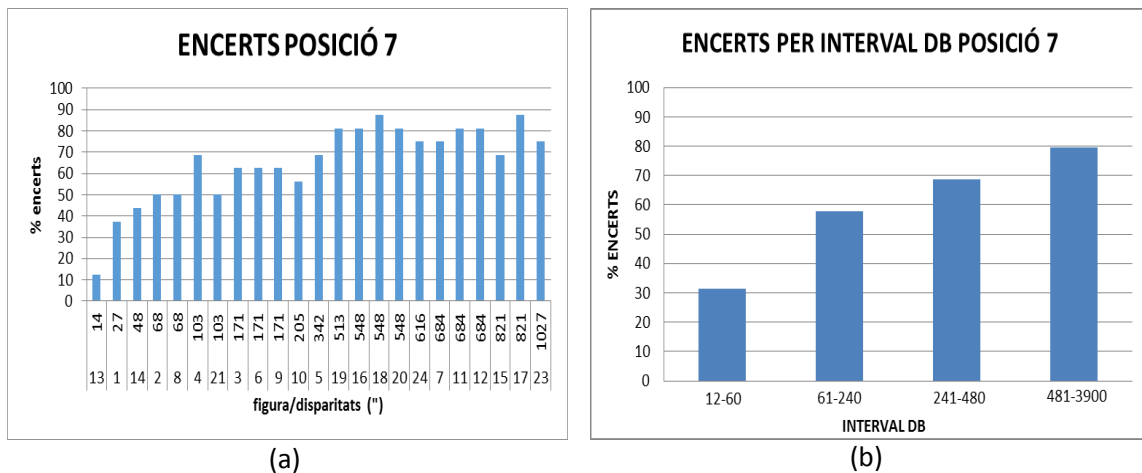
Gràfica 5.9 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 6

	DB 12-60	DB 61-240	DB 241-480	DB 481-3900
DB 12-60	**	0,011	0,021	0
DB 61-240		**	0,412	0,222
DB 241-480			**	0,78
DB 481-3900				**

Taula 5.13. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 6.

En les posicions més allunyades com podem veure en les gràfiques 5,10 a i b; 5,11,a i b; o 5,12,a i b; els observadors augmenten el percentatge de encerts per presentacions i en el cas de les gràfiques d'encerts per intervals el percentatge d'encerts augmenta a mesura que ho fan els intervals de DB, on apreciem que en posició lateral com la 7 i 9 ja no es manifesta la decaiguda dels encerts entre els última interval, corresponent a les disparitats més altes.

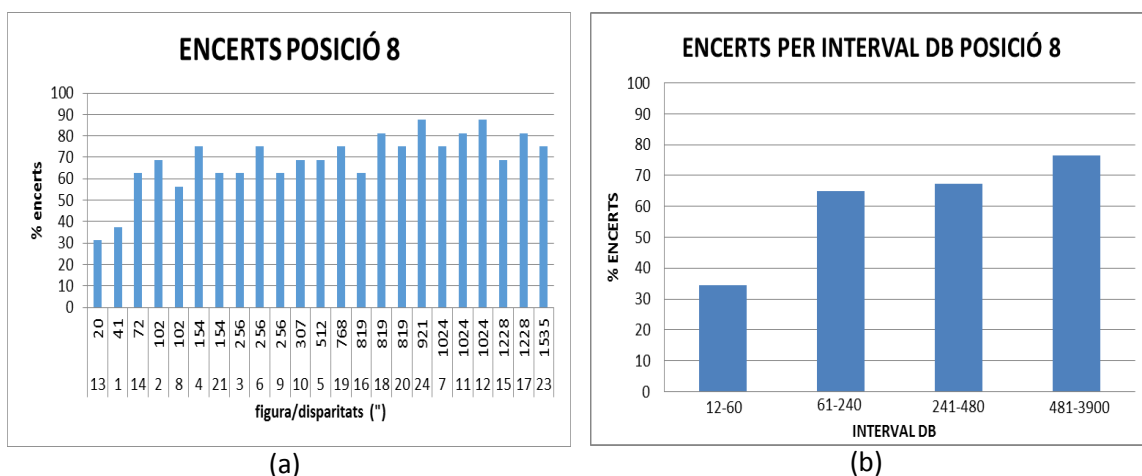
En quan a la significació estadística en les posicions 7 (taula 5.14) i 9 (taula 5.16) mostren diferències significatives entre els intervals com les interpretades en la posició 4. Respecte a la posició 8 (taula 5.15) segueix el patró de diferències significatives de les posicions centrals, la 2 i la 5.



