



## **GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA**

### **TREBALL FINAL DE GRAU**

# **Influència de la disparitat binocular horitzontal de l'estímul i de la posició d'observació en la visió 3D simulada**

**VÍCTOR AGUILAR MARTÍNEZ**

DIRECTOR: José Luís Álvarez Muñoz  
CODIRECTORA: Núria Lupón Bas  
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

Terrassa, 26/01/2015



Avui en dia, les projeccions audiovisuals en 3D estan entrant amb força a les nostres vides. Però, no tothom està preparat per suportar-les. Deixant de banda els problemes visuals que es tinguin per a poder veure-les, indagant en temes de visió binocular –com l’horòpter, l’espai de Panum o la convergència-, aquest treball intenta analitzar quina és la influència del valor de la disparitat binocular horitzontal per aconseguir una percepció fusionada i nítida d’estímuls projectats per obtenir visió 3D simulada i quins són els límits que ens podríem trobar. Aquesta visió simulada es realitza amb la tècnica dels anaglífics, sabent que no és la més precisa avui dia, però la primera utilitzada per aquests anàlisis. A més, també s’analitza l’efecte de la posició de l’observador dins la sala i quina importància cobra a l’hora d’obtenir un bon nivell de disparitat binocular. També, utilitzant la tècnica de visió estereoscòpica s’intenta adaptar la situació per tal de trobar quin seria el punt proper de convergència, i el punt remot, sense utilitzar l’acomodació. Aquest estudi ha requerit la participació de 18 observadors joves sense problemes de visió ni de binocularitat.

Hoy en día, las proyecciones audiovisuales en 3D están entrando con fuerza en nuestras vidas. Pero no todo el mundo está preparado para soportar-las. Dejando de lado los problemas visuales que se puedan tener para poder ver-las e indagando en temas de visión binocular –como el horóptero, el espacio de Panum y la convergencia-, este trabajo intenta analizar cuál es la influencia del valor de la disparidad binocular horizontal para conseguir una percepción fusionada y nítida de estímulos proyectados para obtener visión 3D simulada y cuáles son los límites que nos podríamos encontrar. Esta visión simulada se realiza con la técnica de los anaglíficos, sabiendo que no es la más precisa hoy en día, pero que es la primera utilizada para este tipo de análisis. Además, se analiza el efecto de la posición del observador dentro de la sala y qué importancia cobra a la hora de obtener un buen nivel de disparidad binocular. También, se utiliza la técnica de visión estereoscópica para intentar adaptar la situación para encontrar cuál sería el punto próximo de convergencia, y el punto remoto, sin utilizar la acomodación. Este estudio ha requerido la participación de 18 observadores jóvenes sin problemas de visión ni de binocularidad.

Nowadays, audiovisual 3D projections are entering with force in our lives. But not everyone is ready to handle them. Leaving aside the visual problems that people may have to see these projections and talking about binocular vision issues -like the horopter, Panum’s space and convergence-, this work tries to analyze what is the influence of the value of horizontal binocular disparity in order to get a fusionable and clear perception of projected stimulus to get 3D simulated vision and what are the limits that we could find. This simulated vision is realized with anaglyphic technique, knowing that it is not the most accurate technique today, but it is the first used for this type of analysis. Furthermore, it is analyzed the effect of the observer’s position within the room and how important it is in order to obtain a good level of binocular disparity. Stereoscopic technique is also used to try to adapt the situation to find out where would be the near point of convergence, and the remote point, without using the accommodation. This study has required the participation of 18 young observers with a good sight and without binocularity problems.

## **ABSTRACT**

Facultat d’Òptica y Optometria de Terrassa  
© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2015. Tots els drets reservats

For a few years, science and new technologies have realized the importance of the vision in our computerized world and, despite the large number of scientific articles that have detected the problems that much of the population have in order to get a careful binocular vision, the stereoscopic vision – the three-dimensional vision – has been seen as the big allied for experience into the movies and images what our eyes experience everyday on the street. But, as we said before, not everyone is ready to put this stereoscopic vision in all the devices that people have around them, either by lack of visual flexibility or a visual problem like strabismus or visual deviations.

Also, we can't find any article that has analyzed correctly the limits of the stereopsis in order to see 3D images at large vision from layout projections with a duplicate object.

For this reason, the present work is focused on the study of stereoscopic vision in a simulated cinema room and tries to experience what happens if we use the 3D until its limits in healthy patients.

The main objectives of the work are divided into three:

1. Know how much you can force the visual system before the physiological diplopia appears. For this purpose it is designed the Experiment 1: working the Panum's space in crossed vision and uncrossed vision.
2. Know the limits of near and remote points of convergence, without using accommodation. For this purpose it is designed the Experiment 2: working the near and the remote point of convergence.
3. Know if the position of the viewer in the classroom determines the capture of the three-dimensional images

The main objective is to know which maximum value of horizontal binocular disparity can reach the observers in order to know which is the limits of the stereoscopic vision. The binocular disparity is the slight difference of two binoculars angles underlying by two objects that cause the two points of view provided by the two eyes. The brain takes these two points of view - created through binocular vision, because of the two eyes looking at the same object from slightly different angle-, integrates them and creates an object in three dimensions.

We can find two types of binocular disparity: crossed disparity, where two points on the screen are merged as a single point located in front of the screen; and uncrossed disparity where two points on the screen are merged as a single point located behind the screen.

The mean used to see the stereoscopic vision screenings is the method of anaglyphics. In this method, the image that we see in stereoscopic vision is printed or projected in red ink by the sight of one eye and in green ink (or cyan) to the other. The observer wears glasses with a red and green (or cyan) filters. The eye with the red filter only sees the green image and the eye with the green filter only sees the red image. In other words, the color is used to create a distinction between haplopic vision in one eye and the other. Eyes movements of fusion will bring images into alignment and receive a stereoscopic vision.

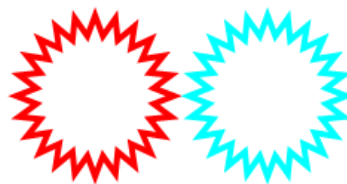
The base of the experiment was to present a slideshow that projects a 3D image (using the anaglyphic's technique) and from that, we would arise different situations for the observers.

Firstly, in Experiment 1, we wanted to analyze the large size of Panum's space into the observers, both in crossed and uncrossed vision. After several tests, the final presentations consisted of a simple strip which acted as a reference object and a lower strip duplicated in the two anaglyphics colors (red and cyan). That strip should be merged by the observers, viewing it nearer (crossed vision) or more away (uncrossed vision) than the reference strip.



From these two strips and using a progressive separation of the colored stripes, the observers had to indicate if at some point in each of the presentations they saw some of the elements double. This would indicate which the limit of Panum's space of that person is and therefore, what is the value of the maximum horizontal binocular disparity that this person can achieve.

Secondly, in Experiment 2, we wanted to analyze the near point and remote point of convergence. In this case we chose a picture that was larger and more dynamic, and with a complicated relief in order to be able to accurately determine if the object looked crisp or fuzzy. So we chose the following design:



In this section we wanted to experience how close to the eyes we could bring an image using the stereoscopic vision system as if you were performing a visual examination of the near point or remote point of convergence. That if, in this case the accommodation would not be acting because the real image fixation is found in a large distance.

The test realization consisted of: the presentation of the tests of the two experiments and the visualization of these experiments from six different positions of the projection classroom projection.

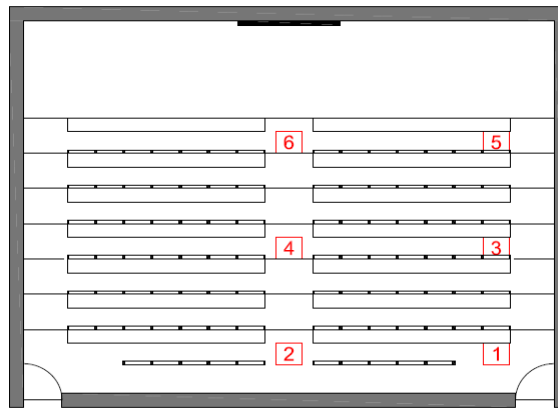
The place that was chosen in order to project the test was the 2.3 Classroom at the Faculty of Optics and Optometry. Because we wanted to represent a projection room, we needed a classroom with acceptable sizes and with an inclination similar to the cinema. This classroom contains a focusing screen, which could be projected the test.

Facultat d'Òptica y Optometria de Terrassa

© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2015. Tots els drets reservats

We used six positions in the classroom: three centered positions and three positions on one side. The reason for using only one side was the believing that the classroom was symmetrical. So, analyzing one side could ensure us that the other side would give the same results.

Below, we can find a perspective map of the classroom with the test visualization positions:



In order to have an acceptable amount of responses to analyze the situation well, we used a sample of 18 patients. There were a number of visual screenings to choose these patients. This was done in that way because the subject must meet certain conditions in order to have a good binocular vision and try to see in good quality the three-dimensional vision.

The procedure in conducting the tests consisted of two sessions. In each session each observer had to sit at two different positions. In total, each person had to sit in four different seats. In each session we showed the two experiments. For each experiment there were 5 levels of difficulty, where in each level the separation between the duplicate object with the anaglyphic colors was increased in increments from smaller to larger. In addition, for each level there is a presentation of progressive increments and there is a presentation of alternate increments. The alternate one was showed with the intention of eliminating the assumption of the patient regarding what would be the order of the test presentation. Also, the levels were presented in an alternate order to eliminate even this assumption.

We shared an answer sheet with the observers in order to analyze the two experiments.

In Experiment 1 we asked:

At some point have you seen any of the items presented double?

If the person had seen it, he/she had reached the maximum value of binocular disparity.

In Experiment 2 we asked:

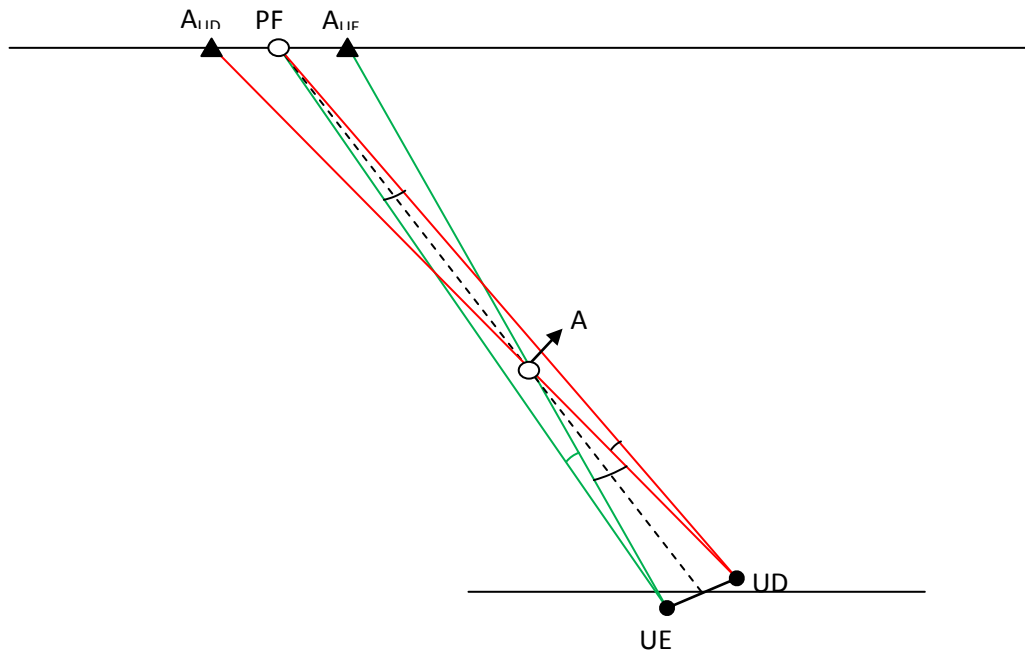
At some point, have you seen any of the items presented double? At some point have you have seen it fuzzy?

If the person had seen it, he/she had reached the maximum value of convergence or divergence.

Getting this knowledge and having real distances measured in the classroom, from triangulation between points, we found:

- the angle between the Right Eye with the reference strip and the strip displaced by this eye
- the angle between the Left Eye with the reference strip and the strip displaced by this eye

Below, we can find a figure where we can see these two angle (in case of crossed vision):



The difference between these two angles gives us the angle that indicates the horizontal binocular disparity.

Once we had obtained the data in this way, we found:

- Value of the maximum binocular disparity merged per person per seat for each experiment
- Average of the maximum binocular disparity achieved per seat for each experiment –
- Standard deviation of the maximum binocular disparity of each seat for each experiment
- Values of the maximum convergence and divergence achieved per person per seat for each experiment
- Average of the maximum values of convergence and divergence per each seat for each experiment
- Standard deviation of the maximum values of convergence and divergence per each seat for each experiment

Below, we can find the tables with the results:

Average of the maximum binocular disparity achieved by the observers in crossed vision, in progressive (left) and alternate (right):

Posició de l'aula	Mitjanes de la màxima disparitat	Posició de l'aula	Mitjanes de la màxima disparitat
-------------------	----------------------------------	-------------------	----------------------------------

binocular assolida		binocular assolida	
1	1685 "	1	1519 "
2	2056 "	2	1762 "
3	1667 "	3	1635 "
4	2928 "	4	2130 "
5	1353 "	5	1257 "
6	3195 "	6	2711 "

Average of the maximum binocular disparity achieved by the observers in uncrossed vision, in progressive (left) and alternate (right):

Posició de l'aula	Mitjanes de la màxima disparitat binocular assolida	Posició de l'aula	Mitjanes de la màxima disparitat binocular assolida
1	-1160 "	1	-904 "
2	-1175 "	2	-991 "
3	-1070 "	3	-926 "
4	-1917 "	4	-1597 "
5	-1118 "	5	-912 "
6	-2711 "	6	-2227 "

Average of the maximum convergence values achieved by the observers, in progressive (left) and alternate (right):

Posició de l'aula	Mitjana dels valors màxims de convergència assolits	Distància de l'objecte aparent de fixació als ulls	Posició de l'aula	Mitjana dels valors màxims de convergència assolits	Distància de l'objecte aparent de fixació als ulls		
1	19266 "	5,4 °	625 mm	1	18319 "	5,1 °	650 mm
2	29022 "	8,1 °	411 mm	2	26828 "	7,5 °	454 mm
3	23468 "	6,5 °	505 mm	3	22626 "	6,3 °	520 mm
4	38834 "	10,8 °	298 mm	4	37926 "	10,5 °	310 mm
5	19621 "	5,5 °	600 mm	5	19868 "	5,5 °	568 mm



6      59880 "      16,7 °      191 mm      6      56463 "      15,7 °      205 mm

Average of the maximum divergence values achieved by the observers, in progressive (left) and alternate (right):

Posició de l'aula	Mitjana dels valors màxims de convergència assolits		Distància de l'objecte aparent de fixació als ulls	Posició de l'aula	Mitjana dels valors màxims de convergència assolits		Distància de l'objecte aparent de fixació als ulls
1	-12925 "	-3,6 °	-1129,6 mm	1	-12483 "	-3,5 °	-1136,2 mm
2	-20982 "	-5,8 °	-726,6 mm	2	-20982 "	-5,8 °	-726,6 mm
3	-18323 "	-5,1 °	-862,6 mm	3	-19268 "	-5,4 °	-805,1 mm
4	-21391 "	-6 °	-660,4 mm	4	-19797 "	-5,5 °	-677,4 mm
5	-10954 "	-3 °	-1446,9 mm	5	0 "	0 °	0 mm
6	-38933 "	-10,8 °	-349,1 mm	6	-35960 "	-10 °	-368,8 mm

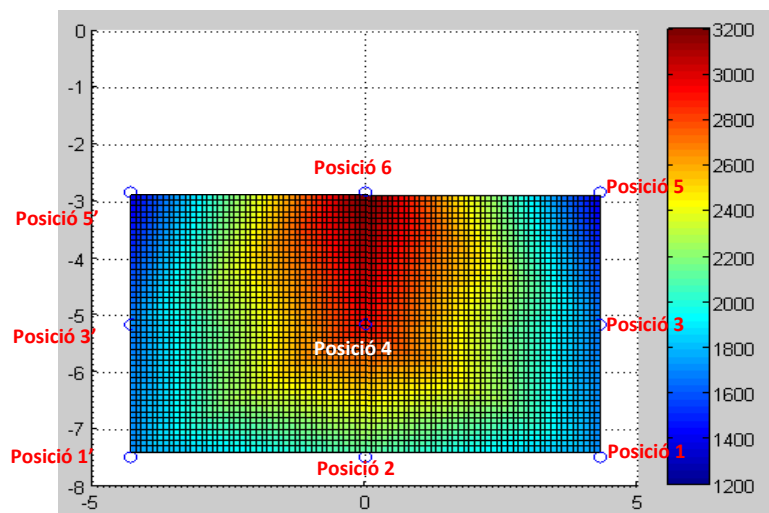
After obtaining data from 18 observers, including 4 seats for each person, we analyzed the situation.

The analysis was performed through a graphical contour, which represents how the answers are distributed by different classroom seats. With these curves, it can easily detect which is the point the observers has reached better binocular disparity and which is the point with worst results. They compare data also using the same color distribution of the data in the graph or using a different distribution.

As an important point, they difference both graphs made by Progressive variable where only taken into account feedback from the presentations in progressive order; as the Alternate variable, where only taken into account feedback from the presentations in alternate order. This is important as we look closely at how variable answers are more regular.

Thanks to these contours, and necessarily handle the values of standard deviation, has been known as the dispersion of responses across the classroom, what has been the most contentious and what not.

An example of these graphs can be found below:



As shown in the distribution of colors, the red point is at position 6. This point indicates that this is the seat where the observers has reached the higher binocular disparities, also caused by the large separation between stripes that the observers can see from such a short distance to the screen. The following best position would be the seat number 4. In contrast, in the positions 5, 3 and 1, the observers get lower results.

As for the conclusions, we find the following:

- Depending on the classroom seat, we found different results. In the middle, we found better results, even at the first seat.
- Although it is the same binocular disparity, the observers didn't get the same results in crossed vision than in uncrossed vision.
- The value of the maximum binocular disparity that allow us to see the 3D vision in crossed vision is 3200 arc sec approximately.
- Therefore, in uncrossed vision, the observers achieved 2200 arc sec approximately.
- There is a huge difference between showing the presentations in a progressive order than in a alternate order. In alternate order, the observers achieved lower results. But, in progressive order, because we are attendant the observer from a low level of binocular disparity to a high level, the observers obtained better results.
- There is a great difficulty in order to see the divergence presentations.
- The average value of the maximum convergence achieved is  $17^\circ$ . That means a distance from the apparent object of fixation and the eyes about 20 cm.
- It is very difficult to measure the remote point of convergence, because of the few results that we obtained in this experiment
- We would perform the same tests using a system of circular polarized stereoscopic vision, in order to get closer to the nowadays reality. However, we are sure that the answers would be more accurate and positive

## Índex

1.	Introducció .....	13
2.	Marc teòric .....	14
2.1.	La visió binocular .....	14
2.2.	Els requeriments per tenir una bona visió binocular .....	14
2.3.	Factors binoculars de profunditat .....	14
2.4.	L'horòpter.....	15
2.5.	L'Espai de Panum .....	16
2.6.	L'estereopsis.....	17
2.6.1.	Disparitat binocular horitzontal .....	19
2.6.2.	Diplopia fisiològica .....	20
2.7.	Mesura de l'estereopsis .....	21
2.8.	L'estereopsis fora de l'espai de Panum.....	22
2.9.	Mètode d'estereopsis: Anaglífics .....	25
2.10.	Convergència .....	25
2.10.1.	Punt proper de convergència .....	26
2.10.2.	Punt remot de convergència .....	26
2.11.	Mètodes psicofísics per a determinar el llindar d'estereopsis .....	26
3.	Marc pràctic .....	27
3.1.	Problema que es planteja .....	27
3.2.	Objectius .....	27
3.3.	Hipòtesis.....	27
3.4.	Disseny de l'experiment .....	28
3.5.	Lloc de projecció del test.....	35
3.6.	Mostra .....	36
3.7.	Procediment en la realització de les proves.....	37
3.8.	Procediment per a l'obtenció de les dades.....	39
3.9.	Anàlisi de les dades .....	42
3.9.1.	Experiment 1: Treballant l'espai de Panum en visió creuada .....	42
3.9.2.	Experiment 1: Treballant l'espai de Panum en visió paral·lela .....	45
3.9.3.	Experiment 2: Treballant el Punt Proper de Convergència.....	48
3.9.4.	Experiment 2: Treballant el Punt Remot de Convergència .....	51
3.10.	Anàlisi del confort visual .....	54

4. Discussió.....	54
5. Conclusions .....	55
6. Protecció de dades.....	56
7. Agraïments .....	56
8. Bibliografia .....	57
ANNEXES .....	58
ANNEX 1: ELS CRIBATGES VISUALS.....	59
ANNEX 2: LES PROVES .....	63
ANNEX 3: EXEMPLE DE L'EXCEL ON S'APUNTAVEN LES RESPOSTES ORDENADES DE CADA PACIENT .....	64
ANNEX 4: RELACIÓ ENTRE ELS PASSOS DE SEPARACIÓ A LES DIAPOSITIVESI ELS MM QUE REPRESENTEN.....	65
ANNEX 5: EXEMPLES DEL EXCEL ON ES CALCULAVA LA DISPARITAT BINOCULAR AMB LA DIP DE CADA PACIENT I A CADA SEIENT .....	67
ANNEX 6: EXCEL AMB LES RESPOSTES DE TOTS ELS PACIENTS A CADA SEIENT I AMB LES DISPARITATS BINOCULARS, MITJANA I DESVIACIÓ .....	69

## 1. Introducció

La visió humana pot classificar-se, sense cap dubte, com l'assoliment màxim de l'evolució natural. La seva complexitat formal contrasta amb la seva versatilitat i, per damunt de tot, amb la simplicitat i senzillesa amb la que assumim la informació que ens proveeix. Des dels ulls arriba al cervell un cúmul de dades en forma de milers de decisions i ordres preses en pocs segons: calcular la distància a la que es troba un objecte, adequar l'esforç muscular sobre els músculs ciliars per a que el cristal·lí es corbi fins a produir l'acomodació requerida, sincronitzar el moviment dels nostres dos ulls per a que es produeixi el balanceig necessari per fixar l'objecte, etc. Una quantitat extraordinària de tasques d'altíssima dificultat i precisió que han succeït de manera automàtica.

