



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

**Desenvolupament d'un programa informàtic
per aplicar diferents mètodes psicofísics de
mesura de l'estereoagudesesa.**

Adrià Aniento Navarrete

DIRECTOR: JOSE LUIS ÁLVAREZ MUÑOZ

DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

DATA DE LECTURA: 12 DE DESEMBRE DE 2014



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

El Sr. JOSÉ LUIS ALVAREZ MUÑOZ, com a director del treball

CERTIFICA

Que el Sr. ADRIÀ ANIENTO NAVARRETE ha realitzat sota la seva supervisió el treball: ***Desenvolupament d'un programa informàtic per aplicar diferents mètodes psicofísics de mesura de l'estereoagudesesa***, recollit en aquesta memòria per a optar al títol de grau en Òptica i Optometria.

I per a que consti, signo aquest certificat.

Sr. JOSÉ LUIS ALVAREZ
MUÑOZ
Director del treball

Terrassa, 27 de Novembre de 2014



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

Desenvolupament d'un programa informàtic per aplicar diferents mètodes psicofísics de mesura de l'estereoagudesesa.

RESUM

INTRODUCCIÓ:

OBJECTIU: L'objectiu principal d'aquest treball, és la creació d'un programa informàtic (MATLAB) capaç de mesurar l'agudesesa visual estereoscòpica aplicant diferents mètodes psicofísics de mesura. Com a objectiu secundari es faran aquestes mesures a una petita població de pacients i es compararan els diferents mètodes psicofísics entre ells i amb alguns dels tests clínics d'estereòpsia més utilitzats.

Mètodes: A l'estudi es van incorporar 24 pacients d'edat compreses entre 18 i 50 anys. Aquest estudi estava format per dues fases, la primera d'elles va consistir en un petit cribratge on s'avaluava l'agudesesa visual i l'estereoagudesesa. Durant la segona fase, als pacients que passaven el cribratge, se'ls va mesurar l'estereoagudesesa aplicant diferents mètodes psicofísics utilitzant un programa que ha estat dissenyat específicament per realitzar aquest estudi.

Resultats: En aquest l'estudi s'ha vist que existeix una variació del llindar de l'estereoagudesesa segons el mètode utilitzat, però hi ha una correlació important entre tots els mètodes utilitzats i els valors que s'obtenen, a excepció del mètode dels límits descendents.

Comparat amb els tests clínics, s'ha observat que respecte al Randot, tant el mètode dels límits com el dels estímuls constants, han tingut la millor correlació, a més de no presentar diferències significatives. Pel que fa al TNO, tot i que no s'han obtingut bones correlacions

amb la resta dels mètodes, curiosament, no s'han detectat diferències significatives a l'hora de classificar en un rang més discret d'estereoagudeses. A més, s'ha detectat que existeix diferència entre els valors obtinguts en visió paral·lela i creuada

Conclusió: S'ha arribat a la conclusió, que amb el programa dissenyat, s'ha aconseguit mesurar empíricament l'estereoagudeses, aplicant diferents mètodes psicofísics.

A excepció del mètode dels límits descendents, la resta de mètodes, han proporcionat valors d'estereoagudeses sense diferències significatives.

En comparació als tests TNO i Randot, s'arriba a la conclusió que els mètodes psicofísics classifiquen l'estereoagudeses de forma semblant que el Randot, però no ho fan tan bé amb el TNO, tot i que, en una classificació més discreta, els mètodes psicofísics classifiquen de forma assemblada al test TNO.

Curiosament, hi ha diferències significatives entre els valors en visió creuada i paral·lela, a causa, segurament, del mètode empleat i del tipus de test presentat.

RESUMEN

Objetivos: El objetivo principal de este trabajo, es la creación de un programa informático (MATLAB) capaz de medir la agudeza visual estereoscópica aplicando diferentes métodos psicofísicos de medida. Como objetivo secundario se harán estas medidas a una pequeña población de pacientes y se compararán los diferentes métodos psicofísicos entre ellos y con algunos de los test clínicos de estereopsis más utilizados.

Metodos: Al estudio se incorporaron 24 pacientes de edad comprendidas entre 18 y 50 años. Este estudio estuvo formado por dos fases la primera de ellas consistió en una pequeña criba donde se evaluaba la agudeza visual y la estereoagudeza. Durante la segunda fase, a los pacientes que pasaban la criba, se les midió la estereoagudeza aplicando diferentes métodos psicofísicos utilizando un programa que ha sido diseñado específicamente para realizar este estudio.

Resultados: En este el estudio se ha visto que existe una variación del umbral de la estereoagudeza según el método utilizado, pero hay una correlación importante entre todos los métodos utilizados y los valores que se obtienen, a excepción del método de los límites descendentes.

Comparado con los tests clínicos, se ha observado que respecto al Randot, tanto el

método de los límites como el de los estímulos constantes, han tenido la mejor correlación, además de no presentar diferencias significativas. En cuanto al TNO, a pesar de que no se han obtenido buenas correlaciones con el resto de los métodos, curiosamente, no se han detectado diferencias significativas a la hora de clasificar en un rango más discreto de estereoagudeza. Además, se ha detectado que existe diferencias entre los valores obtenidos en visión paralela y cruzada.

Conclusiones: Se ha llegado a la conclusión, que con el programa diseñado, se ha conseguido medir empíricamente la estereoagudeza, aplicando diferentes métodos psicofísicos.

A excepción del método de los límites descendentes, el resto de métodos, han proporcionado valores de estereoagudeza sin diferencias significativas. En comparación a los tests TNO y Randot, se llega a la conclusión que los métodos psicofísicos clasifican la estereoagudeza de forma parecida que el Randot, pero no lo hacen tan bien como con el TNO, a pesar de que, en una clasificación más discreta, los métodos psicofísicos clasifican de forma similar al test TNO. Curiosamente, hay diferencias significativas entre los valores en visión cruzada y paralela, debido probablemente, al método empleado y del tipo de test presentado.