Gràfica 5.10 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 7

	DB 12-60	DB 61-240	DB 241-480	DB 481-3900
DB 12-60	**	0,002	0,017	0
DB 61-240		**	0,591	0
DB 241-480			**	0,341
DB 481-3900				**

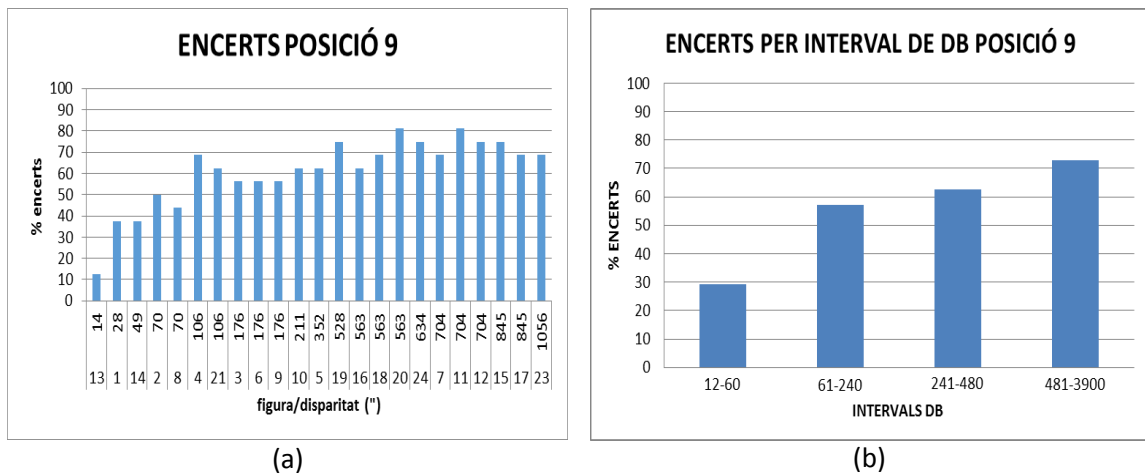
Taula 5.14. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 7.



Gràfica 5.11 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 8

	DB 12-60	DB 62-240	DB 241-480	DB 481-3900
DB 12-60	**	0,006	0,004	0
DB 61-240		**	0,86	0,053
DB 241-480			**	0,141
DB 481-3900				**

Taula 5.15. Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 8.



Gràfica 5.12 (a) Representació del percentatge d'encerts per figures i (b) per intervals de DB en la posició 9

	DB 12-60	DB 61-240	DB 241-480	DB 481-3900
DB 12-60	**	0,001	0,035	0
DB 61-240		**	0,792	0,005
DB 241-480			**	0,393
DB 481-3900				**

Taula 5.16 Significació de la diferència de rendiments visuals mitjans de tots els observadors per intervals de disparitat binocular en la posició 9.

Com a comentari general en relació a la significació estadística entre els diferents intervals de DB, cal destacar que el rendiment corresponent a l'interval de disparitats 12-60 és significativament menor a la resta de disparitats en totes les posicions.

En la posició 1 els rendiments en els diferents rangs de DB són pràcticament significativament diferents entre sí, tenint en compte que és la posició on les DB de les 23 presentacions són més baixes, implicant que l'observador tingui que fer un esforç visual major donant lloc a una baixada en els percentatges d'encerts.

### 5.2.2. Rendiments visuals en les posicions extremes.

Al fer aquestes agrupacions per DB, ens ajuda a tenir una visió més global del que passa en cada posició. Com ja hem comentat anteriorment en les posicions 1 i 3, les més extremes en quant proximitat i obliquïtat, veiem que a mesura que augmenten els valors de DB el nombre d'encerts també ho fa, però per a les disparitats més grans torna a decreixer. Això es degut a que en l'interval de DB 481-3900, és on els dos cercles perifèrics estan més separats entre si

fent que les dues imatges tinguin més dificultat per ser fusionades pels observadors i es produeixi un fenomen que analitzarem tot seguit i que nosaltres anomenem distorsió. Aquest fenomen de distorsió també es veu reflectit en els gràfics de les posicions 4 i 6, aquestes a una distància més allunyada però que també presenta un grau d'obliquïtat significatiu per a la interpretació de l'estímul.