Un percentatge molt elevat de totes aquestes tasques s'han portat a terme gràcies a la coordinació de la informació visual procedent dels dos ulls, la visió binocular.

Des de fa uns anys, la ciència i les noves tecnologies s'han adonat de la importància de la visió en el nostre món informatitzat i, tot i la gran quantitat d'articles científics que han detectat les dificultats que té molta de la població per tenir una visió binocular curosa, han trobat en la visió estereoscòpica -la visió tridimensional- la gran aliada per a que experimentem en pel·lícules i imatges el que els nostres ulls experimenten dia a dia al carrer. És a dir, el 3D s'està posicionant com l'últim esglaó adient per a veure aquestes produccions audiovisuals.

Però, com hem dit, no tothom està preparat per tenir present el 3D en totes les pantalles del seu dia a dia, sigui per manca de flexibilitat visual o per algun problema d'estrabismes o desviacions visuals.

Això és el que intenta aquest treball: indagant en temes de la visió binocular com són, l'horòpter, l'espai de Panum o la convergència màxima, analitzarem quins són els límits que no s'haurien de sobrepassar per tal de tenir una experiència de tridimensionalitat "virtual" adequada.

## 2. Marc teòric

### 2.1. La visió binocular

Hi ha moltes maneres de definir que és la visió binocular, però segons Stidwill la visió binocular normal es defineix com la integració de la informació visual monocular sensorial i motora en una percepció combinada de l'espai físic circumdant. La percepció visual està fortament arrelada al cervell però, aquesta percepció es veu afectada per la memòria visual. Això provoca que de vegades reaccionem als estímuls visuals abans de que siguem conscients de que estan succeint.

La visió binocular dels humans té diversos avantatges sobre la visió monocular i sobre la visió biocular o dicòptica: visió simple en lloc de visió doble, la percepció de profunditat (estereopsis), la separació figura-fons, la convergència binocular, la localització espacial, etc.

Aquest procés de la sumació de la visió binocular millora el rendiment binocular sobre el monocular per:

- una millor agudes visual, i una millora de les freqüències espacials altes de la sensibilitat al contrast
- Detecció de llum absoluta al llindar de la percepció
- Funció llindar de sensibilitat al contrast
- El temps de reacció a estímuls visuals intermitents[1]

### 2.2. Els requeriments per tenir una bona visió binocular

- Els dos ulls han d'estar centrats en un mateix lloc. És a dir, que han de fixar al mateix objecte. Quan això no passa, estem davant d'un estrabisme. Aquesta coordinació entre un ull i un altre ha de ser estricta, mil·limètrica. No val amb que un ull miri "més o menys" on està mirant l'altre ull. El centre del camp visual d'un ull ha de coincidir amb el centre de l'altre. Així, quan movem la mirada, els dos ulls es mouen a la vegada i els seus eixos visuals convergeixen en un mateix punt.
- El cervell ha d'haver après a veure amb els dos ulls. El procés de fusionar les dos imatges oculars que els nostres ulls capten, ha d'haver estat desenvolupat correctament.
- Necessitem tenir una visió acceptable als dos ulls. Si un ull no veu res, encara que tots els demés requisits es compleixen, és lògicament impossible que tinguem visió binocular. Una visió reduïda d'un o ambdós ulls, pot reduir la binocularitat (tindríem binocularitat parcial). [2]

### 2.3. Factors binoculars de profunditat

Els factors binoculars que proporcionen informació de profunditat els classificarem en funció de si l'objecte no fixat es troba dintre o fora de l'espai de Panum.

- Quan l'objecte no fixat cau fora de l'espai de Panum, estem davant la diplopia fisiològica. Diplopia que té lloc en condicions normals de visió binoculars per als objectes no fixats, les imatges dels quals estimulen punts retinians no corresponents fora de l'àrea de Panum. El signe de la diplopia, creuada o homònima, ens aporta informació de si els objectes es troben més propers o més allunyats que el punt de fixació, respectivament. Tot i així, la magnitud de

la diplopia dóna informació del mòdul de distància. A major separació entre les imatges diplopíques, més gran és la distància.

- Quan l'objecte no fixat es troba dins de l'àrea de Panum, estem davant de la disparitat binocular fusional. Aquesta "separació" entre estímuls dins de l'àrea de Panum és clau per a que l'estereopsis pugui arribar a ser la percepció visual binocular de l'espai tridimensional. [3]

#### 2.4. L'horòpter

L'horòpter és el producte de la existència d'una correspondència retinal exacta i rígida entre ambdós ulls, de manera que l'horòpter obtingut està constituït per dues línies que configuren els seus components horitzontal i vertical (exceptuant el cas del punt de fixació a l'infinit, pel qual l'horòpter es converteix en una superfície). Tots els objectes situats sobre l'horòpter provoquen un estímul de disparitat binocular igual a zero, donat que estimulen punts corresponents d'ambdues retines. Tot i així, existeixen punts no ubicats sobre l'horòpter que, sense estimular punts retinals corresponents, donen lloc a una percepció fusionada degut a l'existència de l'àrea de Panum. [3]

Si volem fer una predicció de la localització dels objectes a l'espai que estimulen punts corresponents als dos ulls, ens trobem amb el cercle de Vieth-Müller.

Amb aquesta definició assumim que totes les parelles de punts retinals corresponents apareixen amb angles iguals a cada fòvea.

A continuació tenim dos figures on es mostren el cercle de Vieth-Müller i la relació que té aquest amb l'horòpter.

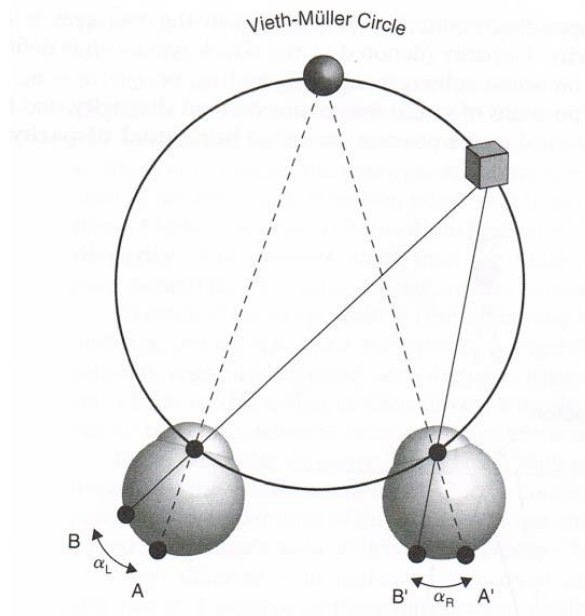


Fig 1. Representació del cercle de Vieth-Müller [4]

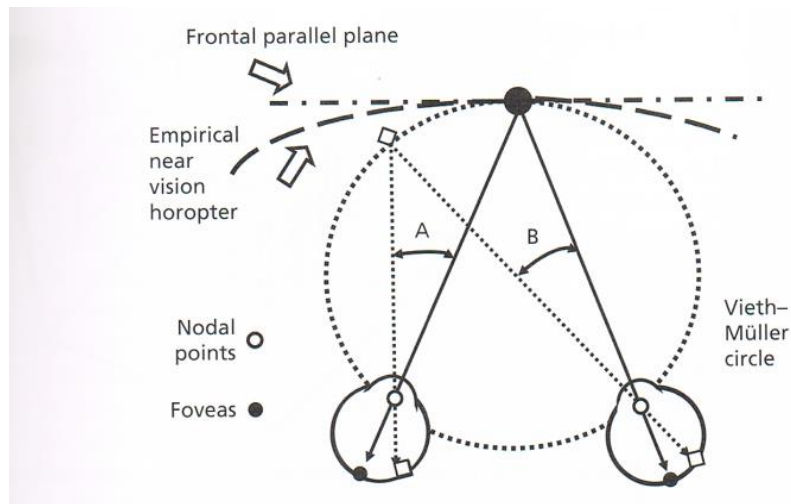


Fig 2. El cercle de Vieth-Müller i l'horòpter empíric [5]

### 2.5. L'Espai de Panum

L'àrea fusional de Panum és la regió de la visió binocular simple, on determinats punts de la retina d'ambdós ulls al ser estimulats simultàniament donen lloc a una percepció fusionada. Per tant, cada punt de la retina d'un ull, té la seva àrea de Panum associada a l'altre ull. Fora d'aquesta àrea, passàriem a tenir diplopia fisiològica.

Les àrees de Panum es tradueixen a l'espai objecte en forma d'espai de Panum. Es defineix l'espai de Panum com l'espai situat entre els límits anterior i posterior a la visió haplòpica, en el que es produeix la percepció fusionada dels punts objecte que no són fixats. Per aquest motiu podem determinar l'extensió de l'àrea de Panum utilitzant el mètode haplòpic per a determinar l'horòpter.

S'ha de destacar que l'espai de Panum té tres dimensions, per tant guanya una dimensió si el comparem amb la component horitzontal de l'horòpter. [3]

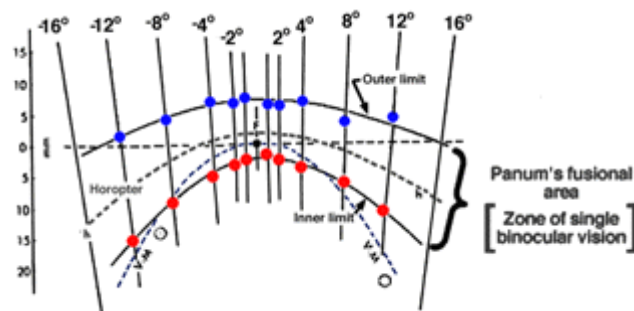


Fig 3. El mètode haplòpic per determinar l'horòpter implica localitzar la regió de visió binocular simple a una distància de 40 cm. L'espai fusional de Panum el trobem entre el límit anterior i posterior d'aquesta regió de visió binocular. [6]

A continuació es mostra un exemple de la diferenciació entre Horòpter, àrea de Panum i espai de Panum.



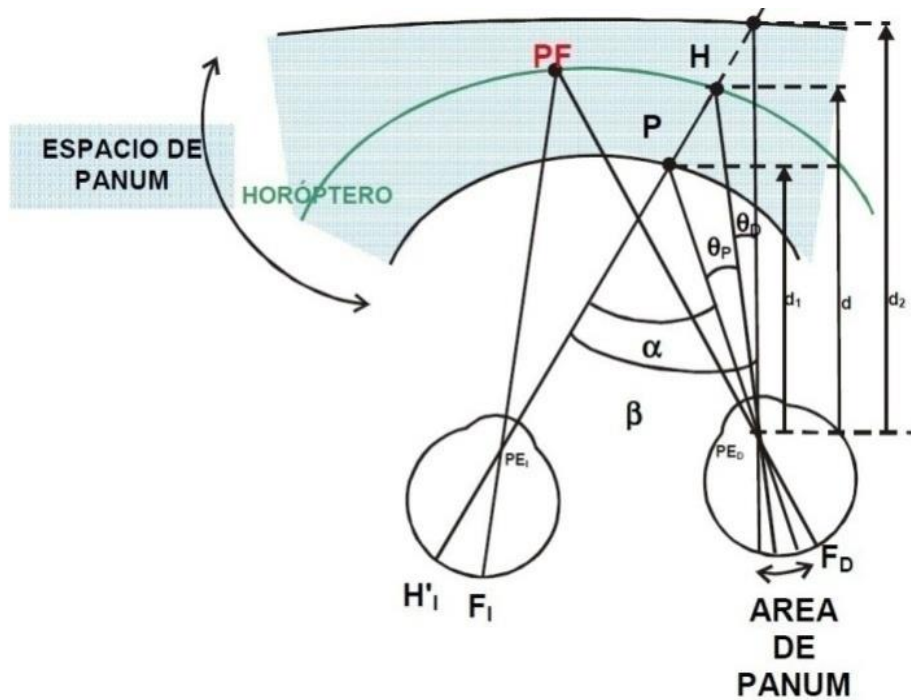


Fig 4. Diferenciació entre Àrea i Espai de Panum [7]

## 2.6. L'estereopsis

L'estereopsis es defineix com la percepció de profunditat derivada de la disparitat retinal de la visió binocular horitzontal. Alguns dels factors que produeixen que aquesta percepció no es pugui visualitzar són: la borrositat refractiva, diferències en la sensibilitat al contrast entre els dos ulls i els estrabismes. [8]

Què és la disparitat retinal d'imatges?

Si projectem dos barres, P i Q, de manera que P quedi equidistant respecte als dos ulls i la barra Q, una mica més avançada i a l'esquerra de P. Doncs, la barra P es projecta a la mateixa zona central de les retina de l'UD i UE (P i P' que són punts corresponents), mentre que la barra Q es projecta a la retina de l'UE, Q', en el mateix punt central on es projectava P' però, a l'UD. La projecció de Q, Q', queda desplaçada respecte a on es trobava P', per la variació de l'angle de visió. A nivell del cervell, les projeccions P' coincideixen en punts corresponents de la retina i per això s'estimulen neurones de disparitats zero. Mentre que la projecció de P i Q a l'UD, ara separades, estimulen neurones selectives a la disparitat a l'àrea cortical V1 del cervell, són responsables d'iniciar la percepció en profunditat de percebre en relleu la barra P darrere de la barra Q. [9]

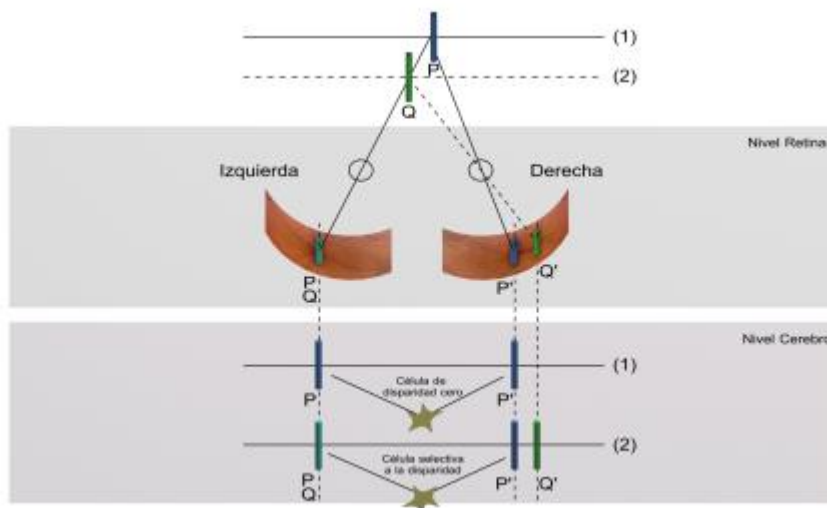


Fig 5. Representació teòrica de la disparitat binocular horitzontal [10]

O si ho fem més simple:

La disparitat retinal d'imatges es crea degut a que els ulls estan separats, aproximadament 6 cm, i generen una imatge discretament diferent a cada ull. A la pràctica, ho podem comprovar col·locant el dit índex de una mà davant nostre a uns 40 cm. Doncs, anem tancant un ull i després un altre, de manera alternativa i tindrem la sensació de que el dit es mou, es desplaça horitzontalment .

Tal com es mostra a la següent figura :

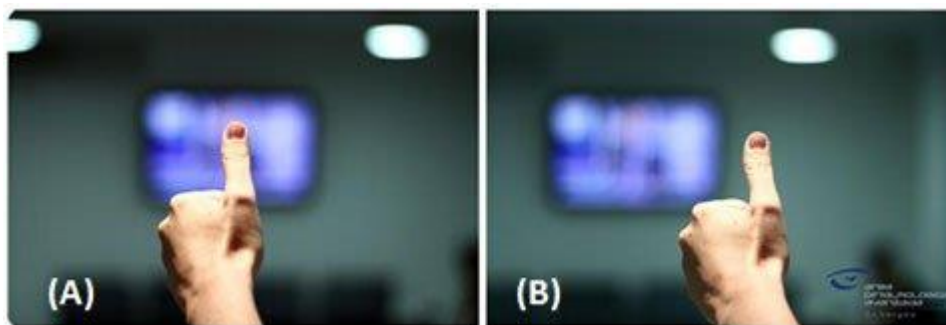


Fig 6. Representació pràctica de la disparitat binocular horitzontal [11]

A la imatge A, obrint l'UD i tancant l'UE, alineem el polze amb el centre de la imatge de la paret. A la imatge B, tanquem l'UD i obrim l'UE. Inmediatament veiem com s'ha perdut l'alineació. El dit s'ha desplaçat cap a la dreta.

El fenomen s'explica perquè cada ull té un angle de visió diferent respecte el dit i es projecta en posicions diferents a la retina.

### 2.6.1. Disparitat binocular horitzontal

La percepció binocular que s'ha anomenat és més precisa quan es realitza una comparació de la posició dels dos objectes. Un objecte es troba sobre horòpter en la intersecció de les línies de visió (eixos visuals), i l'altre objecte és o bé per davant o per darrere de l'horòpter, i és prou a prop com per estar dins de l'espai fusional de Panum però no es projecta sobre punts corresponents de la retina. En aquest cas, la separació relativa de les dues imatges de la retina de cada ull s'anomena "disparitat binocular horitzontal". Aquesta disparitat permet l'avaluació de la separació de la profunditat dels objectes fixats i no fixats.

Les imatges de cada objecte es fusionen perquè els objectes es troben dins l'àrea de Panum. El llindar per a la millor estereopsis és a prop de 2-8 segons d'arc en els éssers humans en condicions òptimes.

[1]

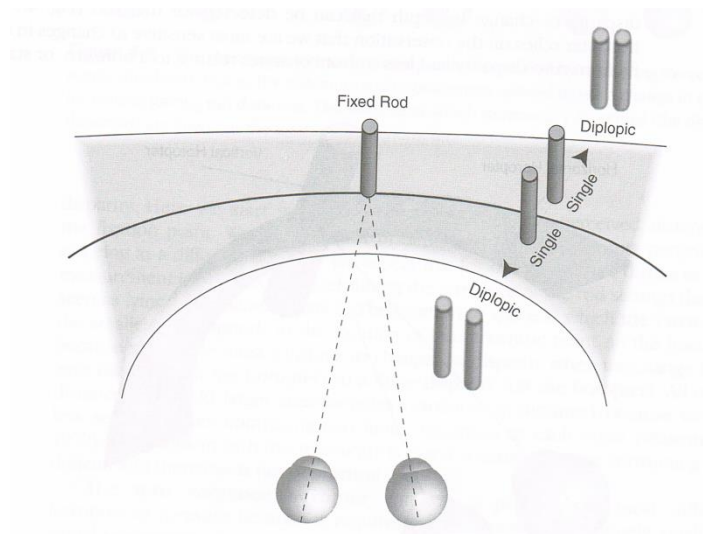


Figura 7. La simpleza de l'horòpter haplòpic [12]

La disparitat que permet la percepció de la profunditat estereoscòpica és la disparitat binocular horitzontal. Aquesta pot estar classificada com Creuada o Paral·lela en relació al punt de fixació, que és, el punt en el qual els dos ulls estan convergint.