ABSTRACT

Target: The primary target of this work, is the creation of a software (MATLAB) able to measure the stereoscopic visual acuity applying different psychophysical methods from measurement. As secondary target these measures to a small population will become of patients and the different psychophysical methods among them and with some will be compared more from the test clinical of used stereopsis.

Methods: To the study included 24 patients of age between 18 and 50 years got up themselves. This study was formed by two phases first of them consisted of a small screening where it evaluated the visual acuity and the stereoacuity. During the second phase, to the patients who passed the screening, the stereoacuity was measured to them applying different psychophysical methods using a program that has been designed specifically to realize this study.

Results: In this study it has been seen that a variation of the threshold of the stereoacuity exists according to the used method, but is an important correlation between all the used methods and the values that are obtained, with the exception of the method of the descendant limits.

Compared with clinical tests, it has been observed that with respect to the Randot, as much the method of the limits like the one of the constant stimuli, has had the best correlation, besides not presenting/displaying significant differences. As far as the TNO, although good correlations with the rest of the methods have not been obtained, peculiarly, significant differences at the time of classifying in a more discreet rank of stereoacuity have not been detected. In addition, it seems that it exists differences between the values obtained in parallel and crossed vision.

Conclusions: One has reached the conclusion, that with the designed program, one has been able to measure the stereoacuity empirically, having applied different psychophysical methods. With the exception of the method of the descendant limits, the rest of methods, has provided values of stereoacuity without significant differences. In comparison to TNO and Randot test, one reaches the conclusion that the psychophysical methods classify the stereoacuity of similar form that the Randot, but does not do it as well as with the TNO, although, in one more discreet classification, the psychophysical methods classify of form similar to the TNO. Peculiarly, there are significant differences between the values in crossed and parallel vision, probably had, to the used method and of the type of presented/displayed test.

ABSTRACT

Target: The primary target of this work, is the creation of a software (MATLAB) able to measure the stereoscopic visual acuity applying different psychophysical methods from measurement.

Like secondary target, the results obtained in a small population of people would be evaluated.

With the obtained results, it would be analyzed if with the different psychophysical methods, a similar result is obtained, considering that will be fluctuations due to the own method, and will evaluate the degree of correlation between the different psychophysical methods, and if there is existence or no, of significant differences in the classification of the stereoscopic visual sharpness of that population.

The comparison of these same psychophysical methods with the test clinical Randot and TNO sets out, and to verify if differences with respect to these psychophysical methods exist, and if some relation between the estereoacuity in distant vision and next vision can be established.

Like point addition, one would compare the obtained values of estereoacuity vision crossed the obtained ones in parallel vision.

Methods: To the study they were gotten up in the month of October of 2014, 24 included patients of age between 18 and 50 years, of which 13 women and 11 men.

This study was formed by two phases first of them consisted of a small screening where the visual acuity by means of the test of Palomar was evaluated, and the estereoacuity by means of the test clinical, TNO and Randot. One settled down, that the patients had to present/display a visual acuity monocular superior to 0.7 binocular is superior to 0.9, that did not present/display differences of visual acuity than 0.2, and that did not present/display a estereoacuity greater to 120 “.

During the second phase, to the patients who passed the screening, the estereoacuity was moderate to them applying different psychophysical methods using a program that has been designed specifically to realize this study. The procedure that was applied to the patients is the following one: First their data in the program were introduced, previously to the accomplishment of the measures, was done a calibration of the screen, considering, the size of pixel and the observation distance of the patient. Once the screen has been calibrated, is not necessary to create the test again, because they have been created previously to save time. Once fact this, would begin any of the created routines, each

routine will correspond to a different algorithm, which it will agree with a concrete methodology. The observer would be placed to a minimum range of 5 meters, and with anaglyphic glasses provided by the examiner, has to answer if he is able to perceive the figure in depth. According to the selected psychophysical method, the keys would conduct a battle or another one according to the answers of the observer, and thus, are obtained the different results, of the different methodologies.

During the accomplishment of the tests, to take place a pause of about a 5-10 minutes with the aim of diminishing the fatigue of the observer.

Once made the pause, one finishes making all the measures i goes to keep the results in an Excel document. This document would form automatically once click in the kept button of.

Results: The values obtained by means of the psychophysical methods present/display fluctuations due to the own used method, as well as, for example, the method of the descendant limits gives to values of estereoacuity better than the rest of methods, and the method of the ascending limits presents/displays values inferiors.

It had to emphasize the method of the constant stimuli that has been the method that smaller estereoacuity and standard deviation has presented/displayed, probably had, to that it is a method where the observer cannot be anticipated in the answer, everything and that, has the disadvantage of being a method that consumes long time.

Even being these fluctuations, the methods show similar estereoacuity, and between the different methods, there are very good correlations, with the exception of the method of the descendant limits, that is the method that less it correlates with the rest.

One of the methods that they more correlate with the Randot test, is the method of the ascending limits, obtaining a coefficient of correlation of $r=0,9543$.

Whereas the one of the methods that better they correlate with the rest of psychophysical methods is the method of the constant stimuli, jointly with the one of the limits

In addition, between the methods that present/display good correlations, we can say that, at the time of making a classification of the values in different ranks, the methods do not present/display significant differences when doing this classification, with the exception of the method of limits i of the clinical test, TNO.

However, if we took from reference test TNO, it has been seen that the methods can get to classify of form similar to the east test, as with the Randot.

In addition, it has verified, that enters the stimuli that are seen in vision parallel and in crossed vision, is a significant difference in the results, that is to say, the value of estereoacuity is different in a system that in another one, this case, the values in parallel vision are minors who the values in crossed vision, with the exception of the method of constant stimuli and the one of the limits.

Conclusions: One has reached the conclusion, that with the designed program, one has been able to measure the estereoacuity empirically, having applied different psychophysical methods.