### 5.2.3. El fenomen de distorsió.

En l'apartat immediatament anterior hem fet referència al concepte de distorsió, per explicar el comportament del percentatge d'encerts en les posicions laterals 1, 3, 4 i 6, que anava augment en relació a l'augment del rang dels interval de DB, però quan passaven de disparitat superiors als 480" d'arc es produïa una baixa del percentatges d'encerts.

Mitjançant el programa EXCEL de Microsoft s'ha calculat, per les presentacions amb major DB, la configuració de 3D percebuda pels observadors des de totes les posicions. En aquest apartat es mostren els resultats obtinguts per les posicions 1 (la més extrema) i la posició 5 (la més centrada) per tal d'evidenciar les principals diferències perceptuals entre elles. Com s'ha pogut veure en la figura 4 de l'apartat 5.1.2, aquestes posicions destacaven com a menys disperses on els observadors tenien rendiments visuals similars. En la posició 1 es produïa el menor nombre encerts i en la posició 5 és on aquest era major.

#### 5.2.3.1 Interpretació de les gràfiques.

El que s'ha calcular amb l'EXCEL és la posició aparent 3D dels punts A,B,C,D,E,F,G i H, representats en la figura 5, sobre la presentació 22 que no mostra disparitat binocular.

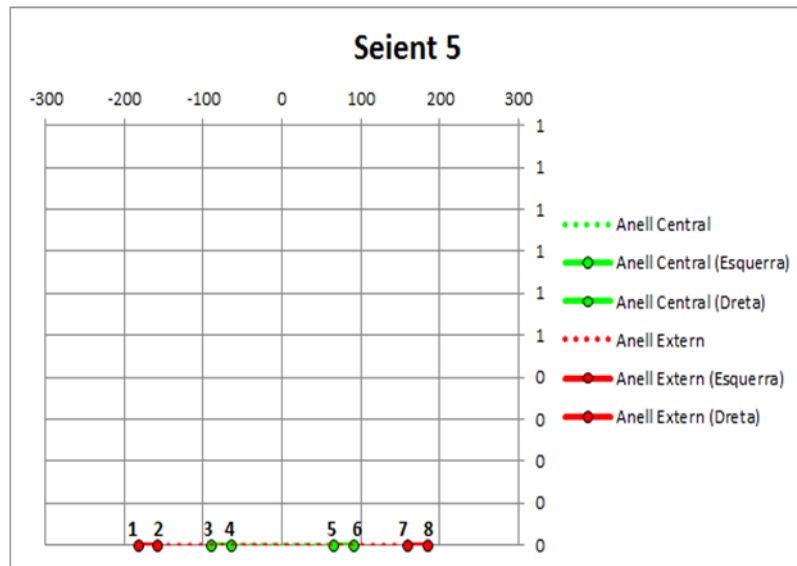


Anell Central: definit per la línia que uneix el punt C amb F.  
 Anell central esquerre: Correspon al punt C i D.  
 Anell central dret: Correspon al punt E i F.  
 Anell extern: definit per la línia que uneix el punt A amb H.  
 Anell extern esquerre: Correspon al punt A i B.  
 Anell extern dret: Correspon al punt G i H.

Figura 5.5. Presentació 22

A l'hora d'aclarir els punts de les gràfiques, també s'ha utilitzat la presentació 22, i la posició 5 on podem apreciar d'una manera clara i entenedora el que percep l'observador.

Com podem veure en la gràfica 5.13 els punts 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 i 8 representen els punts A,B,C,D,E,F,G i H, de la figura 5.5. Aquests punts corresponen al que l'observador percep a l'observar els 4 intervals AB, CD, EF i GH de la presentació.



Gràfica 5.13. Simulació de la percepció de la presentació 22 des de la posició 5.