- Disparitat Creuada: Punts visionats més a prop que el punt de fixació, és a dir, que amb el cercle de Vieth-Müller(\*) tenen les línies de visió creuant al davant del punt de fixació
- Disparitat Paral·lela: els punts que es troben més lluny que el punt de fixació tenen línies de visió que es creuen darrere del punt de fixació [13]

En la següent figura podem observar quina és la diferència entre disparitat binocular horitzontal creuada i paral·lela i on es troba la imatge fusionada a l'espai.

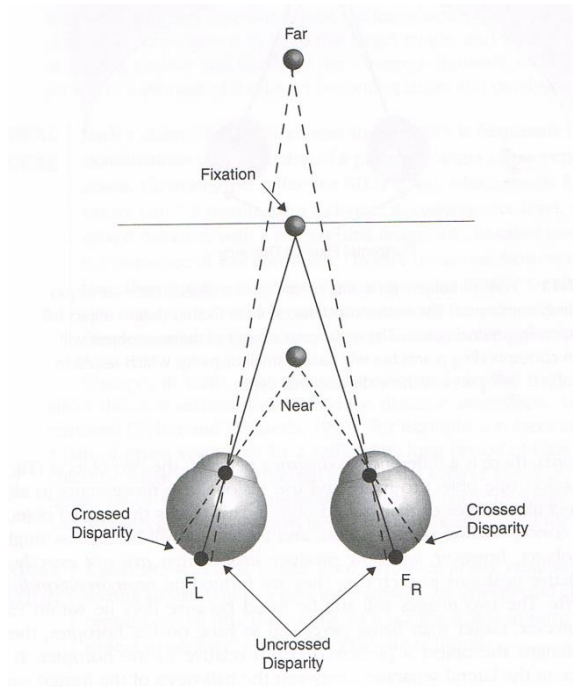


Fig 8. Disparitat binocular horitzontal creuada i paral·lela [14]

### 2.6.2. Diplopia fisiològica

Si les imatges es formen en punts dispars (no corresponents) àmpliament separats, ens trobem amb la diplopia fisiològica.

Experiment: Es pot experimentar diplopia fisiològica mitjançant la col·locació d'un dit índex a uns 15 cm del nas, i de l'altre dit índex col·locat directament a la distància del braç. Ens fixem en el dit que es troba més a prop. Ara es mou lentament el dit distant cap al nas, mantenint la fixació al dit més proper. Abans d'arribar al dit més proper, la diplopia fisiològica desapareix i només s'observa la sensació de profunditat. En aquest punt, la disparitat retinal és prou petita com per permetre la fusió i l'estereòpsis.[15]

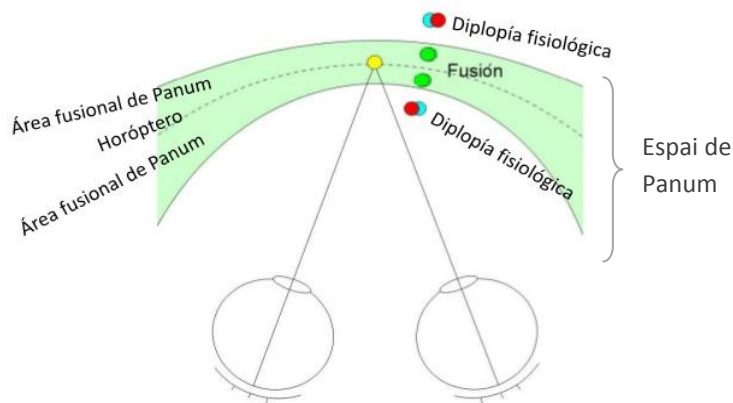


Fig 9. Situació espacial de la diplopia fisiològica [16]

## 2.7. Mesura de l'estereopsis

L'estereoagudesa o agudesesa visual estereoscòpica (AVE) d'una persona individual es pot obtenir determinant la distància més petita resoluble en profunditat quan es mesura per la diferència discernible mínima en paral·laxi binocular. De fet, és la mínima disparitat binocular resoluble entre dos objectes en l'espai físic. Els valors d'estereoagudesa entorn del llindar de la estereopsis es poden trobar a partir de la fórmula aproximada:

$$\text{Estereoagudesesa} = AVE = \frac{DIP \times \Delta d}{d^2} \times \frac{648000}{\pi}$$

DIP = distància interpupillar

$\Delta d$  = distància en profunditat entre els dos objectes percebuts a diferent distància

$d$  = distància entre l'observador i l'objecte de referència (normalment el punt de fixació) [17]

Però, això és el que es mesura en els tests que utilitzen objectes reals situats a l'espai. En el nostre cas, busquem analitzar la visió estereoscòpica utilitzant estímuls visuals projectats en una pantalla.

Volem trobar l'angle en segons d'arc subjacent al pacient que ens dóna la disparitat binocular horitzontal de l'estímul mostrat. Així que tindríem el següent:

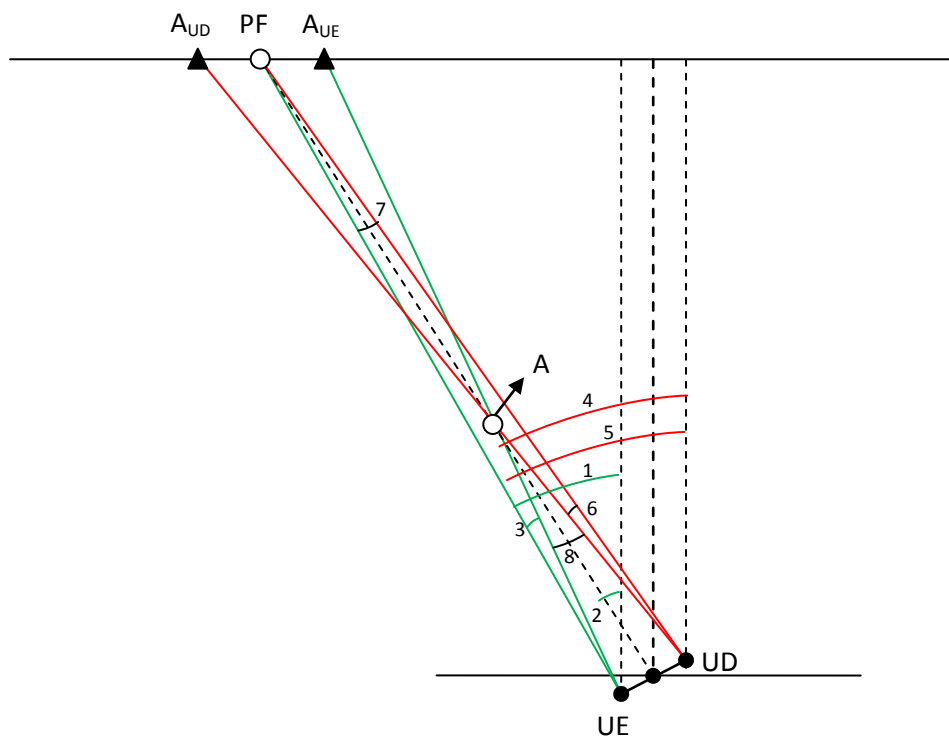


Fig 10. Representació espacial de la fórmula per trobar la disparitat binocular [18]

1	$\alpha_{EPFseient}$	5	$\alpha_{DAseient}$
2	$\alpha_{EAseient}$	6	$\alpha_{Dseient}$
3	$\alpha_{Eseient}$	7	$\alpha_{CPF}$
4	$\alpha_{DPFseient}$	8	$\alpha_{Aseient}$

Taula 1. Indicadors de la figura 10

Amb aquesta representació descrivim els passos adequats a seguir per tal de trobar la disparitat binocular:

- Tenim el pacient col·locat a un seient, aquest seient té unes coordenades respecte el centre de la pantalla
- El pacient quan està col·locat en un seient dels laterals es troba en una col·locació obliqua, per tant tenim un angle d'obliquïtat respecte la pantalla
- A partir d'aquesta obliquïtat, obtenim les coordenades de UD i UE
- A la pantalla tenim les següents dades: les coordenades del PF (punt de fixació), les coordenades de la franja per a l'UD i les coordenades de la franja per a l'UE

A partir d'aquestes dades, per tal d'obtenir cada angle que té un ull amb el punt que hem de veure en visió estereoscòpica, tenim:

- Angle que subtendeix, l'UE amb el PF (punt de fixació) i la superfície de la pantalla (núm 1)
- Angle que subtendeix l'UE amb la franja de la dreta i la superfície de la pantalla (núm 2)
- Amb això obtenim l'angle que buscàvem de l'UE (núm 3)**
- Angle que subtendeix l'UD amb el PF i la superfície de la pantalla (núm 4)
- Angle que subtendeix l'UD amb la franja de la dreta i la superfície de la pantalla (núm 5)
- Amb això obtenim l'angle que buscàvem de l'UD (núm 6)**

Ara si que es podria definir la fórmula de la disparitat binocular horitzontal:

$$DB = \alpha_{UE} - \alpha_{UD}$$

## 2.8. L'estereopsis fora de l'espai de Panum

Segons Steinman et al, l'estereoagudesesa representa el límit inferior de disparitat del sistema visual, és a dir, la disparitat més petita que podem arribar a veure. Però, ens podríem preguntar quin és el límit superior de la disparitat. Es podria suposar que el límit superior de disparitat binocular que ens informa sobre les distàncies en profunditat és l'extensió de l'àrea fusional de Panum perquè els objectes són vistos com diplopics si la seva disparitat supera el límit fusional. No obstant això, aquesta suposició no és certa. Fora de l'àrea fusional de Panum, nosaltres percebem diplopia, però

això no vol dir que no podem jutjar la profunditat en absolut (Ogle, 1952).

Ogle (1950) parla d'aquest mecanisme com "espai fusional de Panum", el que implica que es tracta de l'única regió de l'espai vista binocularment, perquè és just aquí on podem demostrar que existeixen algunes diferències funcionals entre la visió binocular i la visió monocular. Per exemple, alguns investigadors van afirmar que l'estereopsis es limita a aquesta zona tot i que Helmholtz (1925), Hering (1942) i altres (incloent Wright 1951 i Ogle 1952) van demostrar que la percepció de profunditat és possible amb imatges dobles.

Dins de l'espai fusional de Panum som capaços de distingir els canvis relatius en profunditat (estereopsis qualitativa o estereopsis patent) amb una percepció sòlida d'aquesta profunditat:

- A la regió d'estereopsis patent trobem l'espai de Panum i la zona diplòpica circumdant. En aquesta zona, els observadors són capaços de detectar directament un augment de la profunditat percebuda que acompanya a un augment de la disparitat binocular.
- A la regió d'estereopsis quantitativa, el grau de profunditat percebuda és directament proporcional a la magnitud de la disparitat binocular. Fora de l'àrea fusional de Panum (de +/- 10' Arc fins +/- 1º, en funció de l'excentricitat de la retina), la diplopia es nota, i no podem distingir els canvis en la distància (profunditat relativa) amb precisió. No obstant això, encara podem dir si un objecte està més a prop o més lluny que el punt de fixació prenent avantatge del tipus de diplopia. A més, Westheimer i Tanzman (1956) i Reading (1970) van informar de respostes estereoscòpiques fora dels intervals que Ogle havia trobat al 1952. Aquest fet refereix una clara violació de la jerarquia de fusió de Worth (Worth, 1903) i per tant, seria aconsellable realitzar algun tipus de modificació al grau 3 de la fusió. Amb aquesta finalitat, seria apropiat utilitzar el terme estereòpsis fina ja que descriu els petits llindars associats amb l'espai de Panum.

A continuació trobem una figura on es mostren aquestes zones:

- L'espai fusional de Panum s'indica en gris fosc: l'estereopsis patent es produeix aquí. L'estereopsis patent amb imatges dobles s'estén als afores de la zona de Panum.
- Més lluny, les regions de color gris clar mostren l'estereopsis qualitativa, on es veuen imatges dobles, i tant si són estàtiques o en moviment, poden ser identificades al davant o al darrere del punt de fixació.

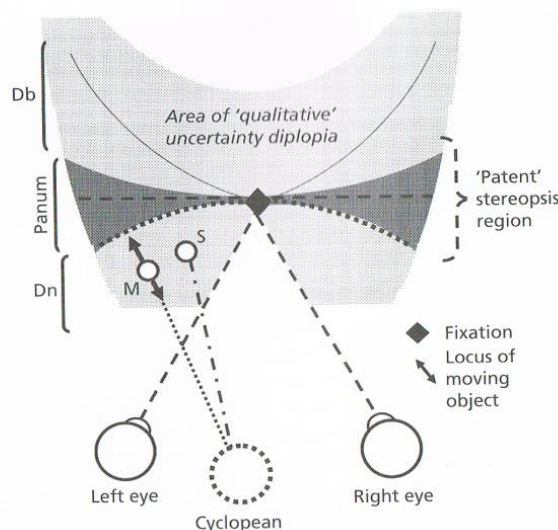


Fig 11. Distinció de les zones d'estereopsis patent i estereopsis qualitativa. Db, diplopia llunyana al punt de fixació; Dn, diplopia propera al punt de fixació; M, objecte en moviment; S, objecte estàtic[19]



També, podem representar aquestes regions amb la següent gràfica:

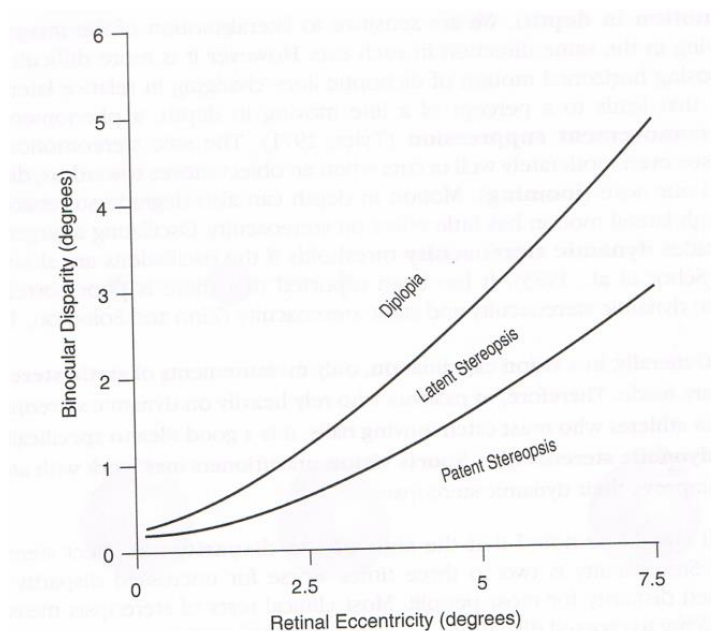


Fig 12. Zones de visió estereoscòpica [20]

Per objectius retirats de l'horòpter en petites quantitats, l'estereopsis patent (quantitativa) s'aprecia, en la qual les diferències relatives en profunditat poden ser vistes i la percepció de la profunditat és robusta. Els límits d'estereopsis patent coincideixen amb els límits d'àrea fusional de Panum. Fora d'aquesta regió, les imatges són diplòpiques. Dins d'un rang de disparitats més enllà de l'estereopsis patent trobem la zona d'estereopsis latent (qualitativa), en què la diplopia proporciona alguna informació de profunditat. No obstant això, la percepció de profunditat és vaga: l'observador pot determinar que un objecte es troba més a prop o més lluny del punt de fixació, però tots els objectes dins d'aquest interval semblen estar a la mateixa distància de fixació. Més enllà de la gamma d'estereopsis qualitativa, la diplopia no es pot utilitzar per determinar la profunditat.

En experiments de Richards, 1971 i Kaye, 1974, es va demostrar que fora de l'àrea de Panum la relació lineal entre la magnitud de la percepció de profunditat i magnitud de disparitat es trenca. Més enllà dels límits de la zona de Panum, la profunditat percebuda d'imatges diplòpiques augmenta amb l'augment de les desigualtats i arriba a una percepció de profunditat màxima. A més, la percepció de profunditat disminueix gradualment amb l'augment de la disparitat fins que s'arriba a un límit superior de disparitat en 1000' arc.

En el límit superior de la disparitat, la disparitat ja no evoca una percepció de profunditat. No obstant això, cal assenyalar que els valors de disparitat enumerats aquí representen els límits mitjans observats pels experimentadors; el rang superior d'estereòpsia depèn d'alguns dels mateixos factors



que a l'estereoagudesa, és a dir, el contrast i la durada de l'exposició. [13] [17]

### 2.9. Mètode d'estereopsis: Anaglífics

El mitjà més simple que s'utilitza per separar els dos punts de vista dels ulls, sense un instrument, és el mètode dels anaglífics. La imatge que volem veure en visió estereoscòpica s'imprimeix o es projecta en vermell per a la vista d'un ull i en verd (o cian) per a l'altre. L'observador porta unes ulleres amb un filtre vermell i l'altre verd (o cian). L'ull amb filtre vermell només veu la imatge verda i l'ull verd filtra només la imatge vermella. En altres paraules, el color s'utilitza per fer una distinció entre la visió haplòpica d'un ull i l'altre. Els moviments oculars de fusió portaran les imatges en alineació, i es percebrà una visió estereoscòpica. [13]



Fig 13. Exemple d'unes ulleres anaglífiques [21]

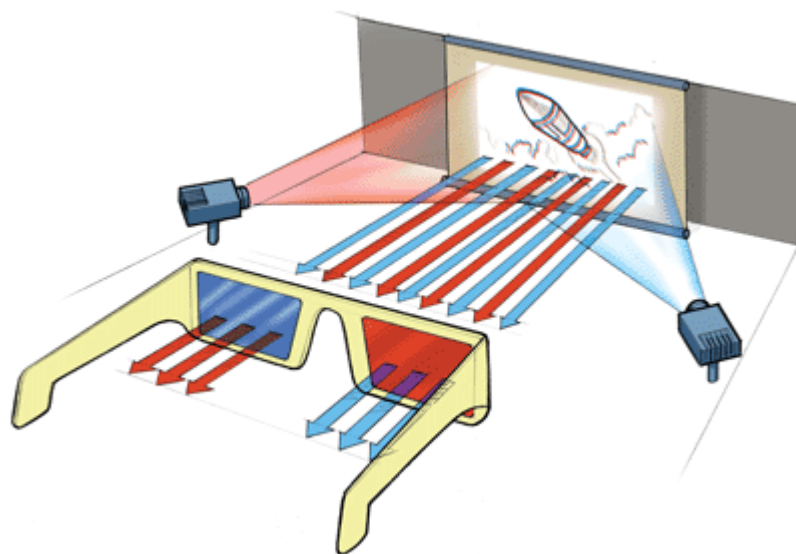


Fig 14. Representació del procés de visionatge en 3D amb ulleres anaglífiques [25]

### 2.10. Convergència

Els ulls convergeixen quan veiem els objectes propers i divergeixen quan veiem els objectes distants. Tot i que el grau de convergència pot proporcionar potencialment informació respecte a la distància, la forma en què aquesta informació s'incorpora a la percepció conscient de la profunditat, en tot cas, no està resolta (Brenner i Van Damme, 1998).

### 2.10.1. Punt proper de convergència

El punt proper de convergència és el punt d'intersecció dels eixos visuals en utilitzar la màxima convergència. És el punt més proper al pacient en què es pot mantenir la visió binocular, ja que per a la zona més propera al rostre ja no hi ha la visió binocular.

Quan mesurem aquest punt, estem mesurant la capacitat de la persona per a convergir mantenint la fusió.

### 2.10.2. Punt remot de convergència

El punt remot de convergència és el punt d'intersecció dels eixos visuals quan la persona fa la màxima divergència possible. Es tracta d'un punt virtual, que es troba per darrera dels ulls. Per tal d'obtenir-lo, no es pot utilitzar un objecte real situat davant dels ulls, sinó que calen instruments que siguin capaços de provocar estímuls dicòptics (estímuls individualitzats per cada ull).

## 2.11. Mètodes psicofísics per a determinar el llindar d'estereòpsia

Informant-se sobre els mètodes bàsics de psicofísica que s'apliquen al mesurament del llindar d'estereòpsia, trobem els exemples de Howard i Dolman (Howard, 1919). Aquests autors van utilitzar un aparell compost de dues varetes, una mòbil i l'altre fixa, muntades darrere d'una obertura rectangular que evitava la visió dels extrems de les varetes i al davant d'un fons pla.