It has been verified that, by means of the different psychophysical methods obtains different values from estereoacuity following the used method. Even existing these fluctuations in the results, one reaches the conclusion that the difference between the different used methods is not significant.

In comparison to tests TNO and Randot, one reaches the conclusion that the psychophysics methods classify the estereoacuity similar form that the Randot, with the exception of the method of the descendant limits. I that test TNO, is incapable to make a classification similar to no of the used psychopysic methods. Nevertheless, if we took like reference test TNO, the other psychophsic methods are able to classify in the same way that the TNO, because this test, is very discreet.

Peculiarly, the existence of significant differences between the stimuli in vision has been detected compares i crossed vision. One of the good reasons is that, in the majority of the methods, the observer tends to advance in the answer. In addition the test presents/displays a monocular track, which causes that the central squared one, this locating in a flight point, and can get to detect itself more distant.

Agraïments

Vull dedicar la següent secció per expressar el meu agraïment a les següents persones:

En primer lloc, al meu director de treball, Jose Luis Alvarez Muñoz, per la seva inestimable ajuda, suggeriments i la seva permanent disposició durant la realització d'aquest treball final de grau.

A la FOOT, per permetre'm utilitzar l'aula de pràctiques de motilitat i percepció binoculars per a la realització de les mesures.

Als meus companys i amics del grau, pels seus consells i pel seu suport moral que tant m'ha fet falta durant aquest últim tram de la carrera.

Als meus pares i als meus familiars per ser com són, i per animar-me a continuar endavant amb el projecte.

I finalment a tots els voluntaris que han volgut participar en l'estudi per l'interès mostrat, que han permès que el treball finalitzi de manera satisfactòria.

A tots vosaltres que heu aportat el vostre gra de sorra per tal de que aquest treball fos possible, us agraeixo enormement la vostra aportació.

GRACIES.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	1
2. MARC TEÓRIC	2
2.1 Estereòpsia	2
2.2 Principi de l'estereoscopi.....	4
2.3 Sistemes estereoscòpics	5
2.3.1 Sistema Anaglífic.....	5
2.3.2 Sistema Polaritzat	6
2.4 Test d'estereòpsia.....	6
2.4.1 Test Randot	6
2.4.2 Test TNO.....	8
2.5 Mesures psicofísiques	9
2.6 Llindar	9
2.7 La funció psicomètrica.....	11
2.8 Mètodes psicofísics clàssics	12
2.8.1 Mètode de l'ajust	12
2.8.2 Mètode dels límits ascendents.....	13
2.8.3 Mètode dels límits descendents.....	14
2.8.4 Mètode dels límits ascendents i descendents.....	14
2.8.5 Mètode dels estímuls constants.....	16
2.8.6 Mètode de l'escala	17
2.8.7 Mètode de l'elecció forçada.....	20
3. OBJECTIUS I HIPOTESIS	24

4. METODOLOGIA	26
4.1 Participants.....	26
4.2 Proves clíniques	26
4.2.1 Agudeses visual	26
4.2.2 Estereòpsia	27
4.2.2.1 Test Randot.....	27
4.2.2.2 Test TNO	28
4.3 Procediment de l'estudi	28
4.3.1 Procediment de les mesures psicofísiques	28
4.3.1.1 Material utilitzat	28
4.3.1.2 Pantalla principal	30
4.3.1.3 Dades personals.....	30
4.3.1.4 Calibratge.....	31
4.3.1.6 Elecció del mètode psicofísic	36
4.3.1.7 Pantalla de resultats.....	37
5. RESULTATS I DISCUSIÓ	41
6. CONCLUSIONS.....	51
6.1 Conclusions generals.....	51
6.2 Limitacions i crítica.....	53
6.3 Perspectives futures de treball	55
7. BIBLIOGRAFIA	56
8. ANEXOS.....	59

1. INTRODUCCIÓ

En la nostra vida diària, nosaltres, som capaços de determinar la localització exacta dels objectes i podem discernir sobre la separació entre diferents objectes situats a diferents distàncies, tot gràcies a què posseïm una visió tridimensional, o visió en profunditat.

El paràmetre que quantifica la nostra capacitat de veure en tres dimensions és l'estereoagudesesa, o agudesesa visual estereoscòpica. L'estereoagudesesa és la mínima diferència que ha d'haver entre l'angle subtendit binocularment per un objecte, i l'angle subtendit binocularment per un altre objecte de referència, per tal que l'observador pugui reconèixer que aquests dos objectes es troben a dues distàncies diferents.

A la pràctica clínica d'optometria, es pot mesurar l'estereoagudesesa d'un individu mitjançant diversos tests específics com poden ser el test de Titmus-Wirth, el test de Randot, el TNO, el test de Frisby, o el test de Lang.

En aquest treball es proposa la utilització de diferents metodologies psicofísiques per tal d'obtenir uns resultats que es puguin comparar entre ells, i a més, que es puguin comparar amb els obtinguts utilitzant altres test estandarditzats.

La psicofísica va ser presentada per Fechner (1860/1966) com un mètode científic per a l'estudi de les relacions entre el cos i la ment. En els punts de vista objectius, parlem de processos en el cervell, és a dir, dels processos corporals. Tenint en compte els mateixos processos internament, de manera subjectiva, es pot parlar de processos de la ment. Fechner suggereix que els processos del cervell es reflecteixen directament en els processos de la ment. Així doncs, Fechner va establir correlacions entre el que és neuronal (objectiu), i els esdeveniments de la percepció (subjectives).^[3]

2. MARC TEÓRIC

2.1 Estereòpsia

A la vida quotidiana el sentit més utilitzat, és sentit de la visió, concretament, nosaltres ens centrem en la percepció de la profunditat. Aquesta qualitat de la visió ens permet una correcta localització dels objectes en l'espai.

Per poder emetre veredictes sobre la localització espacial dels objectes, és necessari que ambdós ulls estiguin correctament alineats i no presentar cap condició que limiti la visió en algun, o ambdós ulls.