Punt 1 i 2: visualització de l'anell extern esquerra per l'UE i l'UD

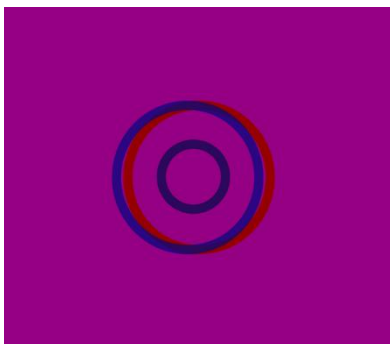
Punt 3 i 4: visualització de l'anell central esquerra per l'UE i l'UD.

Punt 5 i 6: visualització de l'anell centra dret per l'UE i l'UD.

Punt 7 i 8: visualització de l'anell extern dret per l'UE i l'ED

### 5.2.3.2. La distorsió en les presentacions paral·leles.

Per representar la distorsió paral·lela s'utilitza la presentació 15 ( figura 5.6), on la separació entre els anells blaus i vermells és  $\Delta x = -45\text{mm}$ , la més gran de les utilitzades



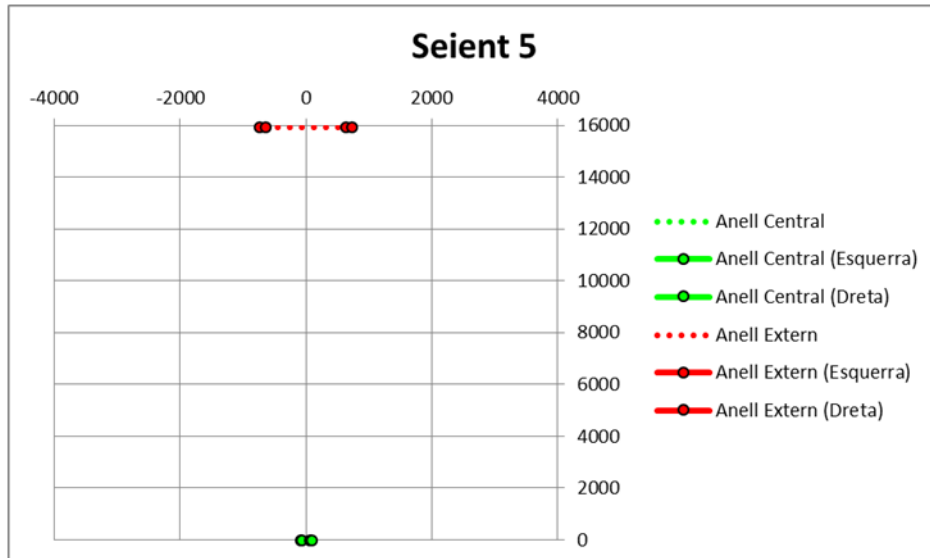
Al representar la visió paral·lela, la imatge de l'UD es representada a la dreta i la imatge de l'UE a l'esquerra, donant una percepció de profunditat on l'anell extern es percebent com a més llunyà i el central com a més proper. Aquesta visió ve determinada per les ulleres anaglífiques, on l'UE té el filtre vermell i per tant visualitza l'anell blau, i l'ED té el filtre blau i per tant visualitza l'anell vermell.

Figura 5.6. Presentació 15.

En les següents gràfiques es veuen representades les visualitzacions corresponents a les posicions 5 i 1. Aquesta alteració en l'ordre de l'explicació respecte a les posicions, es degut a que la posició 5, corresponent a una posició central és la més favorable, ja que com podem veure en la gràfica no es produeix distorsió de la percepció i ens dona una representació de l'efecte de profunditat experimentada per l'observador.

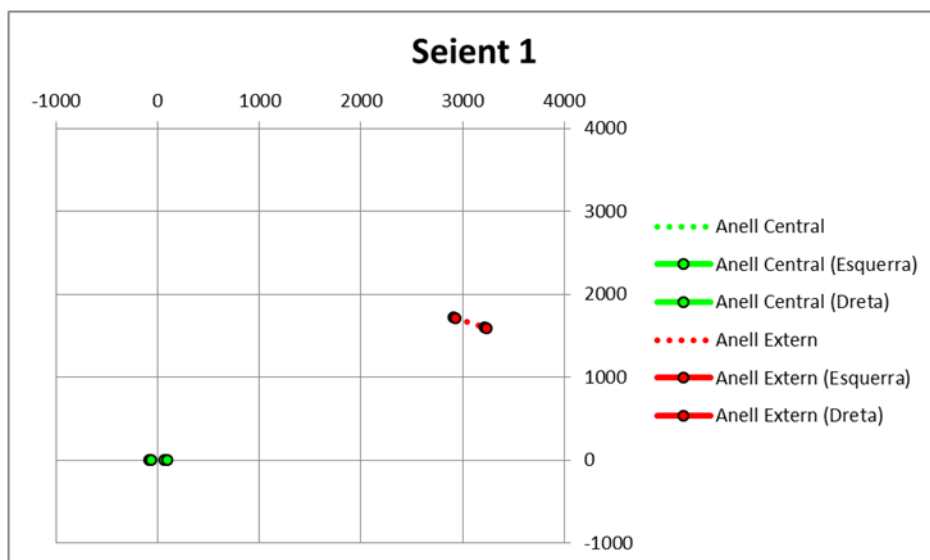
L'eix vertical ens determina la profunditat de la visualització, on el punt 0 de la gràfica correspon al pla principal de projecció, és a dir, la pantalla i on es manté la percepció fixa de