### Mètode d'ajustos

El mètode d'ajustos (Gescheider, 1976) requereix que l'experimentador col·loqui la vareta mòbil en alguna posició de desplaçament i desplaci la vareta fins a una posició equidistant de la barra fixa. Aquest procés es repeteix les vegades necessàries. Els resultats produeixen una petita dispersió dels ajustos que ens dona la seva desviació mitjana. La desviació mitjana, llavors, constitueix un valor a l'equació que, juntament amb la distància interpupil·lar de l'observador i la distància de l'observador a la barra fixa, proporciona informació suficient per calcular el llindar de l'estereòpsia.

### Mètode dels límits

Pel mètode dels límits (Gescheider, 1976), l'observador se li demana que jutgi quan la vareta mòbil és notablement diferent (JND) en la distància des de la barra fixa. El rang mitjà s'utilitza com el valor de variació a l'equació.

### Mètode dels estímuls constants

El mètode d'estímuls constants és considerat el més exacte de tots els mètodes clàssics de la psicofísica. Desafortunadament, aquest mètode necessita massa temps per ser utilitzat en un entorn clínic.

Tot i així, per llindars d'estereòpsia, la tècnica habitual consisteix a trobar una primera posició de la vareta mòbil que sempre es veu com més a prop de la barra fixa i després trobar una posició en la qual sempre es considera com més enllà de la barra fixa. Aquest interval es divideix en cinc o sis intervals iguals, i la vareta mòbil es presenta a un observador en aquestes posicions un cert nombre de vegades després d'una ordenació aleatòria de la posició. [17]

### 3. Marc pràctic

#### 3.1. Problema que es planteja

Sempre que mesurem l'agudesa estereoscòpica, la fem en visió propera per mesurar la mínima separació entre dos imatges per veure-les en tercera dimensió. Però, avui dia el 3D està entrant amb força a molts dels mitjans audiovisuals que ens envolten, i no s'ha analitzant correctament fins a quins límits podríem utilitzar aquesta tècnica per a veure imatges 3D en visió llunyana a partir de projeccions planes amb un objecte duplicat.

Per aquest motiu, el present TFG es centra en l'estudi de la visió estereoscòpica i fins a quin punt podem posar-la a prova en pacients sans.

#### 3.2. Objectius

L'objectiu fonamental d'aquest TFG es parteix en tres en particular:

1. Saber fins a quin punt podem forçar el sistema visual per a que passi de visió estereoscòpica a visió doble o diplopia fisiològica  
Per aquest objectiu es dissenyarà l'Experiment 1: Treballar l'espai de Panum en visió creuada i en visió paral·lela
2. Saber quins són els límits dels punts proper i remot de convergència, tenint en compte l'acomodació  
Per aquest objectiu es dissenyarà l'Experiment 2: Treballar el Punt Proper i el Punt Remot de Convergència
3. Saber si la posició de l'espectador respecte la pantalla de projecció condiona la seva visualització de les imatges en 3D

#### 3.3. Hipòtesis

Gràcies a la bibliografia, sabem que apropant un objecte cap a nosaltres en visió estereoscòpica el que estem fent és allunyar l'objecte de l'horòpter i l'estem movent dins de l'espai de Panum. En el nostre cas aquest efecte s'aconsegueix augmentant la separació de l'objecte doble en les presentacions que visualitzen els observadors.

Així que, la hipòtesis seria que trobarem unes certes presentacions en les que els pacients diran que ja veuen doble un objecte o altre, ja que ens haurem sortit de l'espai de Panum (estarem definint quins són aquests límits).

A més, la resposta als estímuls de disparitat binocular en visió paral·lela i en visió creuada dins de l'espai de Panum hauria de ser la mateixa, ja que segons la bibliografia, tant per davant com per darrere de l'horòpter, una mateixa quantitat de separació dels objectes projectats, ens produeix la mateixa disparitat binocular horitzontal, i per tant, la mateixa percepció de profunditat.

Per altra banda, també assegurem que respecte el Punt Proper de Convergència (PPC) tothom veurà simple la majoria de presentacions en les que l'estímul requerirà convergència però les veuran borroses ja que no està actuant l'acomodació tal com ho faria en una prova de PPC normal. També es podria assegurar que els costarà veure les presentacions en les que l'estímul requerirà divergència.

### 3.4. Disseny de l'experiment

Procés d'escollir el disseny definitiu:

Pas 1: Per a l'Experiment 1, es volien dissenyar unes presentacions en les que es mostressin una progressió en moviment d'un objecte tridimensional. Definim que volem un objecte doble, susceptible de ser visualitzat tridimensionalment (movent-se o apartant-se de la pantalla) i un o dos objectes no duplicats de referència.

L'objecte doble estarà dividit en dos franjes de colors: una franja vermella (RGB=255,0,0) i una franja cian (RGB=0,255,255).

Pas 2: Es decideix que l'objecte seran dos línies, una al costat de l'altre, i dins d'un quadrat de referència, per tal de enfocar la visió només en les línies.

Exemple:

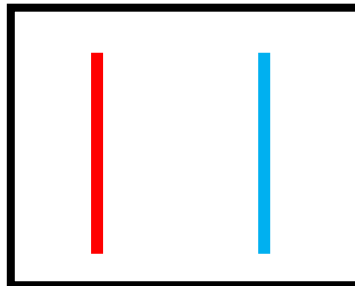


Fig 15. Primera prova per al disseny de les presentacions

Pas 3: Es decideix que és molt difícil adonar-se de la visió en 3D amb aquesta presentació. Es creu que és per l'objecte de referència. Així que, es decideix que hi haurà una línia més al centre i que serà la que és mogui.

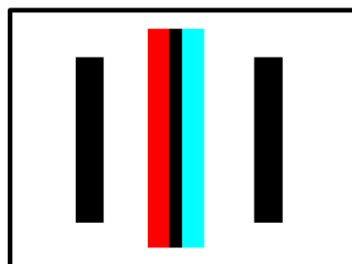


Fig 16. Segona prova per al disseny de les presentacions

Pas 4: També es va fer alguna prova fallida intentant posar més objectes de referència darrere.

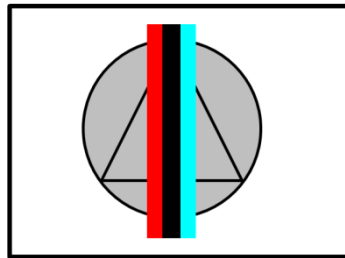


Fig 17. Tercera prova per al disseny de les presentacions

Però ens adonem de que sota de les línies vermella i cian, queda una ombra darrere la qual es distorsiona molt la imatge.

Pas 5: Com que s'està treballant la disparitat horitzontal i els objectes els estem col·locant als costats de l'objecte en moviment, aquests s'esborronen i es distorsionen.

Pas 6: Així que es prova de col·locar els objectes de referència a dalt i baix.



Fig 18. Quarta prova per al disseny de les presentacions

Però no acaba de convèncer, ni el gruix de les línies ni el disseny.

Pas 7: Es pensa que el disseny que s'està realitzant és molt geomètric i no té cap relació amb una projecció cinematogràfica en la que utilitzin el 3D. Per aquest motiu, es pensa en un disseny més proper a la població: un mar amb unes algues. Es proven diversos dissenys:

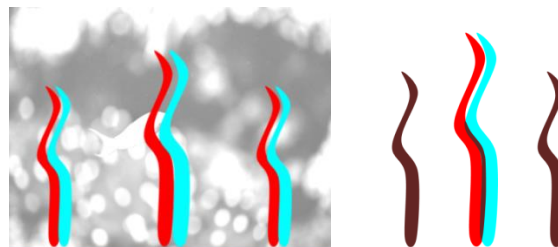


Fig 19. Cinquena prova per al disseny de les presentacions

Però aquestes presentacions tenien diverses connotacions negatives:

- Amb el fons es quedaven imatges fantasmes darrere que distreien molt
- Era molt difícil dissenyar les presentacions en que les dos algues s'intercalessin
- Al no ser objectes rectes és més difícil de tenir controlats els paràmetres tècnics

Pas 8: Deixant de banda el tema de les algues, es va voler tornar a les imatges geomètriques. Si que estaríem treballant amb uns objectes més “artificials” però es podria controlar més les variables i paràmetres de la prova.

Pas 9: També, es va arribar a la conclusió de que no calia utilitzar tants objectes de referència. Així que es va optar per col·locar dos línies verticals, una sota de l’altre:



Fig 20. Sisena prova per al disseny de les presentacions

Pas 10: Però, encara hi havia un petit inconvenient: les línies estaven massa separades per a poder determinar amb exactitud què és el que estaves experimentant durant la prova. Així que es va decidir ajuntar-les i d’aquesta manera s’obtindria la presentació definitiva:



Fig 21. Presentació definitiva per a treballar l’espai de Panum en visió creuada i visió paral·lela

Pas 11: Per a l’Experiment 2, ràpidament es va optar per una imatge que fos més gran i dinàmica, i amb un relleu complicat per a poder determinar amb exactitud si es veia nítid o borrós. Així que es va optar pel següent disseny:

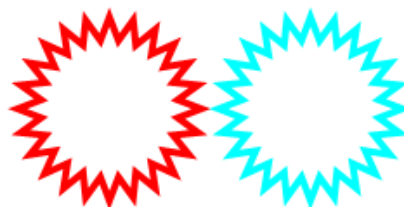


Fig 22. Disseny per a les presentacions per a treballar el Punt Proper i el Punt Remot de Convergència

Doncs, es va dissenyar quina quantitat de diapositives es presentarien. Dins de cada experiment es presentarien grups de 10 diapositives agrupades en 5 nivells de dificultat. Dins de cada nivell es realitzarien diferents salts: al nivell 1 les separacions entre els objectes van augmentant amb increments més petits i al nivell 5 amb increments molt grans.

S'utilitzaria un temps de 2 segons d'exposició per diapositiva. Dins de cada nivell hi hauria dos tipus de presentacions:

- una presentació progressiva, on les diapositives es mostren de manera progressiva i ordenada, des de la diapositiva on es mostra una separació entre els objectes cian i vermell de l'objecte doble més petita (disparitat binocular més petita) fins a la diapositiva on es mostra una separació entre els objectes cian i vermell de l'objecte doble més gran (disparitat binocular més gran).
- Una presentació aleatòria. Es va decidir que la presentació també es faria de manera aleatòria, per tal de que el pacient no anés amb la predisposició de que després d'una presentació de convergència nivell 2, aniria la de nivell 3 i després la de nivell 4. Es va estructurar manualment per a poder tenir en compte diversos factors:
  1. No començar amb una disparitat molt gran
  2. Que la disparitat més petita i més gran estiguessin seguides i a la meitat de la presentació
  3. Que no hi ha hagués dos disparitats del mateix ordre seguides

La seqüència que es va utilitzar va ser la següent:

Diapo 2 → Diapo 6 → Diapo 8 → Diapo 3 → Diapo 1 → Diapo 10 → Diapo 4 → Diapo 9  
→ Diapo 5 → Diapo 7

A més, per reduir encara més la suposició del pacient respecte quin seria l'ordre de presentació dels tests, es va decidir que les presentacions també es mostrarien de manera aleatòria, intercalant un nivell amb un altre sense seguir cap ordre establert.

Tot i així, es presentarien per separat l'Experiment 1 i l'Experiment 2, seguint les mateixes condicions de presentació explicades.

A continuació veiem una classificació del disseny de presentació del test:

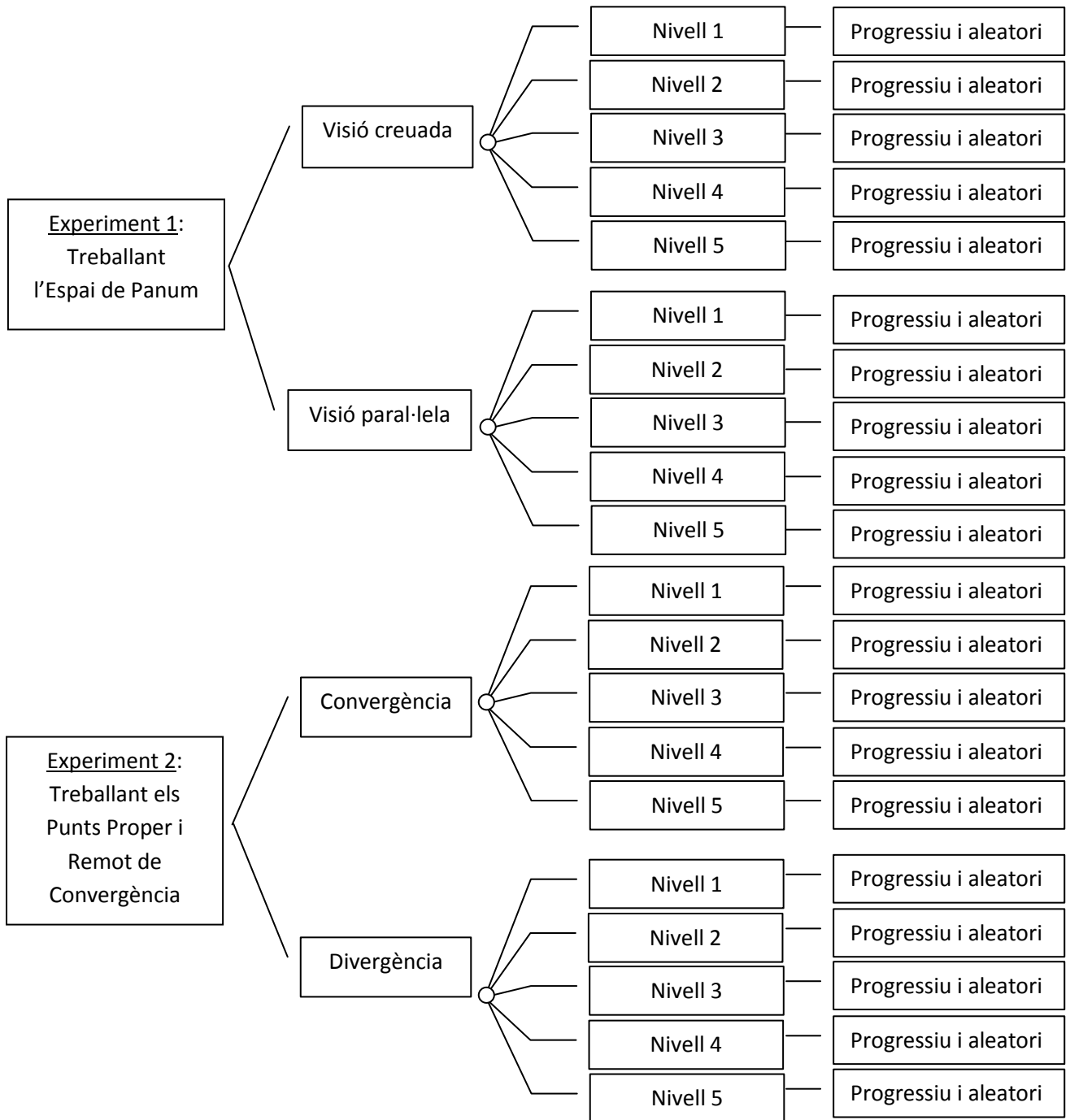


Fig 23. Estructuració de les presentacions

Com que un altre punt a analitzar dins del treball era saber si la posició de l'espectador respecte la pantalla de projecció condiona la seva visualització de les imatges en 3D, es va haver de dissenyar una estructura per tal de que els pacients passessin per diverses posicions de l'aula.



Per començar, hi havia nou posicions diferents disposades a l'aula:

- Tres posicions al lateral dret
- Tres posicions al lateral esquerre
- Tres posicions centrals

Però sabem que els dos laterals són simètrics, així que es va decidir que només caldria analitzar un lateral.

D'aquesta manera es tenien sis posicions possibles. Però, es va creure que fer passar a un pacient per les sis posicions era massa dur. Per aquest motiu, es va decidir que cada pacient passés per quatre posicions.

Tenint aquests factors a la taula ja es podia dissenyar l'estructura mencionada anteriorment:

Total d'opcions possibles de ocupar quatre seients de sis seients lliures:

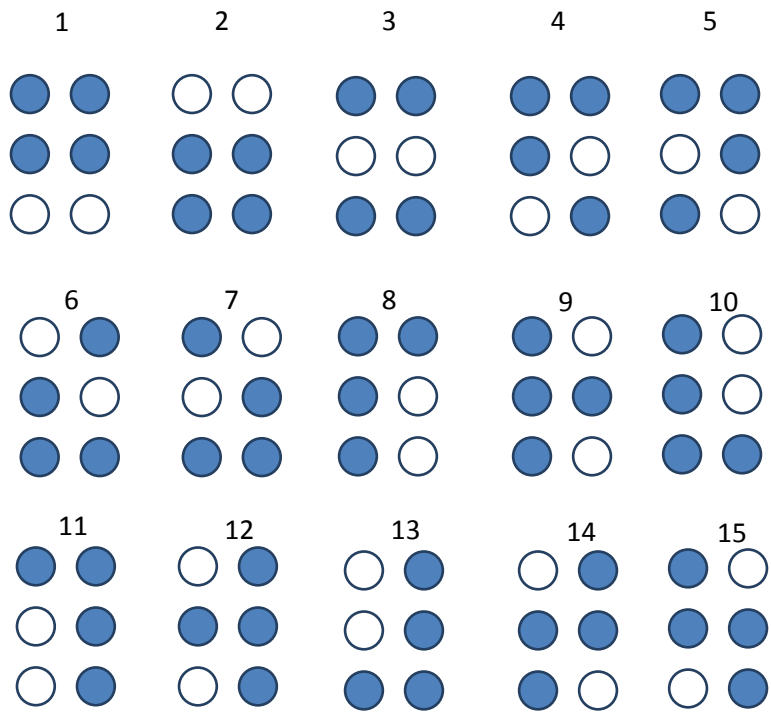


Fig 24. Opcions possibles d'ocupar quatre seients

\*Matemàticament, existeixen 15 posicions diferents degut a l'expressió matemàtica de probabilitat següent:

*Combinació de sis elements agrupats de quatre en quatre*

$$C_6^4 = \frac{6 \times 5 \times 4 \times 3}{4 \times 3 \times 2 \times 1} = \frac{6 \times 5}{2 \times 1} = 15$$

Condicions d'escollir quatre seients diferents:

- No es poden ocupar tres seients a la mateixa columna
  - o Així que la 8, 9, 10, 11, 12 i 13, no poden ser opcions vàlides
- No pot haver cap fila sense ocupar un seient
  - o Així que la 1, 2 i 3, no poden ser opcions vàlides

Les opcions vàlides són: 4, 5, 6, 7, 14, 15.

Doncs, tindriem tres grups formats per 6 persones: grup A, grup B i grup C.

Grup A	Pacient A1	Pacient A2	Pacient A3	Pacient A4	Pacient A5	Pacient A6
Grup B	Pacient B1	Pacient B2	Pacient B3	Pacient B4	Pacient B5	Pacient B6
Grup C	Pacient C1	Pacient C2	Pacient C3	Pacient C4	Pacient C5	Pacient C6

Així que, els seients serien ocupats per les opcions següents de la següent manera:

Opció A: Pacient A1, B1, C1

Opció B: Pacient A2, B2, C2

Opció C: Pacient A3, B3, C3

Opció D: Pacient A4, B4, C4

Opció E: Pacient A5, B5, C5

Opció F: Pacient A6, B6, C6

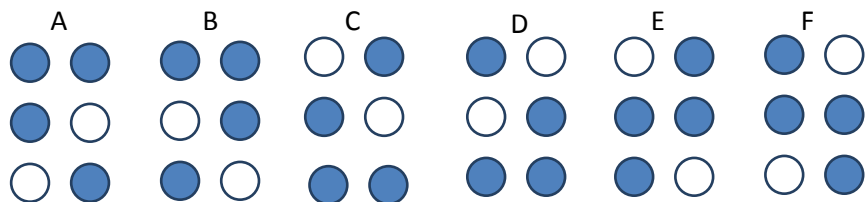


Fig 25. Opcions que s'utilitzarien per ocupar seients

Les proves es farien en dos sessions, de 1 hora cadascuna. En cada sessió es seuri en dos seients diferents.

Primera sessió (1er seient)    Segona sessió (2n sei.)    Tercera sessió (1er sei.)    Quarta sessió (2n sei.)