Tot i així, podem tenir coneixement de la localització dels objectes mitjançant un sol ull. Aquesta no és una percepció real en profunditat, sinó que són factors empírics, no lligats a la visió en profunditat que ens proporcionen informació sobre les distàncies absolutes i relatives dels objectes. Aquest conjunt de conceptes psicològics de profunditat obtinguts a través de l'experiència personal s'anomenen **factors empírics monoculars**.

Alguns d'ells són:

- Grandària aparent: Tenint en compte que coneixem la grandària real de l'objecte, podem saber aproximadament on pot estar situat per la seva grandària aparent que canviarà segons la distància a la qual es trobi de l'observador.
- Perspectiva aèria: Els objectes distants tendeixen a tornar-se d'un to blavós a causa de la difusió de la llum a través del vapor d'aigua, gasos i impureses de l'atmosfera.
- Perspectiva geomètrica: La perspectiva que ens proporciona un punt de fuga pot orientar-nos sobre la posició dels objectes.
- Interposició: Si tenim dos objectes situats de tal manera que un d'ells cobreix part de l'altre, interpretarem que el primer està més a prop.

Existeixen altres factors com per exemple les llums i ombres, l'altura relativa, la paral·laxi de moviment i fins i tot l'acomodació i la convergència.

Un cop s'han exposat els factors empírics monoculars, s'explicarà els factors binoculars, que són els que realment ens proporcionaran una informació precisa sobre la localització espacial dels objectes.

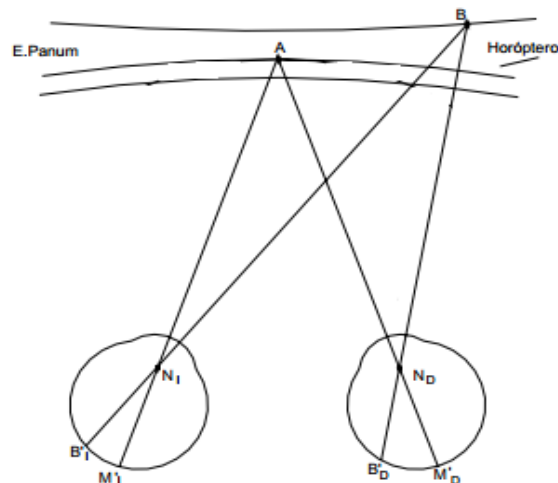
L'**estereòpsia**, és el fenomen de percepció que ens proporciona la millor informació sobre la profunditat d'un objecte.

El procés pel qual percebem en profunditat comença quan es visualitza una sola imatge fusionada a partir de les dues imatges que arriben a cadascuna de les retines. Aquesta visió única, solament és possible quan existeix correspondència entre retines.

Dos punts retinals seran corresponents, quan tinguin associades les mateixes direccions visuals. Si les imatges d'un punt objecte es formen sobre punts retinals corresponents, la direcció visual associada a aquest punt serà la mateixa per l'ull dret i per l'esquerra, i per tant el percebrem en una única direcció visual binocular.

La intersecció de les projeccions, dos a dos, de tots els punts corresponents d'ambdues retines, formaria en l'espai una figura imaginària anomenada **horòpter**. En aquest horòpter, tots els objectes són vistos per l'observador de manera bidimensional, és a dir, a la mateixa profunditat.

Envoltant l'horòpter es troba una regió anomenada **espai de Panum**. En aquest espai, els objectes no estimulen punts retinals corresponents, sinó punts lleugerament dispersos. Tot i així les imatges es fusionen, però com que les direccions visuals no són iguals per l'ull dret i per l'esquerra, aquesta diferència entre direccions visuals provoca una percepció en profunditat. La diferència de les direccions visuals es quantifica amb el paràmetre **disparitat binocular**, que és l'estímul principal de percepció tridimensional.



[14] **Figura 2.1:** Conjunt de punts que conformen l'horòpter i l'espai de Panum corresponent. L'objecte A estaria estimulant punts retinals corresponents; concretament, les fòvees. L'objecte B estimularia punts retinals no corresponents però es percep una única imatge i en profunditat.

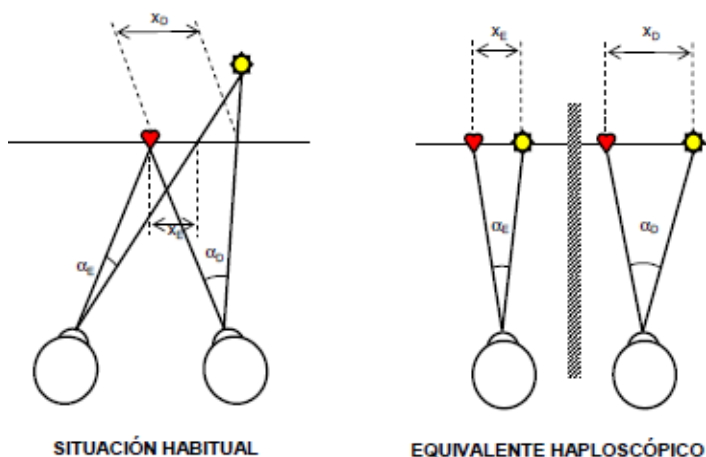
Més enllà de l'espai de Panum aquesta disparitat binocular no és tolerable, i les imatges no s'arriben a fusionar. Com que les imatges de cada ull no es fusionen, es percebrà una doble imatge de l'objecte, fenomen que s'anomena **diplopia fisiològica**.

La diplopia es pot produir o bé per a objectes més allunyats del punt de fixació o bé, per a objectes més propers. Els objectes més propers es percebran en diplopia heterònima o creuada, això vol dir, que d'una doble imatge, la imatge localitzada a la dreta es veurà amb l'ull esquerra, i la de l'esquerre amb l'ull dret. Mentre que els objectes més allunyats es veuran en diplopia homònima, on la imatge localitzada a la dreta es veurà amb l'ull dret i la de l'esquerre amb l'ull esquerre.