l'anell central i a una distància de 18000mm per darrere d'aquest pla és on percebríem l'anell extern. L'eix horitzontal ens indica, en aquest cas, que cada un dels anells es situa perceptualment en plans paral·lels entre sí i perpendiculars a la línia de mirada de l'observador. A més els dos anells es perceben com a concèntrics i la imatge 3D és simètrica. (gràfica 5.14)



Gràfica 5.14. Simulació 3D de la presentació 15 en la posició 5.

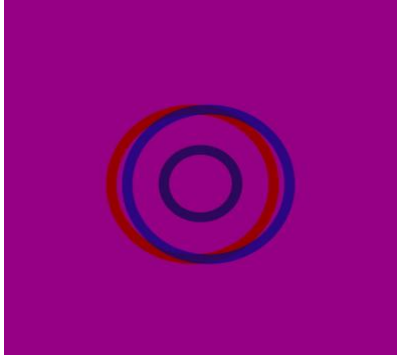
En canvi, la imatge 3D percebuda des de la posició 1, representada en la gràfica 5.15, no presenta aquesta simetria. Els plans on es visualitzen cada un dels anells no són paral·lels entre sí, ni perpendicular a la línia de mirada de l'observador. A més els anells no es perceben concèntrics. Per això diem que des de la posició 1 l'estímul es percep distorsionat, no simètric.



Gràfica 5.15. simulació 3D de la presentació 15 en la posició 1.

### 5.2.3.3. La distorsió en les presentacions creuades.

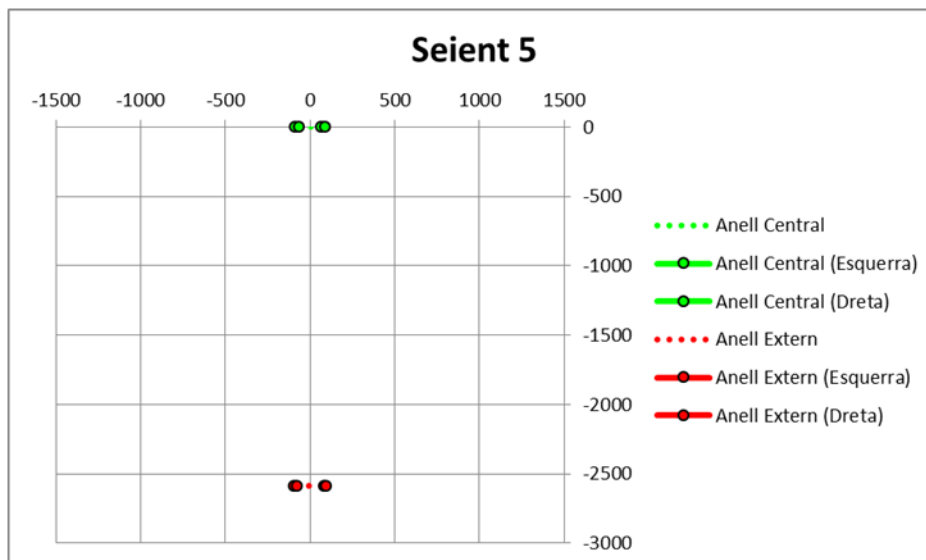
Al representar la distorsió creuada em utilitzat la presentació 23 (figura 5.7), amb una separació entre els anells blaus i vermells de  $\Delta x = 57\text{mm}$ , corresponent a la major separació en el cas creuat.