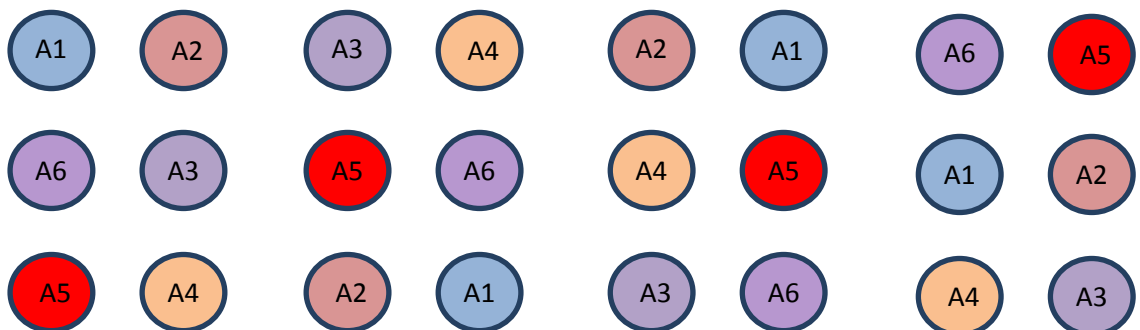


Fig 26. Ocupació dels seients tenint els compte els quatre canvis per cada persona

### 3.5. Lloc de projecció del test

La zona escollida per projectar el test va ser l'aula 2.3 de la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa. Com que es volia representar una sala de projecció, es necessitava una aula amb unes mides acceptables i una inclinació semblant a la del cinema. Aquesta aula va reunir totes les característiques que es demanaven. Aquesta aula es troba a la planta principal de la Facultat i conté una pantalla centrada, en la qual es va projectar el test.

Com s'ha explicat anteriorment, es van utilitzar 6 posicions a l'aula: tres posicions centrades i tres posicions als laterals.

Per aquest motiu, es van mesurar totes les distàncies de l'aula que després serien necessàries pels càlculs de disparitat binocular.

A continuació es troba un plànol en perspectiva de l'aula i de les posicions de visualització del test:

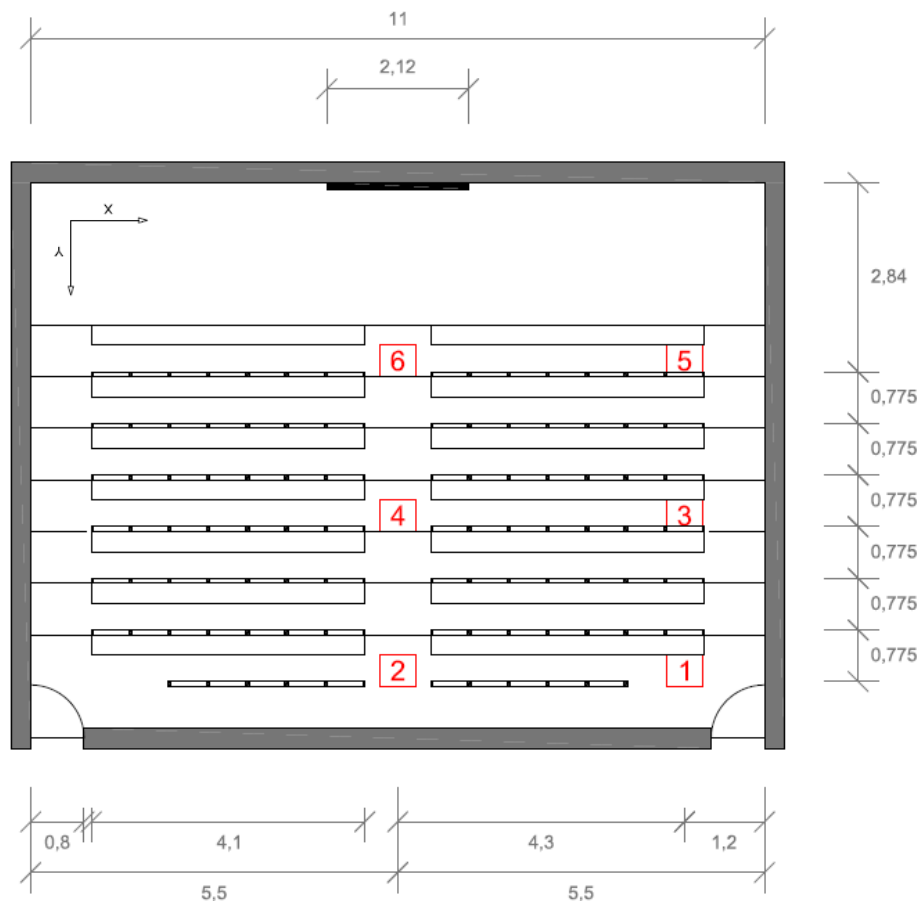


Fig 27. Plànol de l'aula utilitzada a l'experiment i les seves cotes

Les principals distàncies que s'havien de mesurar eren les que depenien de les posicions d'observació. Per tant, la distància de cadascuna de les posicions fins el pla de la pantalla està representada per l'eix de les coordenades (y). I la distància paral·lela al pla de la pantalla, tenint en compte el punt central d'aquesta, estava representada per l'eix de les abscisses (x).

En aquest últim cas es considerava que les posicions 2, 4, i 6 tenien una distància zero respecte al centre de la pantalla. A la següent taula es troben representades aquestes mesures:

Posició	Eix x	Eix y
1	4,30 m	7,49 m
2	0 m	7,49 m
3	4,30 m	5,165 m
4	0 m	5,165 m
5	4,30 m	2,84 m
6	0 m	2,84 m

Taula 2. Coordenades de cadascun dels seients respecte la pantalla en valor absolut

### 3.6. Mostra

S'ha utilitzat una mostra de 18 pacients.

Per escollir aquests pacients, es van realitzar una sèrie de cribratges visuals. Això va ser així, ja que tal com indica el punt 2 del marc teòric, els subjectes han de complir unes condicions per tal de tenir una bona visió binocular i poder optar a veure en bona qualitat la visió tridimensional. Les condicions que diuen que no es podran visualitzar imatges en 3D són:

1. Si només es té visió en un ull (visió monocular)
2. Si els ulls no treballen de manera conjunta (Fòries molt elevades i Tròpies)
3. Si es té diferències considerables entre la visió de l'UD i la de l'UE (Anisometropia)

Les proves que es van portar a terme van ser:

- Agudeses Visual monocular i binocular
- Test d'estereoagudeses Randot
- PPC amb bolígraf
- Heterofòries en VL

Els pacients van realitzar les proves correctament. Molts d'ells, tenen petites fòries compensades però es troben dins dels vàremes (+/- 5 prism).

**[els resultats de les proves de cada pacient es troben en els annexos]**

### 3.7. Procediment en la realització de les proves

Es quedava diversos dies amb cadascun dels tres grups de 6 persones.

En cada sessió es realitzaven dos proves, en dos posicions diferents de l'aula.

En total cada persona havia de passar per quatre seients diferents. Així que per cada seient passaven 12 persones.

La durada de la prova era de 1h estructurada de la següent manera:

10 min – Presentació

20 min – Prova 1

5 min – Descans

20 min – Prova 2

5 min – Explicacions i dubtes

En cada prova es mostraven les 20 diapositives de cada nivell (10 en ordre progressiu i 10 en ordre aleatori). Com s'ha explicat anteriorment, les presentacions també es mostraven en ordre aleatori. A continuació es mostra un exemple de un dia de les proves on veiem com s'intercalen uns nivells amb altres:

Treballant Espai de Panum		Treballant els Punts Proper i Remot de Conv.	
<b>1. VC n.2 Progressiu</b>	11. VC n.1 Progressiu	1. Con n.1 Progressiu	11. Con n.3 Progressiu
<b>2. VCn.2 Aleatori</b>	12. VC n.1 Aleatori	2. Con n.1 Aleatori	12. Con n.3 Aleatori
<b>3. VP n.4 Progressiu</b>	13. VC n.4 Progressiu	3. Div n.3 Progressiu	13. Divn.2 Progressiu
<b>4. VP n.4 Aleatori</b>	14. VC n.4 Aleatori	4. Div n.3 Aleatori	14. Div n.2 Aleatori
<b>5. VP n.1 Progressiu</b>	15. VP n.5 Progressiu	5. Con n.4 Progressiu	15. Con n.5 Progressiu
<b>6. VP n.1 Aleatori</b>	16. VP n.5 Aleatori	6. Con n.4 Aleatori	16. Con n.5 Aleatori
<b>7. VC n.5 Progressiu</b>	17. VP n.2 Progressiu	7. Div n.5 Progressiu	17. Div n.4 Progressiu
<b>8. VC n.5 Aleatori</b>	18. VP n.2 Aleatori	8. Div n.5 Aleatori	18. Div n.4 Aleatori
<b>9. VP n.3 Progressiu</b>	19. VC n.3 Progressiu	9. Div n.1 Progressiu	19. Con n.2 Progressiu
<b>10. VP n.3 Aleatori</b>	20. VC n.3 Aleatori	10. Div n.1 Aleatori	20. Con n.2 Aleatori

Taula 3. Ordre de presentació en una prova

\*VC: Visió creuada, VP: Visió paral·lela, Con: Convergència, Div: Divergència, n.: nivell

Les persones que realitzaven l'experiment necessitaven els següents estris: full indicador de la posició en la que es trobaven, ulleres anaglífiques, full per a respondre i bolígraf.

En el full de respostes quedaven reflectits els dos experiments de la següent manera:

- Experiment 1: Es preguntava el següent:  
En algun moment de cada nivell has vist doble algun dels elements presentats?  
D'aquesta manera, si s'havia vist doble, volia dir que aquell nivell de disparitat binocular no el podia assolir ja que la imatge quedava fora de l'espai de Panum
- Experiment 2: Es feien dos preguntes:  
En algun moment de cada nivell has vist doble l'element presentat?  
En algun moment de cada nivell has vist borrós l'element presentat?  
D'aquesta manera, si s'havia vist doble, volia dir que s'havia arribat al nivell màxim de convergència (o divergència) d'aquella persona. Tot i així, es preguntava si l'havia vist borrós, per comprovar quanta estona podia fusionar l'objecte mentre no estava actuant l'acomodació.

Al final, els pacients havien de respondre dos preguntes, puntuant de l'1 al 10:

- Estat de confort al finalitzar la prova (1 molt dolent, 10 molt bo)
- Dificultat per entendre la prova (1 molt difícil, 10 molt fàcil)

**[els qüestionaris dels pacients amb les respostes es troben als annexos]**

A la pagina següent es mostra el full de respostes utilitzat durant les proves:

### 3.8. Procediment per a l'obtenció de les dades

Un cop realitzades les proves pertinents, era el moment d'obtenir les dades.

Tenint les mesures preses de la distància entre les franges a la diapositiva més difícil de cada nivell i de la distància interpupil·lar "DIP" de cada pacient, amb l'ajuda d'un document Excel s'han pogut trobar les disparitats binoculars segons la fórmula mostrada anteriorment:

$$DB = \alpha_{UE} - \alpha_{UD}$$

Com s'ha explicat a l'apartat 6 del marc teòric, la disparitat binocular és la lleugera diferència dels angles binoculars subtendits per dos objectes que provoquen els dos punts de vista proporcionats pels dos ulls. El cervell agafa aquests dos punts de vista diferents -creats gràcies a la visió binocular, ja que els dos ulls miren al mateix objecte des d'angles lleugerament diferents-, els integra i crea així un objecte en tres dimensions. Així que, el que fa el document preparat és:

Des de les x i les y de cadascun dels seients respecte la pantalla, a partir de triangulació entre punts, troba:

- L'angle existent entre l'ull esquerre amb la franja de la fixació i la franja desplaçada que percep aquest ull
- L'angle existent entre l'ull dret amb la franja de fixació i la franja desplaçada que percep aquest ull

La diferència entre aquests dos angles ens dona l'angle subjacent que ens marca la disparitat binocular horitzontal. Aquest angle passat a graus i a segons, ens dona els segons d'arc que necessitem.

Obtingudes les dades d'aquesta manera, tenim:

- Disparitat binocular màxima fusionada per cada persona per cada seient per cada experiment (treballant l'espai de Panum en visió creuada i visió paral·lela i treballant el PPC i el PRC)
- Mitjana de la disparitat binocular màxima per cada seient per cada experiment
- Desviació estàndard de la disparitat binocular màxima de cada seient per cada experiment
- Mitjana dels valors màxims de convergència i divergència per cada seient per cada experiment

- Desviació estàndard dels valors màxims de convergència i divergència per cada seient per cada experiment

Per tal d'observar visualment quin és el comportament de la visió estereoscòpica de la mostra quan aquesta varia de seient dins d'una "sala de projecció", s'ha utilitzat el sistema de gràfiques de corbes de nivell.

Amb les corbes de nivell podem veure on es troba concentrat el seient on els observadors arriben a disparitats binoculars més altes i quin és el seient on les expectatives no són tan altes.

Les proves s'han realitzat a la columna central de la sala i a només un lateral. El motiu ha estat que es creu que, per la lateralitat que existeix entre les mateixes dimensions que la sala té tant a un costat com a l'altre, les respostes serien de caire semblant. De tota manera, a les gràfiques, s'ha doblat la resposta per tenir present els dos laterals i per a que fos visualment més regular.

Així que, a les gràfiques tenim una visió de l'aula des de dalt, per tal de tenir físicament un repartiment real d'on estan col·locats els seients.

Quan es traslladaven les respostes de les persones a números quantitius, va sorgir un debat: algunes persones responien que veien bé la presentació progressiva d'un nivell de disparitat binocular, però veien doble la presentació aleatòria del mateix nivell.

Així que l'anàlisi de les gràfiques s'ha realitzat de manera doble: tenint en compte les dos variables.

La primera variable s'anomenarà "Progressiu": ja que només es té en compte les presentacions del test en ordre progressiu.

La segona variable s'anomenarà "Aleatori": on només s'està tenint en compte les presentacions del test en ordre aleatori.

Les gràfiques, també es mostren de dos maneres diferent:

- utilitzant una repartició de colors tenint com a referència el màxim i mínim de cada variable ("Progressiu" i "Aleatori")
- utilitzant una repartició de colors igual a cadascuna de les variables

Com que les respostes de tots els pacients no ha estat del tot igualada, s'opta per també mostrar unes gràfiques de la dispersió estàndard de les respostes a cada posició. Amb això, s'observarà quins han estat els seients més conflictius per veure bé les presentacions o quin ha estat el seient on tothom ha tingut problemes per veure-ho bé.

Aquestes gràfiques de dispersió també es mostraran tenint en compte les variables de "Progressiu" i "Aleatori".

Per tenir una base sobre quines són les disparitats binoculars màxims i mínims de cada posició i quins són els valors de convergència i de divergència màxims i mínims, es mostren les següents taules (per saber la mínima s'ha pres com a referència la persona amb menys DIP en el nivell més baix i per saber la màxima s'ha pres com a referència la persona amb més DIP en el nivell més alt):

Treballant l'espai de Panum en visió creuada:



	Disparitat mínima	Disparitat màxima
Posició 1	332 "	2982 "
Posició 2	441 "	3965 "
Posició 3	377 "	3397 "
Posició 4	639 "	5750 "
Posició 5	352 "	3177 "
Posició 6	1162 "	10452 "

Taula 4.

Treballant l'espai de Panum en visió paral·lela:

	Disparitat mínima	Disparitat màxima
Posició 1	-332 "	-2982 "
Posició 2	-441 "	-3965 "
Posició 3	-377 "	-3397 "
Posició 4	-639 "	-5750 "
Posició 5	-352 "	-3177 "
Posició 6	-1162 "	-10458 "

Taula 5.

Treballant el Punt Proper de Convergència:

	Convergència mínima i distància*		Convergència màxima i distància*	
Posició 1	10273 "	995 mm	23525 "	526 mm
Posició 2	13652 "	760 mm	31214 "	400 mm
Posició 3	11702 "	860 mm	26832 "	458 mm
Posició 4	19787 "	524 mm	45152 "	275 mm
Posició 5	10958 "	875 mm	25252 "	474 mm
Posició 6	35898 "	288 mm	81243 "	152 mm

Taula 6.

\*Aquesta distància representa la distància entre l'objecte aparent de fixació i els ulls del pacient

Facultat d'Òptica y Optometria de Terrassa

© Universitat Politècnica de Catalunya, any 2015. Tots els drets reservats

### Treballant el Punt Remot de Convergència:

	Divergència mínima i distància*		Divergència màxima i distància*	
Posició 1	-10274 "	- 1292,4 mm	-23532 "	-600 mm
Posició 2	-12656 "	-953,3 mm	-31234 "	-447,2 mm
Posició 3	-11703 "	-1156,7 mm	-26837 "	-530,1 mm
Posició 4	-19798 "	-657,4 mm	-45214 "	-308,4 mm
Posició 5	-10954 "	-1325,6 mm	-25228 "	-581,8 mm
Posició 6	-35960 "	-361,5 mm	-81600 "	-170 mm

Taula 7.

\*Aquesta distància representa la distància entre l'objecte aparent de fixació i els ulls del pacient

Abans de comentar els gràfics de Punt Proper i Remot de Convergència cal fer un apunt bastant remarcable referent a la realització d'aquestes proves.

Quan es presentaven les proves molta part de la mostra tenia problemes per veure les presentacions en visió estereoscòpica. Hi havia més controvèrsia en les presentacions de divergència per identificar el Punt Remot de Convergència.

En la taula següent es pot observar quina ha estat la mitjana de la quantitat de persones que han respost a les proves del Punt Proper i Remot de Convergència:

Punt Proper de Convergència, variable "Progressiu"	Entre 7 i 8 persones de 12*
Punt Proper de Convergència, variable "Aleatori"	Entre 7 i 8 persones de 12
Punt Remot de Convergència, variable "Progressiu"	Entre 3 i 4 persones de 12
Punt Remot de Convergència, variable "Aleatori"	Entre 2 i 3 persones de 12

Taula 8.

\*Ha estat una mostra de 18 pacients, però a cada seient realitzaven les proves 12 persones

## **3.9. Anàlisi de les dades**

### **3.9.1. Experiment 1: Treballant l'espai de Panum en visió creuada**

A continuació es mostra una taula amb els valors mitjos de màxima disparitat binocular assolida a cada posició, tenint en compte la variable "Progressiu":

Posició de l'aula	Mitjanes de la màxima disparitat binocular assolida
1	1685 "
2	2056 "
3	1667 "
4	2928 "
5	1353 "
6	3195 "

Taula 9.

\*Per saber què representen aquestes respostes, s'ha de prendre com a referència la taula de valors de disparitat binocular mínima i màxima de cada nivell de l'apartat anterior.

A continuació es mostra una taula amb els valors mitjos de màxima disparitat binocular assolida a cada posició, tenint en compte la variable "Aleatori":

Posició de l'aula	Mitjanes de la màxima disparitat binocular assolida
1	1519 "
2	1762 "
3	1635 "
4	2130 "
5	1257 "
6	2711 "

Taula 10.