La diplopia fisiològica també forma part dels elements que ens informen de la localització dels objectes, en aquest cas, ens informa d'objectes molt allunyats o propers del punt de fixació.

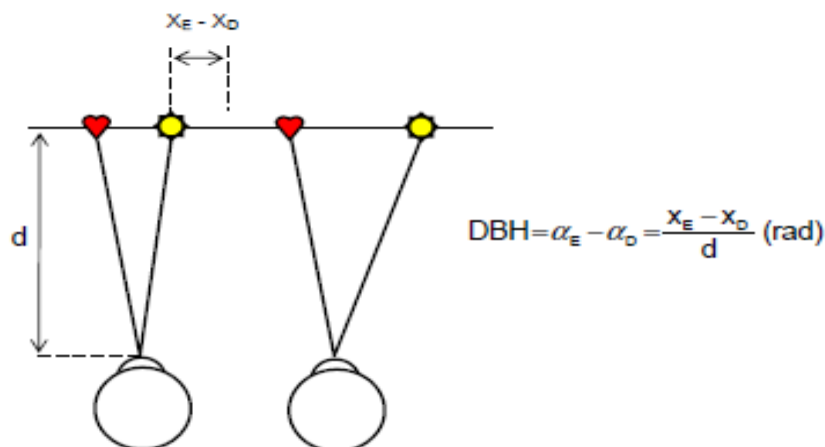
2.2 Principi de l'estereoscopi

Els estereoscopis són aparells que permeten obtenir la sensació de profunditat amb la presentació de dues imatges bidimensionals. Aquesta sensació de profunditat que tenim en condicions normals, és degut al fet que cada un dels ulls rep informació de l'objecte des d'una perspectiva diferent. Per tant, en l'estereoscopi, per simular aquesta situació es presenten dues imatges separades que porten incorporada aquesta perspectiva, generant així la sensació de profunditat.



^[15]**Figura 2.2:** Principi dels estereoscopis. La imatge de l'esquerra correspon a una situació real de percepció en profunditat, i a la dreta una situació simulada de la mateixa sensació de profunditat, és a dir, amb la mateixa disparitat binocular.

És possible calcular aquesta disparitat binocular mitjançant la separació ($x_e - x_d$). A menor disparitat horitzontal pugui discernir un observador, major grau d'estereòpsia tindrà.



$$DBH = \frac{|x_E - x_D|}{D} \frac{648000}{\pi} \text{ (")}$$

^[15]**Figura 2.3:** Càlcul de la disparitat binocular horitzontal d'una imatge bidimensional. L'expressió es calcula en radians, i posteriorment es transforma a segons d'arc segons l'expressió emmarcada en color verd.

2.3 Sistemes estereoscòpics

Per tal de poder simular en una pantalla bidimensional un efecte en tres dimensions hem d'utilitzar aparells que permetin la visualització d'una imatge diferent amb cadascun dels ulls. A continuació s'anomenaran i explicaran breument els dos sistemes que estan implicats en els tests i els mètodes utilitzats en aquest treball.

2.3.1 Sistema Anaglífic

En aquest sistema es presenten dues imatges de dos colors complementaris entre sí, com per exemple verd i vermell, o cian i vermell. S'utilitzen unes ulleres amb filtres dels mateixos colors complementaris de manera que cada ull veu només una de les imatges, però no l'altra.

El sistema funciona de la següent manera, la imatge de color vermell només serà vista per l'ull que porti el filtre blau i la imatge de color blau només serà vista amb el filtre de color vermell, tot això suposant que el fons és blanc.



^[16] **Figura 2.4:** Ulleres anaglífiques. Cyan a l'ull esquerre i vermell a l'ull dret.

2.3.2 Sistema Polaritzat

En aquest sistema s'utilitza un sistema molt semblant al de l'anaglífic. Cada ull només podrà veure una imatge, però en aquest cas no s'utilitzen colors complementaris, sinó imatges polaritzades amb els seus eixos de polarització perpendiculars entre sí. S'ha d'utilitzar unes ulleres polaritzades, on la diferència en l'angle de polarització també és de 90 graus.



^[16] **Figura 2.5:** Ulleres polaritzades. Cada ull tindrà un estat de polarització diferent, amb una diferència de 90 graus.

2.4 Test d'estereòpsia

A la pràctica clínica optomètrica existeixen una sèrie de test que són capaços de mesurar l'estereoagudesesa. A continuació es descriuran els utilitzats en aquest treball, i el rang de mesura que tenen cadascun d'ells.

2.4.1 Test Randot

Aquest test es basa en el sistema de llum polaritzada, i consta de tres grups d'esterogrames. Un primer grup presenta un conjunt de punts a l'atzar, on hi ha uns estímuls de disparitat binocular de 250" i de 500" segons d'arc, en els quals es pot percebre unes figures geomètriques en relleu. Aquesta part del test permet fer una primera mesura de l'estereoagudesesa grollera.

El segon grup, és un test on es mostren animals, que consta de tres nivells d'estereoagudesesa. En cadascun d'aquests nivells, només un dels animals es pot percebre en profunditat. La disparitat binocular d'aquest test és d'entre 100" i 400" segons d'arc. El tercer grup és el test dels cercles, que consisteix en un rectangle amb tres cercles al seu interior, i només un d'ells té disparitat binocular. Pot mesurar un rang d'estereoagudesesa d'entre 800" i 20" segons d'arc.

A més, el test Randot presenta un control antisupressió que permet saber quin es l'ull dominant o bé si existeix supressió.



Figura 2.6: Test Randot, a la placa dreta es localitzen el test de les figures geomètriques, mentre que a la placa esquerra el test dels animals, dels cercles i el control antisupressió.