En la representació creuada, la imatge de l'UE es visualitzada a la dreta i la imatge de l'UD cap a l'esquerra. D'aquesta manera es percep l'anell extern com a més pròxim o l'anell central com a més allunyat.

Figura 5.7. Presentació 23

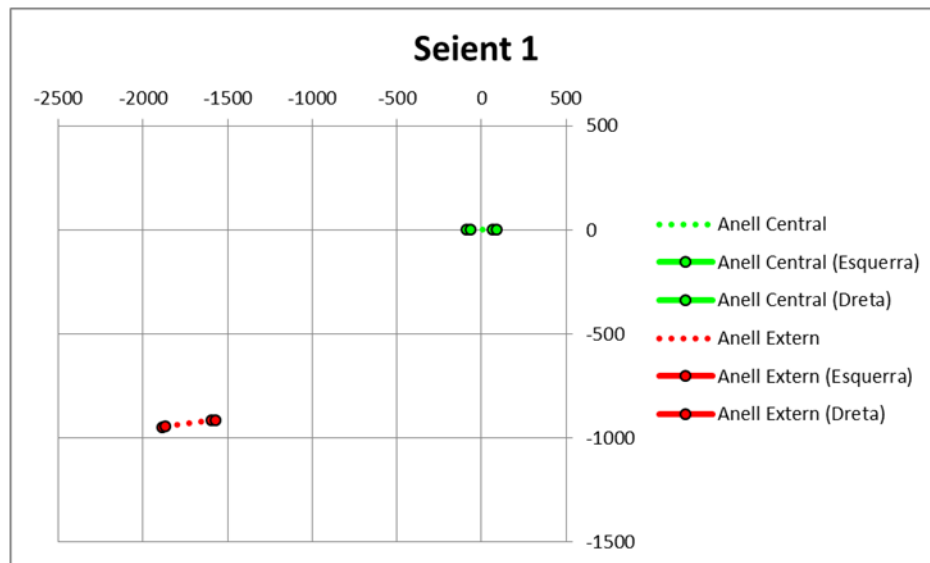
Com en el mateix cas de la visualització paral·lela, en les gràfiques de distorsió, el 0 de l'eix vertical correspon al pla principal on s'hi veu representat l'anell central, que és el fix. En aquest cas en la posició 5 l'anell extern es veu representat a  $-2500\text{mm}$ . El signe menys indica que la seva percepció es visualitzada per davant de la pantalla. En la gràfica 5.16, podem veure com cada anells es situa perceptualment en plans paral·lels entre sí i perpendicular a la línia de mirada de l'observador i com en la presentació 15 els dos anells es perceben com a concèntrics donant-nos una imatge 3D simètrica.



Gràfica 5.16. Simulació de la presentació 23 des de la posició 5.

En la posició 1, en la percepció de l'anell extern, degut a la proximitat de la posició es percep com a més pròxim, que en la posició 5. En aquest cas també podem apreciar com es perd la simetria de la visualització del 3D, ja que els plans on es visualitzen cada un dels anells no són ni paral·lels ni perpendicular a la línia de mirada, fent que es deixin de percebre com dos anells

concèntrics. Igual que en el cas paral·lel, també es pot dir que aquesta asimetria conjunta ens doni una percepció distorsionada de l'estímul.



Gràfica 5.17. Simulació de la presentació 23 des de la posició 1.

#### 5.2.4. Discussió.

En aquest apartat dels resultats hem pogut veure com la disparitat binocular varia en relació a la posició de l'observador i això influeix en el seu rendiment visual, en l'article "*Configuration stereopsis: a new look at the depth-disparity relation*" (Richards, 2009), es confirmen els resultats obtinguts, ja que en aquest estudi es descriuen els factors que configuren la visió estereoscòpica i la distància d'observació és un d'aquests factors. Aquest canvis de disparitats, en aquest article definida com a disparitat angular, té un relació inversa amb la distància d'observació. Això implica que l'estímul.

Aquests canvis angulars impliquen canvis en la visualització del 3D simulat, produint distorsions depenent de la distància d'observació. Com podem apreciar en els nostres resultats aquesta distorsió es presents en les posicions més laterals i extremes. Tot així en les posicions centrals aquesta distorsió es compensada per la constància de la forma, coneixement que ens permet fer correcció perceptual de les disparitats binoculars.