Les gràfiques següents mostren com ha estat aquest repartiment respecte les posicions dels seients a l'aula:

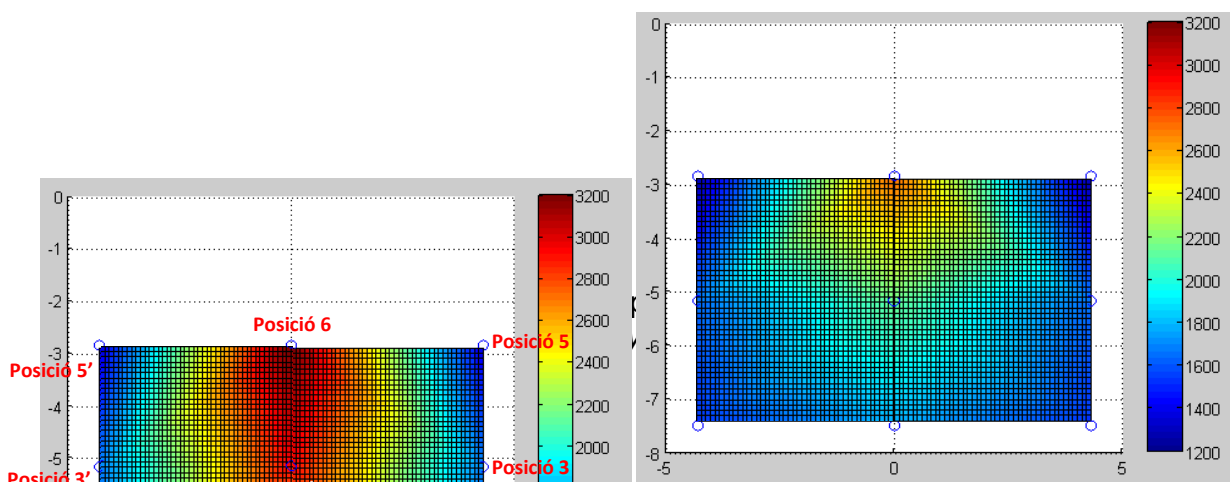


Fig 28. Treballant l'espai de Panum en visió creuada, en les variables "Progressiu" (esquerra) i "Aleatori" (dreta), utilitzant el mateix repartiment de colors

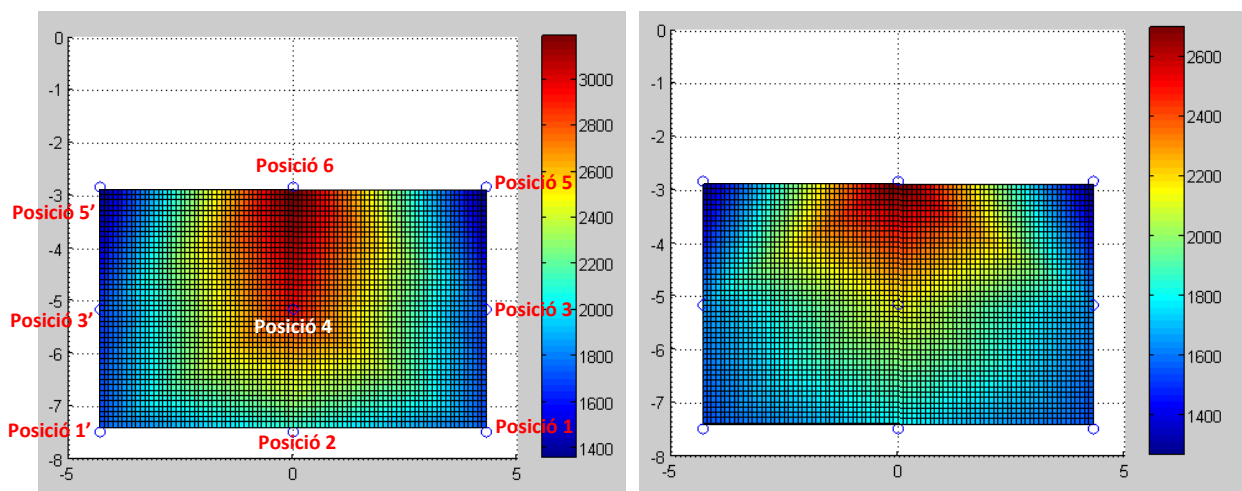


Fig 29. Treballant l'espai de Panum en visió creuada, en les variables "Progressiu" (esquerra) i "Aleatori" (dreta), utilitzant diferent repartiment de colors

Comentari:

El gràfic de corbes de nivell ens mostra la classe vista des de dalt. La pantalla estaria a la part superior. Així que trobem les posicions 5, 6 i 5' a la part de dalt. Al mig trobem les posicions 3, 4 i 3'. I a la part inferior les posicions més allunyades de la pantalla, les posicions 1, 2 i 1'. Tal com ens mostra el repartiment de colors el punt més vermell es troba a la posició 6. Això indica que aquest ha estat el seient on els observadors han arribat a disparitats binoculars més grans, també provocades per la gran separació entre franges que s'observa a una distància tan reduïda respecte de la pantalla. La posició 4 seria el següent seient on es troben les millors disparitats binoculars assolides. A partir d'aquestes dos es troba una disminució per a les posicions 1, 1', 2, 3, 3', 5 i 5'. Tot i així el seient 2, al mig, ha estat on s'arriba a una disparitat binocular més elevada. La següent posició seria el seient número 3 i 3' i la pitjor posició en la que s'arriba a menys disparitat binocular és el seient número 5 i 5'.

Comparant el mètode de la variable "Progressiu" i el de la variable "Aleatori" veiem que en l'"Aleatori" no s'assoleixen disparitats binoculars tan elevades. De tota manera, les dues gràfiques

segueixen la mateixa tònica on la millor posició és la 6 i com si d'un cercle es tractés, la pitjor és la posició 5 i 5' passant abans per la 4, 2, 1 i 3.

També es pot observar que quan es comparen els gràfics utilitzant el mateix repartiment de colors, en la variable "Progressiu" s'arriba a disparitats binoculars més elevades.

### Gràfics de dispersió

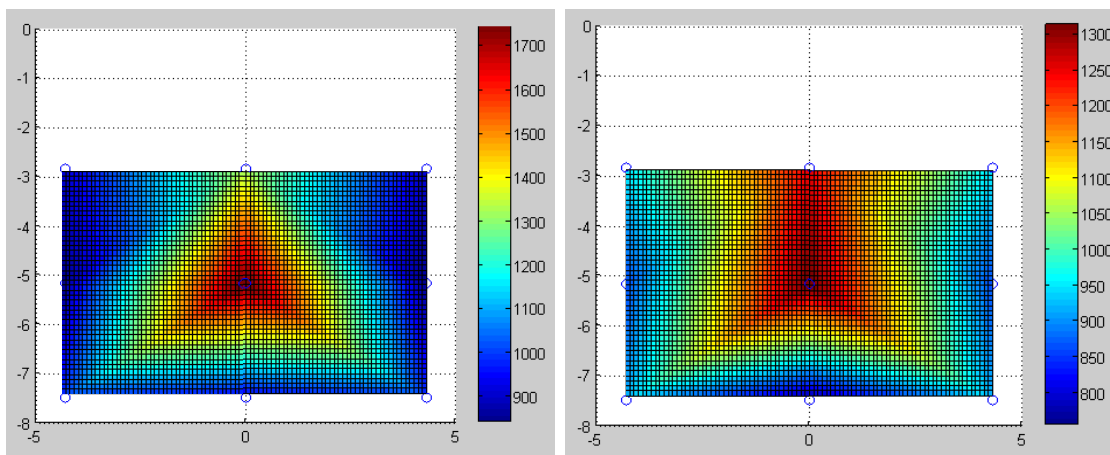


Fig 30. Gràfics de dispersió de treballant l'espai de Panum en visió creuada, per les variables "Progressiu" i "Aleatori"

Comentari:

La utilitat del gràfic de dispersió és saber en quins punts els observador que van realitzar la prova a cada seient han variat més la seva resposta.

Com veiem, el punt on es troba la segona millor posició és on els observador han variat més entre uns i altres. Això és perquè com que es troben en una posició bastant bona, amb una bona inclinació i una bona col·locació dins l'aula, cadascú respon segons la seva capacitat de convergir, divergir i de veure imatges estereoscòpiques. En canvi a les posicions més extremes com poden ser la 2 o la 5, tothom comet el mateix error a les grans disparitats binoculars i es queden en una disparitat més baixa.

També veiem que la dispersió que s'ha creat en la variable "Aleatori" és més petita, ja que el gràfic és molt més regular. Això ens indica que realment, si tens en compte que si veu el progressiu però no l'aleatori, és que aquell nivell de disparitat binocular és incapaç de veure'l bé i com a conseqüència la mostra en general acaba tenint les mateixes respostes.

### **3.9.2. Experiment 1: Treballant l'espai de Panum en visió paral·lela**

A continuació es mostra una taula amb els valors mitjans de màxima disparitat binocular assolida a cada posició, tenint en compte la variable "Progressiu":

Posició de l'aula

Mitjanes de la màxima disparitat binocular assolida

1	-1160 "
2	-1175 "
3	-1070 "
4	-1917 "
5	-1118 "
6	-2711 "

Taula 11.

A continuació es mostra una taula amb els valors de màxima disparitat binocular assolida a cada posició, tenint en compte la variable "Aleatori":

Posició de l'aula

Mitjanes de la màxima disparitat binocular assolida

1	-904 "
2	-991 "
3	-926 "
4	-1597 "
5	-912 "
6	-2227 "

Taula 12.

Les gràfiques següents mostren com ha estat aquest repartiment respecte les posicions dels seients a l'aula:

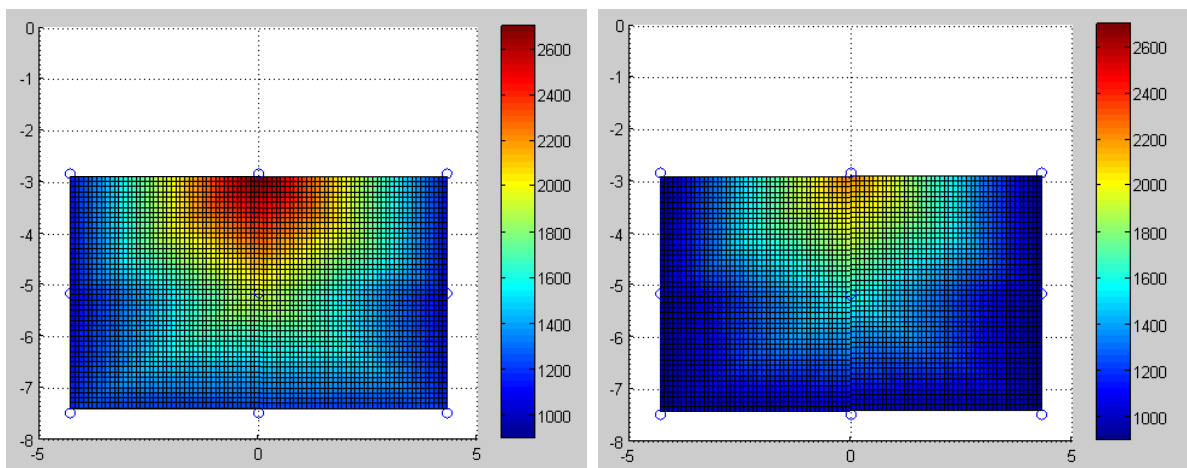


Fig 31. Treballant l'espai de Panum en visió paral·lela, en les variables "Progressiu" (esquerra) i "Aleatori" (dreta), utilitzant el mateix repartiment de colors

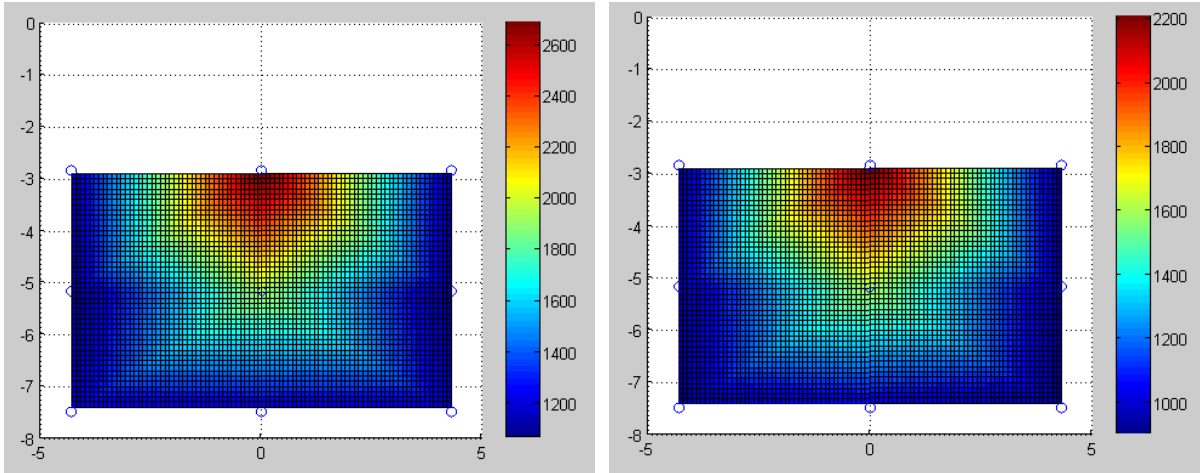


Fig 32. Treballant l'espai de Panum en visió paral·lela, en les variables "Progressiu" (esquerra) i "Aleatori" (dreta), utilitzant diferent repartiment de colors

Comentari:

Tal com veiem en el cas anterior, el punt més vermell el tornem a trobar a la posició 6. Això indica que aquest ha estat el seient on els observadors han arribat a disparitats binoculars més grans. També podem observar com als seient de la columna del mig s'obtenen millors resultats que als laterals.

En aquest cas la diferència entre "Progressiu" i "Aleatori" es mostra més clara. En el segon ens trobem amb una gràfica molt més regular, on mostra que hi ha hagut un pic de disparitat a la posició 6, però que la mostra ha respost regularment i igualitàriament a totes les altres posicions.

A l'hora de comparar els gràfics utilitzant el mateix repartiment de colors, en aquests cas no trobem grans diferències. Si que en la variable "Progressiu" tenim un pic més alt, però el repartiment a l'aula ha estat igual. Això vol dir que la majoria d'observadors si li posaven un nivell més difícil de disparitat binocular s'adonaven al moment de que no el podien assolir.

### Gràfics de dispersió

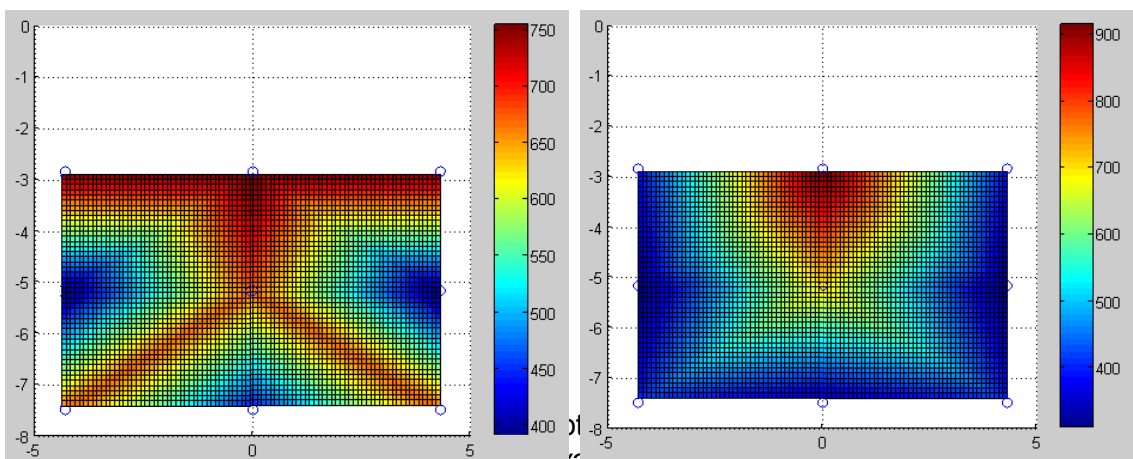


Fig 33. Gràfics de dispersió de treballant l'espai de Panum en visió paral·lela, per les variables "Progressiu" (esquerra) i "Aleatori" (dreta)

Comentari:

En aquest cas podem veure clarament com la varietat de respostes afecta globalment a l'aula. El gràfic és molt irregular, sense tenir cap sentit ni seguir cap patró.

Això és degut a la dificultat que suposa per a molts dels observadors l'acció de divergir. Els resultats no han estat tan elevats i cadascú ha respost de manera diferent.

Però atenció, per què quan es passa a la variable "Aleatori" tot canvia. Tornem a tenir un gràfic regular, seguint unes línies adoptades en altres casos i tenint com a màxim punt el seient número 6. I encara més, tenint entre el mínim i el màxim una diferència de dispersió molt petita.

### 3.9.3. Experiment 2: Treballant el Punt Proper de Convergència

A continuació es mostra una taula amb els valors mitjos de màxima convergència assolits a cada posició, tenint en compte la variable "Progressiu" i les distàncies que representen:

Posició de l'aula	Mitjana dels valors màxims de convergència assolits		Distància de l'objecte aparent de fixació als ulls
1	19266 "	5,4 °	625 mm
2	29022 "	8,1 °	411 mm
3	23468 "	6,5 °	505 mm
4	38834 "	10,8 °	298 mm
5	19621 "	5,5 °	600 mm
6	59880 "	16,7 °	191 mm

Taula 13.

A continuació es mostra una taula amb els valors mitjos de màxima convergència assolits a cada posició, tenint en compte la variable "Aleatori" i les distàncies que representen:

Posició de l'aula	Mitjana dels valors màxims de convergència assolits		Distància de l'objecte aparent de fixació als ulls
1	18319 "	5,1 °	650 mm
2	26828 "	7,5 °	454 mm



3	22626 "	6,3 °	520 mm
4	37926 "	10,5 °	310 mm
5	19868 "	5,5 °	568 mm
6	56463 "	15,7 °	205 mm

Taula 14.

Les gràfiques següents mostren com ha estat aquest repartiment respecte les posicions dels seients a l'aula:

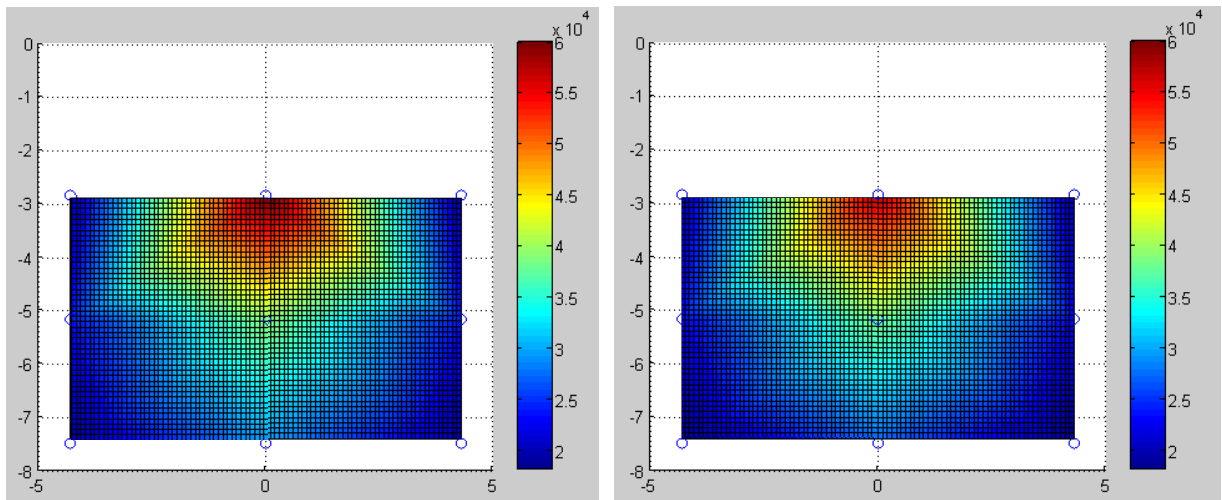


Fig 34. Treballant el Punt Proper de Convergència, en les variables "Progressiu"(esquerra) i "Aleatori"(dreta), utilitzant el mateix repartiment de colors

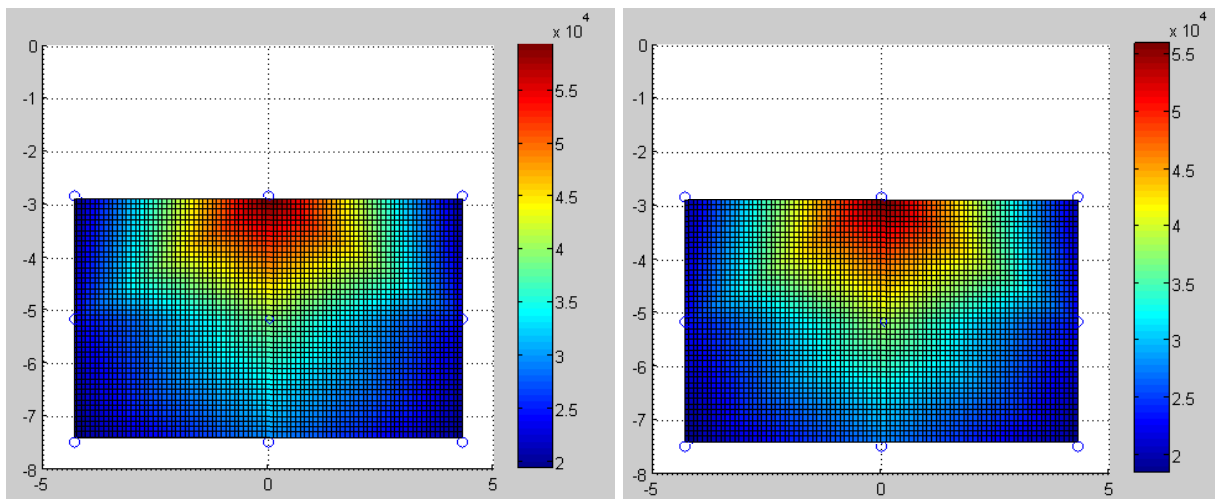


Fig 35. Treballant el Punt Proper de Convergència, en les variables "Progressiu" (esquerra) i "Aleatori" (dreta), utilitzant diferent repartiment de colors

Comentari:

Com hem dit anteriorment, l'anàlisi del Punt Proper de Convergència(PPC) es realitza amb les dades de entre 7 i 8 observadors dels 12 que hauríem de tenir resultats.

Tal com ens trobem en casos anteriors, el gràfic segueix un mateix patró: el seient 6 és el que ha obtingut valors de convergència més elevats, seguidament el seient 4 i amb resultats molt igualats es troben el 1, 1', 2, 3, 3', 5 i 5'.

En aquests casos el que es volia aconseguir era forçar el mecanisme de convergència visual fins al màxim per a saber quina era la màxima separació entre objectes per a poder aconseguir veure-ho en visió estereoscòpica.