TABLA DE VALORES Y RESPUESTAS CORRECTAS

1º. Figuras:

●	★	500 sg.
□	E	
■	▲	250 sg.
+	○	

2º. Animales:

- Gato: 400 segs. de arco
- Conejo: 200 segs. de arco
- Mono: 100 segs. de arco

3º. Círculos:

- 1. Izquierda 800 segs. de arco
- 2. Derecha 400 segs. de arco
- 3. Izquierda 140 segs. de arco
- 4. Medio 100 segs. de arco
- 5. Derecha 70 segs. de arco
- 6. Medio 50 segs. de arco
- 7. Izquierda 40 segs. de arco
- 8. Derecha 30 segs. de arco
- 9. Medio 25 segs. de arco
- 10. Derecha 20 segs. de arco

^[19] **Taula 2.1:** Taula de valors i respostes correctes en el test Randot.

2.4.2 Test TNO

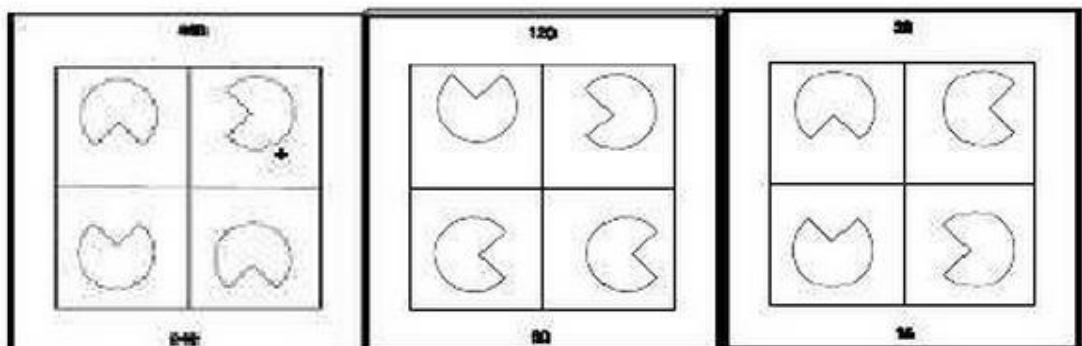
Aquest test consta de set làmines, les quals contenen diferents imatges, que sols poden ser vistes amb unes ulleres anaglífiques de color verd-vermell.

Les tres primeres làmines mesuren molt bastament si existeix o no visió binocular. La làmina número quatre és un control de supressió que permet saber quin és l'ull dominant. Per últim les tres últimes làmines ens mesuren amb precisió l'agudes visual estereoscòpica.

El rang de valors de disparitats que es poden obtenir en les últimes tres làmines són entre 400" d'arc i 15" d'arc.



[17] **Figura 2.7:** Test TNO, làmines 1,2,3 i 4. Les tres primeres làmines mesuraran de manera qualitativa l'estereopsis, la làmina 4 es un control de supressió.



[17] **Figura 2.8:** Test TNO, làmines 5,6 i 7. Aquestes làmines mesuren de manera precisa l'estereoagudesa, en un rang d'entre 480 i 15 segons d'arc.

2.5 Mesures psicofísiques

L'ull és un detector amb unes característiques que el fan ser molt diferent d'un detector físic. El sistema visual respon a diferents estímuls físics, així com la luminància d'un objecte produeix una sensació de claredat o la composició espectral de l'estímul produeix una sensació de color. A causa de les característiques i la complexitat del sistema visual i del mateix acte de la percepció, resulta difícil quantificar les relacions entre l'estímul i la percepció final.

En concret, la resposta a un estímul pot dependre de forma molt notable de l'observador i de les condicions d'observació.

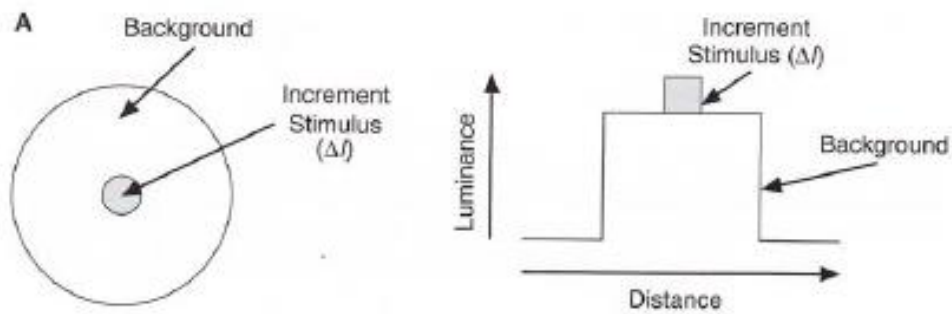
Per a poder augmentar la precisió de les mesures i minimitzar l'error de les característiques específiques del detector, s'han desenvolupat diferents mètodes psicofísics de mesura que poden ser utilitzats per a descriure quantitativament les relacions entre l'estímul i la resposta del sistema visual per a unes condicions específiques d'observació, i que descriurem més endavant.

Amb els mètodes psicofísics de mesura, s'intenta obtenir una informació precisa sobre els sentits en general i la visió en particular. El fet de que es tracti de mètodes no invasius facilita la seva aplicació en éssers humans. A més, aquests mètodes han contribuït a la millora del control dels estímuls visuals i del disseny experimental.

Sempre que es fan mesures de magnituds sensorials, que són unes mesures subjectives, hi ha dos aspectes que s'han de tindre molt presents: la dependència de l'observador en la resposta obtinguda, i la influència del mètode utilitzat en els resultats obtinguts. Aquestes mesures poden presentar variacions importants respecte a l'observador a causa del caràcter privat de la percepció sensorial. Per exemple, entre dos observadors la resposta davant un estímul pot ser diferent, i fins i tot, amb el mateix observador, la resposta pot ser diferent segons el mètode psicofísic utilitzat.