## 6. Conclusions.

Les conclusions finals que s'extreuen d'aquest treball són:

- Amb els estímuls utilitzats s'observa un millor rendiment visual en les presentacions amb disparitats binocular paral·leles que en les creuades.
- En el test conjunt és en la posició 5 on hi ha un millor rendiment visual i en la posició 1 on aquest és pitjor. En les presentacions paral·leles continua destacant la posició 5 i la posició 1. En quant a les presentacions creuades on hi ha un millor rendiment visual és en la posició 8, sent com en els altres casos la posició 1 on hi ha un menor rendiment visual.
- La variació del rendiment visual dels observadors en relació a la posició és asimètrica. A més, hi ha posicions en que les característiques visuals de l'observador semblen tenir més pes de cara al rendiment.
- El rendiment visual dels observadors en funció a la DB és diferent segon la posició, degut a la interacció que hi ha entre la posició i la DB de la presentació.
- En les posicions extremes 1,3,4 i 6 el rendiment creix fins a 480" i a partir d'aquí decreix lleugerament. En canvi en la resta de les posicions el rendiment creix en funció de la DB.
- El baix rendiment obtingut en les posicions extremes per DB altes, es pot explicar a partir de la geometria 3D asimètrica lligada a l'estímul.

## **7. Implicacions ètiques, legals i de protecció de dades**

Aquest treball és estrictament fidel a la llei orgànica 15/1999, del 13 de Desembre. Respecta la “Protecció de Dades de caràcter personal” que garanteix i protegeix, allò que correspon al tractament de dades personals, llibertats públiques i drets fonamentals de les persones que hagin participat en la tasca. També s’han complert totes les implicacions ètiques i socials lligades a la competència transversal.

## 8. Bibliografía.

### LLIBRES I ARTICLES:

BORRAS R, GISPETS J, ONDATEGUI JC, PACHECO M, SÁNCHEZ E, VARÓN C. *Visión binocular, diagnóstico y tratamiento*. Ediciones UPC; 2010.

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.

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.

RICHARDS W. *Configuration stereopsis: a new look at the depth-disparity relation*. *Spatial Vision*, Vol.22 nº1, pp. 91-103; 2009. <http://www.brill.nl/sv>

TÀPIES, M; ÁLVAREZ, J.L. *Visió Binocular*. <http://ocw.upc.edu/curs/20281/259>. 2010.

### PÀGINES WEB.

Área oftalmológica avanzada, DR. Vergés. *Pantallas en 3D. Una tecnología avanzada que puede afectar a la visión*. Available: <http://oftalmologia-barcelona.com/2011/12/09/117/> (ultima consulta 25.05.2014)

Cine y educación, Aularia digital. *El cine en tres dimensiones*. Available: <http://www.uhu.es/cine.educacion/cineyeducacion/3D.htm> (ultima consulta 25.05.2014).

Clínica Rementaria. *Estereopsis*. Available: . <http://www.cirurgiaocular.com/index.php/lavision/pruebas-diagnosticas/estereopsis-o-vision-3d.html> (ultima consulta 25.05.2014).

Doberman. *Adentrándonos en el mundo 3D*. Available: <http://doberman.creatuforo.com/adentrandonos-en-el-mundo-3d-tema1553.html> (ultima consulta 25.05.2014)

El universo de Wavens. *Estereogramas*. Available: <http://eluniversodewavens.blogspot.com.es/2011/06/estereogramas.html> (ultima consulta 25.05.2014)

INSTITUTO DE MICROCIRUGÍA OCULAR. *Vamos al cine 3D*. Available: <http://www.imo.es/2011/07/25/vamos-al-cine-en-d/> (ultima consulta 10.06.2014).

Mindmatic. *Las Leyes de la Gestalt*. Available: <http://www.mindmatic.com.ar/gestalt.pdf> (ultima consulta 10/06/2014)

Sky. *Should I get a 3D TV?*. Available: [www.sky.com](http://www.sky.com).

## 9. Annexos

**Annex 1:** Full de respostes on els observadors tenien que anotar els resultats del test.

### 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.

VERSÍO:

B	C	D
---	---	---

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. Resultats de les proves optomètriques.

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
AI	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
AI	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