Com sabem el PPC és el punt més proper al que podem apropar un objecte fixat abans de veure'l en visió doble. En el PPC normal, actuen la convergència i l'acomodació. En aquest cas, no tenim acomodació, ja que l'objecte que estem fixant en realitat es troba a una distància molt gran.

Així que, era d'esperar que la qualitat de les respostes no fos massa bona. Tot i així, podem veure que els observadors han respost bastant regularment: tant si comparem la variable "Progressiu" amb la variable "Aleatori", com si comparem el mateix repartiment de colors amb diferent repartiment, ens trobem amb un gràfic gairebé del mateix tipus i com s'ha dit, seguint el patró d'altres vegades.

Als seient més a prop de la pantalla els observadors han pogut apropar el seu PPC més que als seient més allunyats.

### Gràfics de dispersió

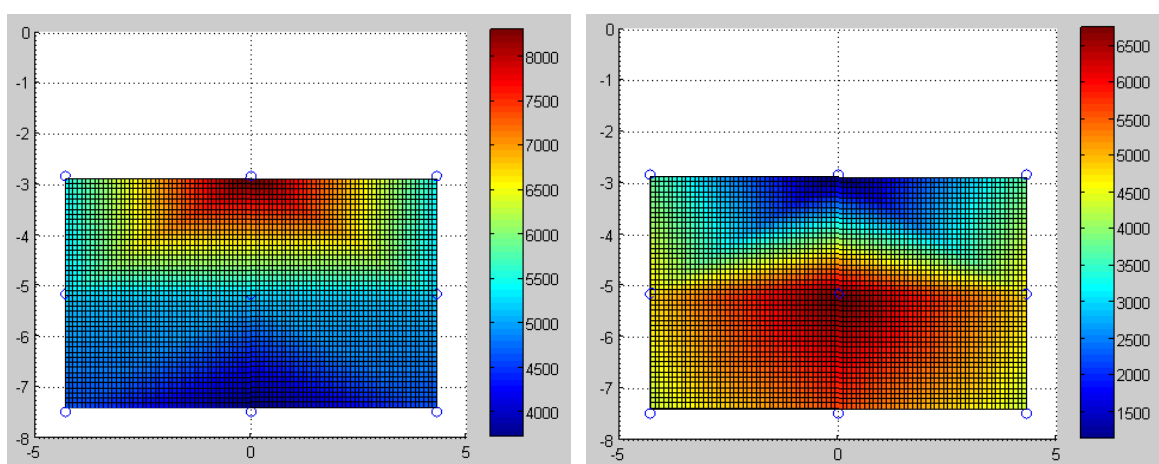


Fig 36. Gràfics de dispersió de treballant el Punt Proper de Convergència, per les variables "Progressiu" i "Aleatori".

Comentari:

En l'apartat anterior ens semblava que les respostes havien estat molt igualitàries i que els observadors arribaven a nivells semblants. Però, ens trobem amb uns gràfics de dispersió bastant irregulars.

En la variable "Progressiu" no tant. Al seient número 6, on els observadors arribaven a cotes més altes de disparitat, també és el punt on els observadors han variat més la seva resposta. En canvi, a la resta de posicions es bastant baixa la dispersió, els observadors han coincidit en moltes respostes, de

les poques que s'han pogut obtenir.

En la variable "Aleatori" trobem un gràfic on en general per tota l'aula hi ha una dispersió bastant elevada. Això es degut a que, com que no es troba molta quantitat de respostes, la mostra ha arribat a nivells de convergència molt diferents els uns dels altres. Només aquells que han pogut forçar el mecanisme visual de convergència amb més ímpetu han arribat a nivells més alts. Però això ha provocat que, com que hi havia molta part de la mostra que tampoc l'ha pogut forçar tant, la diversitat de respostes ha perdut la regularitat abans trobada.

### 3.9.4. Experiment 2: Treballant el Punt Remot de Convergència

A continuació es mostra una taula amb els valors mitjos de màxima divergència assolits a cada posició tenint en compte la variable "Progressiu" i la distància que representen:

Posició de l'aula	Mitjana dels valors assolits	màxima de divergència	Distància de l'objecte aparent de fixació als ulls
1	-12925 "	-3,6 °	-1129,6 mm
2	-20982 "	- 5,8 °	-726,6 mm
3	-18323 "	- 5,1 °	-862,6 mm
4	-21391 "	-6 °	-660,4 mm
5	-10954 "	-3 °	-1446,9 mm
6	-38933 "	-10,8 °	-349,1 mm

Taula 15.

A continuació es mostra una taula amb els valors mitjos de màxima divergència assolits a cada posició tenint en compte la variable "Aleatori" i la distància que representen:

Posició de l'aula	Mitjana dels valors assolits	màxima de divergència	Distància de l'objecte aparent de fixació als ulls
1	-12483 "	-3,5 °	-1136,2 mm
2	-20982 "	-5,8 °	-726,6 mm
3	-19268 "	-5,4 °	-805,1 mm
4	-19797 "	-5,5 °	-677,4 mm

5	0''	0°	0 mm
6	-35960''	-10°	-368,8 mm

Taula 16.

Les gràfiques següents mostren com ha estat aquest repartiment respecte les posicions dels seients a l'aula.

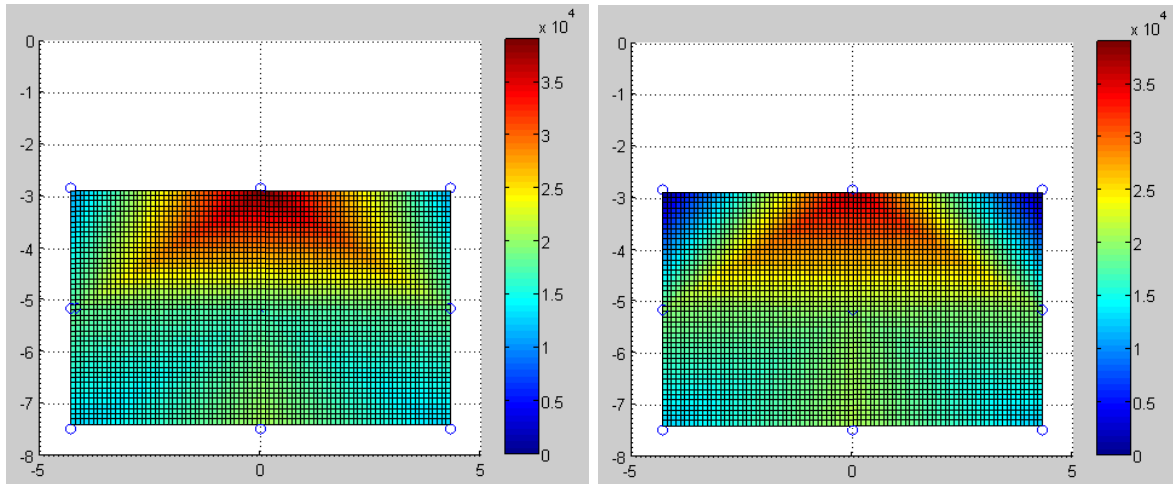


Fig 37. Treballant el Punt Remot de Convergència, en les variables "Progressiu" i "Aleatori", utilitzant el mateix repartiment de colors

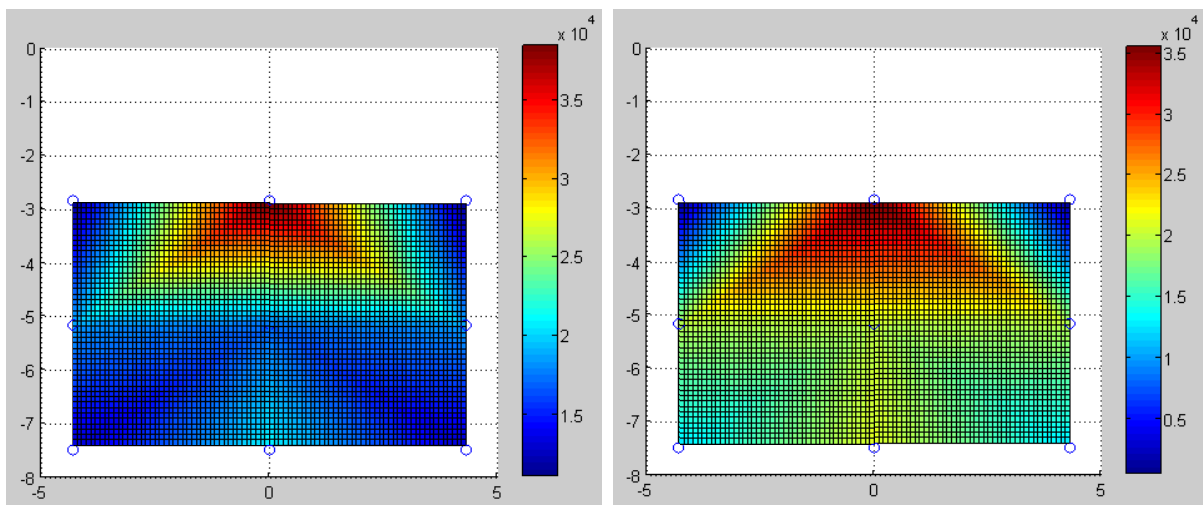


Fig 38. Treballant el Punt Remot de Convergència, en les variables "Progressiu" i "Aleatori", utilitzant diferent repartiment de colors

Comentari:

Realment, en aquest apartat és on més en compte s'han de tenir els resultats trobats en la realització de les proves. Abans s'ha dit que la quantitat d'observadors que havia respost era molt baixa, però a continuació veiem una taula on es mostra la quantitat d'observadors que han respost a cada seient per a poder entendre la situació:

Posició 1      Posició 2      Posició 3      Posició 4      Posició 5      Posició 6

Taula 17.

En la majoria de seients han estat 3 les persones que han aconseguit veure bé algun nivell presentat. Però hi ha hagut alguna situació, com en el seient 5 i 5', en què ningú ho ha pogut aconseguir.

Això ens indica dos coses:

- La dificultat que tenen els observadors per divergir
- La dificultat que té tractar el Punt Remot de Convergència a distàncies tan elevades
- Els límits on es troba la visió estereoscòpica

De tota manera, ens tornem a trobar uns gràfics on el màxim exponent de disparitat binocular es troba al seient número 6. A la resta de seients, ha estat a uns nivells baixos, assolint només el primer o el segon nivell de divergència mostrat.

### Gràfics de dispersió

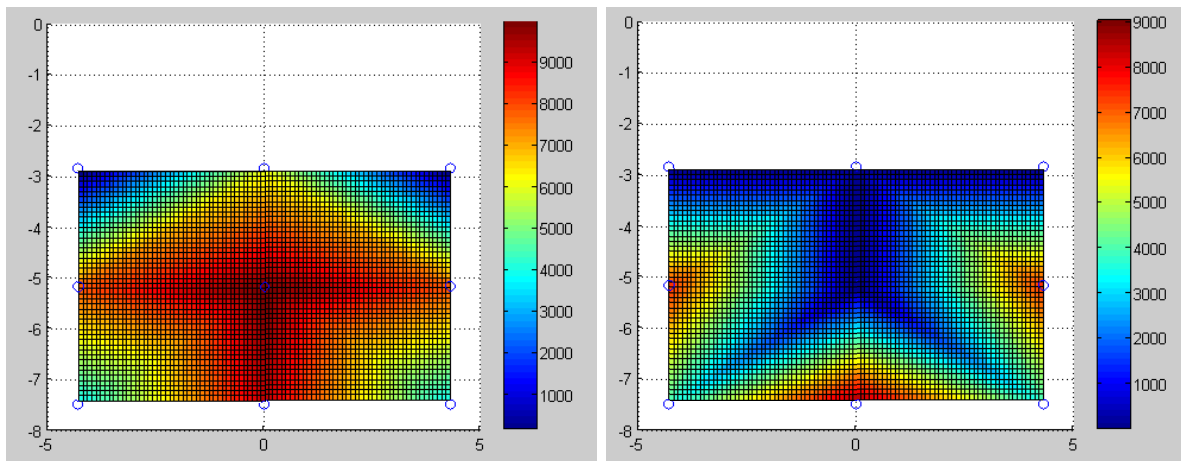


Fig 39. Gràfics de dispersió de treballant el Punt Remot de Convergència, per les variables “Progressiu” i “Aleatori”.

Comentari:

Com era d'esperar, els gràfics de dispersió ens mostren que aquesta ha estat molt elevada en tota l'aula. I que tant en “Progressiu” com en “Aleatori” hi ha hagut varietat de respostes en les poques persones que han respost.

Tenint una gran varietat amb només contant al voltant de 3 persones, es podria assegurar que aquest apartat hauria de quedar fora de qualsevol conclusió coherent, ja que no s'ha obtingut suficient informació per imposar que aquest apartat es pot analitzar.

### 3.10. Anàlisi del confort visual

Al final de cada prova, es va preguntar als pacients dos coses:

Quin era el seu estat de confort al final de la prova? Tenint en compte que 1 era molt dolent i 10 molt bo.

Quina havia estat la dificultat per entendre la prova? Tenint en compte que 1 era molt difícil i 10 molt fàcil.

La mitjana de l'estat de confort va ser 6,5. És a dir, que la majoria dels observadors es van sentir còmodes al finalitzar una prova, tot i que estar concentrats convergint i divergint tanta estona al final derivés en alguns casos de mareig o de cansament visual.

La mitjana de la dificultat de la prova va ser 3. Això ens mostra que pels observadors és difícil assegurar si en alguns moments ho estan veient doble o no, si la disparitat presentada es troba dins dels seus límits o si estan interferint masses factors com per exemple les postimatges.

Tot i així, la majoria de la mostra, a la segona sessió van creure que havien millorat i que entenien molt millor com es desenvolupava i com s'havia de realitzar la prova. Potser, fent un anàlisi més exhaustiu –però segurament més cansat per la persona- es podrien aconseguir millors resultats.

## 4. Discussió

Podem veure que un dels tres objectius que es plantejaven al principi de l'experiment ha sortit positiu en tota regla: "Saber si la posició de l'espectador respecte la pantalla del cinema condiona en la seva captació de les imatges en 3D". Condiona, i molt.

En totes les proves la mostra ha arribat disparitats binoculars horitzontals més elevades en els seients de en mig de la sala, i sobretot en la posició central i en primera fila. En canvi, han estat molt baixes les respostes a els seients dels laterals. Això, a la teoria està molt bé ja que quan es presenta una certa separació dels objectes, segons la distància a la que es troba la persona de la pantalla i l'obliquïtat respecte aquesta, s'obtenen disparitats binoculars diferents. Però quan es projecta una pel·lícula a una sala de projecció no es té en compte això, i es presenta la mateixa separació dels objectes tan per un seient com per un altre. L'única solució viable seria que la presentació variés la seva separació depenent en el seient en el que seus. De moment, això és completament impossible, però ens mostra la possibilitat de que aquest sigui un dels motius pels que certs observadors no veuen bé les pel·lícules en 3D.

Quan es va pensar l'experiment, es volia intentar separar les dos imatges tan com fos necessari fins que el pacient no pogués veure-ho en tres dimensions. Però debatent sobre aquest tema van vindre al cap diversos factors que al final s'han tingut en compte: l'espai de Panum, la utilització de objectes de referència, la visió diplòpica que apareix en l'objecte que no estem fixant, etc. Per aquest motiu,

primer s'intenta realitzar una estereopsis fina, fins a quin punt tenim una fusió tant en l'objecte fixat com en el que no, i després es realitza una estereopsis grollera, utilitzant com a rerefons teòric el punt proper i remot de convergència.

Però, ens vam adonar de que al cinema no ens adonem del problema de la visió diplòpica. Doncs, vam realitzar diverses proves amb objectes, intentant fer fotografies per tal de després veure-les en visió estereoscòpica. I ens vam adonar del que passava. En el moment en que hi ha una successió de objectes o de plans que et porten des de el més proper al més llunya, l'ull humà no s'adona de que quan es mira el primer pla, el pla del fons es troba en visió diplòpica, tot i que si que ho està. Així que, es podria assegurar que en molts moments de les projeccions audiovisuals en 3D mentre fixem la visió en alguns elements, altres elements es troben en visió diplòpica. De tota manera, s'ha volgut demostrar, que hi ha un límits en quant a separació de imatges, i que no es pot arribar a disparitats binoculars tan altes.

Per últim, un dels punts de més problemàtica durant les proves ha estat la visualització de les presentacions de divergència, que eren les de visió paral·lela i les de punt remot de convergència.

La mostra no té la capacitat necessària per divergir una certa quantitat de graus i ha provocat que la quantitat d'observadors que han respost aquestes parts sigui realment baixa. Potser, un proper anàlisi hauria de basar-se en quina és la qualitat de visió en divergència que existeix avui dia i quines maneres hi hauria de millorar-la. Tot i aquest tema, s'ha treballat molt en teràpia visual.

Així que com es pot veure, s'han pogut trobar respostes als objectius plantejats inicialment, i les hipòtesis pensades s'han aprofitat molt a les troballes finals.

## 5. Conclusions

Una vegada analitzades les dades obtingudes, s'arriba a les següents conclusions:

Depenent del seient de l'aula de projecció, s'arriben a diferents resultats. Al centre s'arriben a millors resultats, i sobretot a la posició central davantera.

Tot i que es tracta de la mateixa disparitat binocular, no s'arriben als mateixos valors en visió creuada com en visió paral·lela.

La disparitat binocular màxima mitjana que permet la fusió i consegüentment la visió en 3D en visió creuada és de aproximadament 3200 segons d'arc.

En canvi, en visió paral·lela, s'ha obtingut una disparitat binocular màxima mitjana de aproximadament 2200 segons d'arc.

Hi ha una gran diferència alhora de presentar el test de manera progressiva que de manera aleatòria. En la variable aleatòria els resultats són més baixos. En canvi, en la variable progressiva, ja que s'acompanya al observador de una disparitat binocular més petita a una més gran, s'obtenen respostes més elevades.

Existeix una gran dificultat per poder veure les presentacions de divergència.

El valor mitjà de convergència màxim assolit és de 17 graus (60000 segons d'arc), que representa una distància entre l'objecte aparent de fixació i els ulls de l'observador de aproximadament 20 cm.

És molt difícil mesurar el Punt Remot de Convergència amb la poca informació que s'ha obtingut de l'experiment.

Es voldrien realitzar les mateixes proves utilitzant un sistema de visió estereoscòpica de polaritzat circular, per tal d'apropar-se més a la realitat d'avui dia. D'aquesta manera s'asseguraria que les respostes fossin més acurades i positives.

## 6. Protecció de dades

Totes les dades i noms que puguin sortir en aquest treball queden registrats sota la base de dades de la UPC amb el permís de l'autor i els directors del treball.

## 7. Agraïments

Al Jose Luís i la Núria, directors del projecte de investigació, per ajudar-me, aconsellar-me i recolzar-me, fins i tot en els moments més complicats.

A la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa per facilitar-me l'aula, per tal de poder realitzar les proves de l'experiment.



A tots els meus companys de carrera i als companys que han volgut aportar el seu granet de sorra per a que aquest treball tingués una base pràctica.

Als meus amics i familiar per ajudar-me en els moments difícils, en moments de nervis i tenir fe en mi.

A tots els professors que m'han transmès els seus coneixements.

Gràcies a tothom.

## 8. Bibliografia

[1] Stidwill, D., Fletcher, R. (2011) Normal Binocular Vision: Theory, investigation and practical aspects

[2] <http://ocularis.es/blog/vision-binocular/>

[3] Apunts Motilitat Ocular

[4] Figura 1. Steinman, Scott B., Steinman, Barbara A., Philip, Ralph. (2000) Foundations of binocular vision: A clinical perspective. Figura pàgina 31

[5] Figura 2. Stidwill, D., Fletcher, R. (2011). Figura page 73

[6] Figura 3. [webvision.med.utah.edu/book/part-viii-gabac-receptors/perception-of-depth](http://webvision.med.utah.edu/book/part-viii-gabac-receptors/perception-of-depth)

[7] Figura 4. [learni.st/boards/72166/learnings/679209-concepto-del-rea-de-panum](http://learni.st/boards/72166/learnings/679209-concepto-del-rea-de-panum)

[8] [onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.1997.tb04876.x/pdf](http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1444-0938.1997.tb04876.x/pdf)

[9] [oftalmologia-barcelona.com/2011/11/21/la-estereopsis-vision-en-relieve-es-fundamental-en-la-vida-diaria-conoces-tu-nivel-de-estereopsis/](http://oftalmologia-barcelona.com/2011/11/21/la-estereopsis-vision-en-relieve-es-fundamental-en-la-vida-diaria-conoces-tu-nivel-de-estereopsis/)

[10] Figura 5. Ídem [9]

[11] Figura 6. Ídem [9]

[12] Figura 7. Steinman, Scott B., Steinman, Barbara A., Philip, Ralph. (2000) Figura pàgina 89

[13] Steinman, Scott B., Steinman, Barbara A., Philip, Ralph. (2000) Foundations of binocular vision: A clinical perspective

[14] Figura 8. Steinman, Scott B., Steinman, Barbara A., Philip, Ralph. (2000) Figura pàgina 32 i 186

[15] Schwartz, Steven H. (2004) Visual Perception: A clinical orientation, Third edition

[16] Figura 10. [es.slideshare.net/Gusos/estereopsis](http://es.slideshare.net/Gusos/estereopsis)

[17] Reading, R.W. (1983) Binocular vision. Foundations and Applications

[18] Figura 10. De collita pròpia.