2.6 Llindar

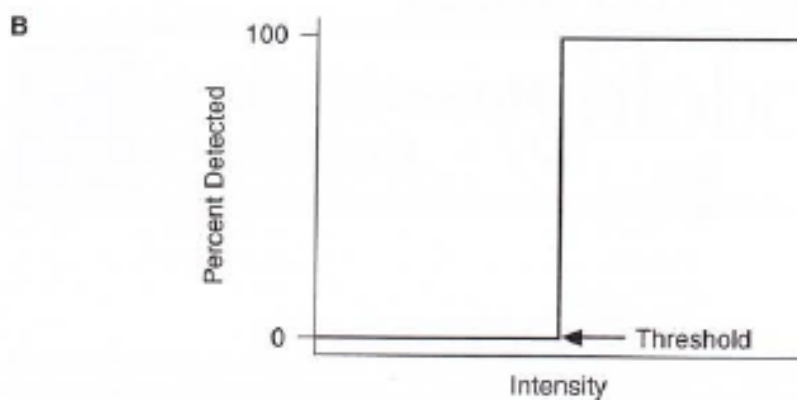
Els experiments psicofísics normalment estan encaminats a determinar el valor del llindar, que és el mínim valor d'una magnitud que rebem d'un estímul, que podem arribar a detectar (luminància, grandària, color, etc.). Per exemple, en els tests d'agudesia visual, el llindar és el mínim angle de resolució, i en els tests de camp visual, el llindar és la mínima intensitat de llum que podem detectar.



^[1]**Figura 2.9:** El diagrama de l'esquerra mostra un increment de l'estímul respecte a un fons amb una intensitat fixa. En el diagrama de la dreta es mostra el perfil de la luminància de l'estímul i el fons.

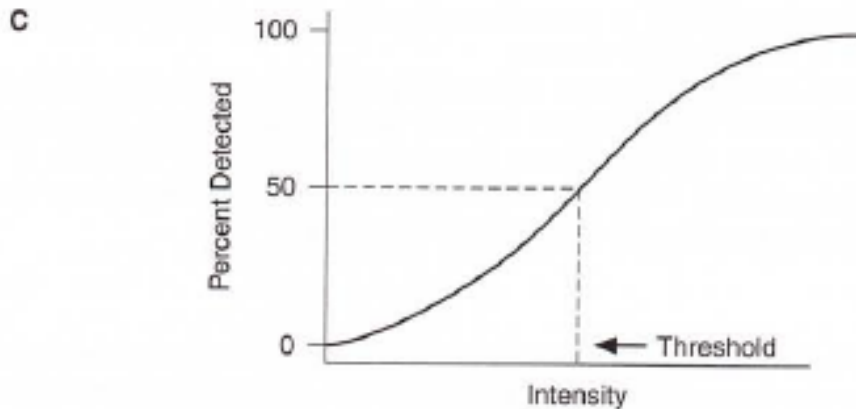
La determinació del llindar és complicada en els éssers humans perquè no som observadors perfectes. Un observador perfecte sempre obtindria el mateix valor de llindar en cada mesura. Durant la pràctica, el valor del llindar absolut varia en cada mesura feta.

En la figura 2.10 es mostra el resultat d'un experiment psicofísic amb un hipotètic observador perfecte o ideal, mentre que en la figura 2.11 es mostra el resultat del llindar en un observador real. L'observador ha de detectar una llum (estímul) en un fons uniforme. La tasca és repetida en un rang d'intensitats. Es crea una gràfica del percentatge de respostes encertades respecte a la intensitat de l'estímul, anomenada, funció psicomètrica.



^[1]**Figura. 2-10:** Funció psicomètrica per un hipotètic observador perfecte.

Com s'ha dit amb anterioritat, l'observador perfecte manifesta un llindar perfecte, que no varia en el temps. A part d'això, els estímuls que estan per sota d'aquest llindar mai són detectats, i els estímuls els quals la seva intensitat estigui per sobre del llindar, sempre seran vistos. En comparació, l'observador real obtindria uns resultats assemblats als de la figura 2.11.



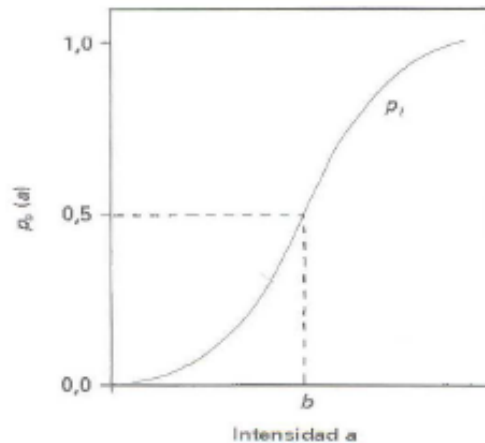
^[1]**Figura. 2.11:** Típica funció psicomètrica d'un observador real. Podem observar com en aquesta funció s'indica el valor de la intensitat quan l'observador detecta l'estímul el 50% de les vegades.

En l'observador real, en incrementar-se la intensitat de l'estímul s'incrementa la probabilitat que te l'individu de detectar aquest estímul. Habitualment es defineix el llindar absolut com la intensitat amb la qual detectem la meitat dels estímuls. Aquest valor esta indicat en la funció psicomètrica de la figura 2.11.

El llindar obtingut és variable degut a que el soroll neuronal (activitat neural que es produeix contínuament i que és impredecible) és inherent al nostre sistema visual, però també degut als canvis d'atenció, de la motivació i de la fatiga de les persones.

2.7 La funció psicomètrica

La funció psicomètrica esta constituïda per moltes dades que s'obtenen en les mesures visuals, aquesta funció correspon a la probabilitat de poder detectar l'estímul segons la seva intensitat, aquesta funció, té una forma sigmoïdal, com es pot veure en la figura 2.12.



^[4]**Figura. 2.12:** Representació gràfica d'una funció psicomètrica. Tenim un estímul fixe "b", que es compara amb un estímul que varia la seva intensitat "a", i es mostra la probabilitat "pa(a)" que té l'observador de veure l'estímul "a" major que l'estímul "b".