[19] Figura 11. Stidwill, D., Fletcher, R. (2011). Figura page 184

[20] Figura 12. Steinman, Scott B., Steinman, Barbara A., Philip, Ralph. (2000) Figura pàgina 202

[21] Figura 13. [mlb-s2-p.mlstatic.com/5-oculos-3d-discover-vision-anaglifico-azul-vermelho-nvid-3562-MLB4850953403\\_082013-O.jpg](http://mlb-s2-p.mlstatic.com/5-oculos-3d-discover-vision-anaglifico-azul-vermelho-nvid-3562-MLB4850953403_082013-O.jpg)

[22] Figura 14. [2.bp.blogspot.com/\\_9qZScR42z3g/S1YOTs9LiKI/AAAAAAACPc/gF8x94pCTOk/s1600-h/3.png](http://2.bp.blogspot.com/_9qZScR42z3g/S1YOTs9LiKI/AAAAAAACPc/gF8x94pCTOk/s1600-h/3.png)

## **ANNEXES: Influència de la disparitat binocular horitzontal de l'estímul i de la posició d'observació en la visió 3D simulada**

ANNEX 1: Cribatges visuals

ANNEX 2: LES PROVES

ANNEX 3: EXCEL DE X

ANNEX 4: EXCEL AMB TOTS SEIENT

ANNEX 5: EXCEL DE LES FRANGES

ANNEX 6: EXCEL DE DB

## ANNEX 1: ELS CRIBATGES VISUALS

Nom: M

AV	UD	1.2	AU	1.2
	UE	1.2		
ST	20"	PPC	2/5	
FORIES	-			

Nom: E

AV	UD	1.2	AU	1.2
	UE	1.2		
ST	25"	PPC	13/15	
FORIES	2 BN			

Nom: U

AV	UD	1.2	AU	1.2
	UE	1.2		
ST	25"	PPC	FAN	
FORIES	Petita Exo			

Nom: M      UD -1.00 180°  
                  UE -1.00 180°

AV	UD	1.2	AU	1.2
----	----	-----	----	-----

	UE	1.2	
ST	25 "	PPC	4/5
FORIES	8-10 Endo		

Nom: R

AV	UD	1	AU	1.2
	UE	1		
ST	40 "	PPC	3/4	
FORIES	Petita Exo			

Nom: A

AV	UD	1	AU	1
	UE	1		
ST	20 "	PPC	FAN	
FORIES	Petita Exo (2 pr)			

Nom: J

AV	UD	1	AU	1.2
	UE	1.2		
ST	20 "	PPC	FAN	
FORIES	Petita Exo (4 pr)			

Nom: Pt

AV	UD	1	AU	1.2
	UE	1		
ST	20"	PPC	5/8	
FORIES	Petita Exo (2 pr)			

Nom: Pb

AV	UD	1	AU	1.2-
	UE	1		
ST	20"	PPC	5/7	
FORIES	Petita Exo			

Nom: S            UD -1.00 95°

UE -1.50 100°

AV	UD	1	AU	1.2
	UE	1.2		
ST	20"	PPC	3/5	
FORIES	-			

Nom: A

AV	UD	1.2	AU	1.2
	UE	1.2		

ST	20"	PPC	FAN
FORIES	Petita Endo		

Nom: A

AV	UD	1	AU	1
	UE	1		
ST	25"	PPC	4/6	
FORIES	-			

Nom: L

AV	UD	1	AU	1.2
	UE	1		
ST	20"	PPC	3/6	
FORIES	Petita endo			

Nom: M

AV	UD	1.2	AU	1.2
	UE	1.2		
ST	20"	PPC	FAN	
FORIES	-			

Nom: S -7.00 AU

AV	UD	1.2	AU	1.2
	UE	1.2		
ST	20 "	PPC	FAN	
FORIES	-			

Nom: P

AV	UD	1.2	AU	1.2-
	UE	1		
ST	25 "	PPC	5/7	
FORIES	Petita exo			

Nom: C

AV	UD	1.2	AU	1.2
	UE	1.2		
ST	20 "	PPC	3/4	
FORIES	-			

Nom: N

AV	UD	1	AU	1
	UE	1		
ST	25 "	PPC	3/5	
FORIES	Petita exo			

## ANNEX 2: LES PROVES

(les proves les trobem a les pàgines següents)

(també es troben les respostes a l'estat de confort i de la dificultat de la prova)

### ANNEX 3: EXEMPLE DE L'EXCEL ON S'APUNTAVEN LES RESPOSTES ORDENADES DE CADA PACIENT

	Posició: 4				Posició: 1			
	Simple	Doble	Nítid	Borrós	Simple	Doble	Nítid	Borrós
Panum cap a fora 1 Progressiu	X				X			
Panum cap a fora 1 Aleatori	X				X			
Panum cap a fora 2 Progressiu	X				X			
Panum cap a fora 2 Aleatori	X				X			
Panum cap a fora 3 Progressiu	X				X			
Panum cap a fora 3 Aleatori		X			X			
Panum cap a fora 4 Progressiu	X					X		
Panum cap a fora 4 Aleatori	X					X		
Panum cap a fora 5 Progressiu		X				X		
Panum cap a fora 5 Aleatori		X			X			
Panum cap a dins 1 Progressiu	X				X			
Panum cap a dins 1 Aleatori	X					X		
Panum cap a dins 2 Progressiu		X				X		
Panum cap a dins 2 Aleatori		X				X		
Panum cap a dins 3 Progressiu		X				X		
Panum cap a dins 3 Aleatori		X				X		
Panum cap a dins 4 Progressiu		X				X		
Panum cap a dins 4 Aleatori		X				X		
Panum cap a dins 5 Progressiu		X				X		
Panum cap a dins 5 Aleatori		X				X		
Estrelles cap a fora 1 Progressiu	X		X			X		X
Estrelles cap a fora 1 Aleatori	X		X			X		X
Estrelles cap a fora 2 Progressiu	X		X		X		X	
Estrelles cap a fora 2 Aleatori	X		X		X			X
Estrelles cap a fora 3 Progressiu	X		X		X		X	



Estrelles cap a fora 3 Aleatori	X		X		X		X	
Estrelles cap a fora 4 Progressiu	X		X			X		X
Estrelles cap a fora 4 Aleatori	X			X		X		X
Estrelles cap a fora 5 Progressiu	X		X			X		X
Estrelles cap a fora 5 Aleatori	X		X			X		X
Estrelles cap a dins 1 Progressiu		X		X		X		X
Estrelles cap a dins 1 Aleatori		X		X		X		X
Estrelles cap a dins 2 Progressiu		X		X	X		X	
Estrelles cap a dins 2 Aleatori		X		X	X			X
Estrelles cap a dins 3 Progressiu		X		X	X		X	
Estrelles cap a dins 3 Aleatori		X		X	X		X	
Estrelles cap a dins 4 Progressiu		X		X	X			X
Estrelles cap a dins 4 Aleatori		X		X	X		X	
Estrelles cap a dins 5 Progressiu		X		X		X		X
Estrelles cap a dins 5 Aleatori		X		X		X		X

#### ANNEX 4: RELACIÓ ENTRE ELS PASSOS DE SEPARACIÓ A LES DIAPOSITIVES I ELS MM QUE REPRESENTEN

##### PANUM CAP A FORA (CONVERGÈNCIA)

NIVELL 1			NIVELL 2		
Nº DIAPO	Passos	Dist franjes (mm)	Nº DIAPO	Passos	Dist franjes (mm)
Diapo 1	2	1,6	Diapo 1	4	3,2
Diapo 2	4	3,2	Diapo 2	8	6,4
Diapo 3	6	4,8	Diapo 3	12	9,6
Diapo 4	8	6,4	Diapo 4	16	12,8
Diapo 5	10	8	Diapo 5	20	16
Diapo 6	12	9,6	Diapo 6	24	19,2
Diapo 7	14	11,2	Diapo 7	28	22,4
Diapo 8	16	12,8	Diapo 8	32	25,6
Diapo 9	18	14,4	Diapo 9	36	28,8
Diapo 10	20	16	Diapo 10	40	32

##### PANUM CAP A DINS (DIVERGÈNCIA)

NIVELL 1			NIVELL 2		
Nº DIAPO	Passos	Dist franjes (mm)	Nº DIAPO	Passos	Dist franjes (mm)
Diapo 1	2	1,6	Diapo 1	4	3,2
Diapo 2	4	3,2	Diapo 2	8	6,4
Diapo 3	6	4,8	Diapo 3	12	9,6
Diapo 4	8	6,4	Diapo 4	16	12,8

Diapo 5	10	8	Diapo 5	20	16
Diapo 6	12	9,6	Diapo 6	24	19,2
Diapo 7	14	11,2	Diapo 7	28	22,4
Diapo 8	16	12,8	Diapo 8	32	25,6
Diapo 9	18	14,4	Diapo 9	36	28,8
Diapo 10	20	16	Diapo 10	40	32

PUNT PROPER DE CONVERGÈNCIA (CONV)

NIVELL 1			NIVELL 2		
Nº DIAPO	Passos	Dist franjes (mm)	Nº DIAPO	Passos	Dist franjes (mm)
Diapo 1	440	352	Diapo 1	440	352
Diapo 2	460	368	Diapo 2	500	400
Diapo 3	480	384	Diapo 3	540	432
Diapo 4	500	400	Diapo 4	580	464
Diapo 5	520	416	Diapo 5	620	496
Diapo 6	540	432	Diapo 6	660	528
Diapo 7	560	448	Diapo 7	700	560
Diapo 8	580	464	Diapo 8	740	592
Diapo 9	600	480	Diapo 9	780	624
Diapo 10	620	496	Diapo 10	820	656

PUNT REMOT DE CONVERGÈNCIA (DIVER)

NIVELL 1			NIVELL 2		
Nº DIAPO	Passos	Dist franjes (mm)	Nº DIAPO	Passos	Dist franjes (mm)
Diapo 1	440	352	Diapo 1	440	352
Diapo 2	460	368	Diapo 2	500	400
Diapo 3	480	384	Diapo 3	540	432
Diapo 4	500	400	Diapo 4	580	464
Diapo 5	520	416	Diapo 5	620	496
Diapo 6	540	432	Diapo 6	660	528
Diapo 7	560	448	Diapo 7	700	560
Diapo 8	580	464	Diapo 8	740	592
Diapo 9	600	480	Diapo 9	780	624
Diapo 10	620	496	Diapo 10	820	656

**ANNEX 5: EXEMPLES DEL EXCEL ON ES CALCULAVA LA DISPARITAT BINOCULAR AMB LA DIP DE CADA PACIENT I A CADA SEIENT**

Totes les distàncies expressades en mm

DIP = 56

Origen coordenades sobre la pantalla	$x_0$	$y_0$
	0	0

Seient 6	
$x_{S1}$	$y_{S1}$
0	-2840
$\alpha_1$ (graus)	0,00

Seient 4	
$x_{S2}$	$y_{S2}$
0	-5165
$\alpha_2$ (graus)	0,00

$x_{UE1}$	$y_{UE1}$
-28,00	-2840,00
$x_{UD1}$	$y_{UD1}$
28,00	-2840,00

$x_{UE2}$	$y_{UE2}$
-28,00	-5165,00
$x_{UD2}$	$y_{UD2}$
28,00	-5165,00

Punt $PF_{UE}$ sobre pantalla	$x_{EPF}$	$y_{EPF}$
	0	0

$PF_{UE}$	0	0
$UE_1$	-28,00	-2840,00
Recta $PF_{UE} - UE_1$		
$m_{EPF1}$	101,4286	
$p_{EPF1}$	0,0000	
$\alpha_{EPF1}$ (graus)	0,56	

$PF_{UE}$	0	0
$UE_2$	-28,00	-5165,00
Recta $PF_{UE} - UE_2$		
$m_{EPF2}$	184,4643	
$p_{EPF2}$	0,0000	
$\alpha_{EPF2}$ (graus)	0,31	

Punt $PF_{UD}$ sobre pantalla	$x_{DPF}$	$y_{DPF}$
	0	0

$PF_{UD}$	0	0
$UD_1$	28,00	-2840,00
Recta $PF_{UD} - UD_1$		
$m_{DPF1}$	-101,4286	
$p_{DPF1}$	0,0000	
$\alpha_{DPF1}$ (graus)	-0,56	

$PF_{UD}$	0	0
$UD_2$	28,00	-5165,00
Recta $PF_{UD} - UD_2$		
$m_{DPF2}$	-184,4643	
$p_{DPF2}$	0,0000	
$\alpha_{DPF2}$ (graus)	-0,31	

Punt A <sub>UE</sub>	x <sub>EA</sub>	y <sub>EA</sub>
sobre pantalla	328	0

A <sub>UE</sub>	328	0
UE <sub>1</sub>	-28,00	-2840,00
Recta A <sub>UE</sub> - UE <sub>1</sub>		
m <sub>EA1</sub>	7,9775	
p <sub>EA1</sub>	-2616,6292	
α <sub>EA1</sub> (graus)	7,14	

A <sub>UE</sub>	328	0
UE <sub>2</sub>	-28,00	-5165,00
Recta A <sub>UE</sub> - UE <sub>2</sub>		
m <sub>EA2</sub>	14,5084	
p <sub>EA2</sub>	-4758,7640	
α <sub>EA2</sub> (graus)	3,94	

Punt A <sub>UD</sub>	x <sub>DA</sub>	y <sub>DA</sub>
sobre pantalla	-328	0

A <sub>UD</sub>	-328	0
UD <sub>1</sub>	28,00	-2840,00
Recta A <sub>UD</sub> - UD <sub>1</sub>		
m <sub>DA1</sub>	-7,9775	
p <sub>DA1</sub>	-2616,6292	
α <sub>DA1</sub> (graus)	-7,14	

A <sub>UD</sub>	-328	0
UD <sub>2</sub>	28,00	-5165,00
Recta A <sub>UD</sub> - UD <sub>2</sub>		
m <sub>DA2</sub>	-14,5084	
p <sub>DA2</sub>	-4758,7640	
α <sub>DA2</sub> (graus)	-3,94	

α <sub>E1</sub> (graus)	6,58
α <sub>D1</sub> (graus)	-6,58

α <sub>E2</sub> (graus)	3,63
α <sub>D2</sub> (graus)	-3,63

DB <sub>A1</sub> (graus)	13,16
DB <sub>A1</sub> ( ' )	789,60
<b>DB<sub>A1</sub> ( " )</b>	<b>47.376,07</b>

DB <sub>A2</sub> (graus)	7,26
DB <sub>A2</sub> ( ' )	435,88
<b>DB<sub>A2</sub> ( " )</b>	<b>26.152,55</b>

C <sub>PF1</sub> (graus)	1,13
C <sub>A1</sub> (graus)	14,29

C <sub>PF2</sub> (graus)	0,62
C <sub>A2</sub> (graus)	7,89

p6

x <sub>A1</sub>	0,0000
y <sub>A1</sub>	-2616,6292
d <sub>A1</sub>	223,37079

p4

x <sub>A2</sub>	0,0000
y <sub>A2</sub>	-4758,7640
d <sub>A2</sub>	406,235955

**ANNEX 6: EXCEL AMB LES RESPOSTES DE TOTS ELS PACIENTS A CADA SEIENT I AMB LES DISPARITATS BINOCULARS, MITJANA I DESVIACIÓ**

Nom	Posició 1				Posició 2			
	Panum conv	Panum div	Estrelles fora	Estrelles dins	Panum fora	Panum dins	Estrelles fora	Estrelles dins
U	2982,47	-1325,57	20212,31		1762,41	-881,23	31214,25	
A	2982,47	-2982,57			3965,24	-1762,47		
P	994,17	-1325,57	20212,35					
J					1321,81	-1321,85	26832,29	
P					1762,4	-881,23		
R	2982,47	-662,78	23525,42					
S	2982,47	-662,78		-16902,4	1762,41	-440,61		-31232,86
A	1325,55	-1325,57	10272,47	-10273,7	1762,4	-881,23	22443,95	
L	662,78	-1325,57						
P					1762,41	-1762,47		
M					1321,82	-881,23		
M	994,17	-662,79	20212,49	-10273,7				
S	1325,55	-994,18	23525,36	-10273,7	1762,41	-881,23	31214,59	-18056,63
P	994,17	-994,18			1762,41	-1321,85		
C	994,17	-331,39	16899,23	-16902,4				
A					1762,41	-1321,85	31214,25	
N					3965,23	-1762,47	31214,07	-13655,82
E	994,17	-1325,57						
Mitja	1684,6	-1159,9	19265,7	-12925,2	2056,1	-1175,0	29022,2	-20981,8
Desv	973,4	670,3	4572,7	3630,7	907,4	433,9	3668,5	9146,3
<b>Grau</b>	0,47	-0,32	5,35	-3,59	0,57	-0,33	8,06	-5,83
			624,67				411,09	

Posició 3				Posició 4			
Panum fora	Panum dins	Estrelles fora	Estrelles dins	Panum fora	Panum dins	Estrelles fora	Estrelles dins
3396,5	-1132,16	26832,11					
				5749,64	-2555,82	32503,86	-19797,39
				1277,85	-1916,86	38839,2	
1132,15	-1132,16	26832,05					
1509,53	-754,77			1916,74	-1277,89		
1509,54	-1132,16			2555,65	-1277,9	32504,42	
1509,54	-377,38	15479,79	-26837,01				
				5749,59	-2555,82	38838,01	-19797,59
				1277,86	-1916,86		
1509,54	-1509,55	26832,11					
754,77	-377,39			1916,76	-1277,9		
1509,54	-1132,16	19260,47	-11702,74	2555,65	-2555,82	38840,39	-26170,51
1132,15	-1132,16	26832,23	-23047,83				
				1916,75	-1916,86		
				2555,64	-638,95	45155,11	
1509,54	-1132,16	26832,11					
3396,5	-1509,55	26832,05		5749,61	-2555,82	45154,06	-19797,53
1132,15	-1509,55	15479,74	-11702,74	1916,75	-2555,82		
1666,8	-1069,3	23468,1	-18322,6	2928,2	-1916,9	38833,6	-21390,8
843,2	388,7	5162,7	7798,9	1753,9	667,4	5164,5	3186,5
0,46	-0,30	6,52	-5,09	0,81	-0,53	10,79	-5,94
		504,71				298,13	

Posició 5				Posició 6			
Panum fora	Panum dins	Estrelles fora	Estrelles dins	Panum fora	Panum dins	Estrelles fora	Estrelles dins
				4646,95	-3486	58767,63	
3176,95	-3176,59						
352,94	-1058,79	14508,91		2323,7	-3486,01	70069,74	
1058,83	-705,86	21652,36		3485,36	-2323,96	58765,95	
705,88	-705,86						
				2323,72	-2323,98	47374,95	-35960,31
				4647,01	-1161,96	58770,98	-47848,71
1411,8	-1411,72	10958,23					
705,88	-1058,8			1161,9	-2323,98		
1411,8	-1058,79	25250,87		4646,95	-3486		
1058,89	-352,93						
				3485,45	-2323,99	58774,32	-35959,89
				1161,9	-2323,98	70072,07	
1058,83	-1411,73						
1058,83	-352,93	21652,13		3485,4	-2323,97	58769,31	
1058,83	-705,86	18072,62	-10953,84	4646,95	-3486	70067,41	
3176,95	-1411,73	25251,03					
				2323,69	-3486	47371,58	-35961,58
1353,0	-1117,6	19620,9	-10953,8	3194,9	-2711,3	59880,4	-38932,6
901,0	750,0	5404,0		1322,2	756,9	8369,9	5944,1
0,38	-0,31	5,45	-3,04	0,89	-0,75	16,63	-10,81
		600,63				190,51	

#### DIPS DELS PACIENTS

	U	A	P	J	P	R
DIP	60	59	59	61	64	57

	S	A	L	P	M	M
DIP	58	62	58	60	57	56

	S	P	C	A	N	E
DIP	58	61	59	60	61	60