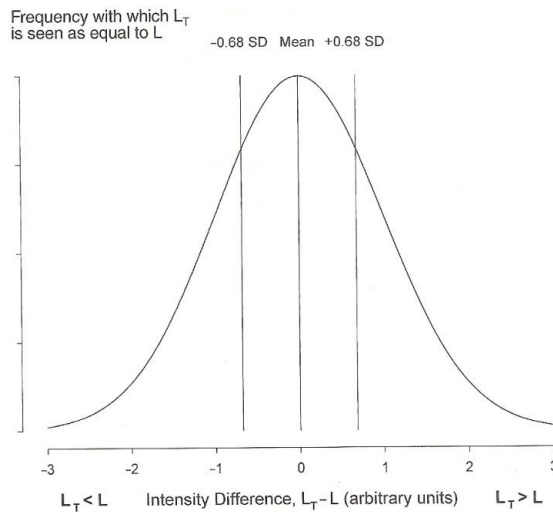
De forma general, aquesta funció es pot emprar per descriure la probabilitat de detecció o discriminació de dos estímuls. La manera de determinar la funció psicomètrica és presentant aleatòriament una sèrie d'estímuls i comparant-los amb un estímul de referència.

2.8 Mètodes psicofísics clàssics

Es pot mesurar el **llindar absolut**, que és la intensitat mínima d'un estímul per poder detectar-lo, i el **llindar diferencial** que es refereix a la mínima diferència d'intensitats que ha d'haver-hi entre dos estímuls perquè es puguin detectar com a diferents. Existeixen diversos mètodes que mesuren el llindar, i es pot escollir qualsevol d'ells segons la naturalesa de l'experiment. A continuació, es presentaran els diferents mètodes psicofísics que determinen el llindar, i es discutirà alguns dels seus avantatges i inconvenients. També compararem els diferents mètodes segons els matisos de cada autor.

2.8.1 Mètode de l'ajust

El mètode de l'ajust és el mètode més simple i més directe per estimar el llindar. L'observador controla les variacions de l'estímul i el va apropant progressivament al llindar, movent-se entorn d'ell fins a arribar al valor més pròxim d'aquest llindar. Ell decideix quan detecta l'estímul, és a dir, ell decideix quin és el valor del llindar. En aquest mètode, l'examinador proporciona un dispositiu que controla la intensitat de l'estímul, sempre amb unes instruccions per tal que l'exercici s'efectuï correctament.



^[2]**Figura 2.13:** Representació del llindar absolut mesurat mitjançant el mètode de l'ajust i la distribució de respostes en un rang d'intensitat. Aquest tipus de forma agafa el nom de funció gaussiana.

El mètode de l'ajust sol utilitzar-se quan els estímuls es veuen de forma permanent, sempre que existeixi una retroalimentació instantània entre la seva variació i la percepció de l'observador, com succeeix en experiències d'igualació lluminosa o cromàtica respecte a un estímulo de referència.

El mètode de l'ajust presenta el clar avantatge de la seva rapidesa i de que l'observador posseeix una major motivació, ja que pot controlar directament l'estímul en lloc de respondre positivament o negativament a les preguntes de l'examinador. En el nostre experiment però, la distància de realització ha de ser d'un mínim de 5 metres, per tant, s'hauria d'utilitzar un sistema de control a distància.

2.8.2 Mètode dels límits ascendents

En aquest mètode l'estímul inicialment es troba per sota del llindar, no és visible. Durant la prova, es presentaran una sèrie d'estímuls, la intensitat de l'estímul s'incrementarà sistemàticament fins que l'observador comentí que veu l'estímul, és a dir, que el detecta. Es fan diferents assaigs, i el valor del llindar és la mitjana de tots els assaigs. Un desavantatge important d'aquest mètode, és la infravaloració del llindar, ja que l'observador es pot anticipar en la resposta. Un dels motius principals d'aquesta infravaloració és que l'estímul s'inicia amb la mateixa intensitat en cada assaig i l'observador pot anticipar-se en la resposta, aquesta resposta es veu afectada per les respostes dels assaigs anteriors. Una manera de mitigar aquest efecte, és utilitzant una intensitat inicial diferent a cada assaig.

2.8.3 Mètode dels límits descendents

El mètode dels límits descendents és bàsicament, la inversa del mètode dels límits ascendents. L'assaig comença amb un estímul clarament visible (estímul per sobre del llindar) i la intensitat de l'estímul decreix gradualment a mesura que l'observador indica que detecta l'estímul, fins que l'estímul es deixa de percebre. Normalment el mètode dels límits descendents s'utilitza per a la mesura de l'agudesa visual. Igual que el mètode dels límits ascendents, l'observador es pot anticipar en la resposta pels mateixos motius que en l'anterior mètode, de manera que pot haver una tendència a la sobrevaloració del llindar. També en aquest cas es pot mitigar aquest efecte utilitzant una intensitat inicial diferent per cada assaig.

2.8.4 Mètode dels límits ascendents i descendents

En el mètode dels límits ascendents i descendents, comunament anomenat mètode dels límits, consisteix a aplicar el mètode dels límits ascendents seguit del mètode dels límits descendents. Primer s'inicia amb un estímul clarament no visible i s'incrementa la intensitat fins que l'observador detecta l'estímul, i a partir d'un estímul més intens que aquest, es va reduint la intensitat fins que l'observador no ho pot detectar. El valor de llindar varia segons els diferents autors, [2]Norton et al. comenta que és més segur incrementar la intensitat o disminuir-la fins que l'observador reporti dues respostes iguals consecutivament.

Llavors el valor del llindar es situaria entre l'últim estímul no vist i el primer estímul vist en el cas del mètode ascendent, o bé entre l'últim estímul vist i el primer no vist en el cas del mètode descendent. El mètode es repeteix varies vegades, i es realitza la mitjana de tots els resultats per obtenir el llindar absolut de la magnitud mesurada. Fig. 2.14.

Example of subject's responses over five trials using the Method of Limits

Stimulus value	Trial number (stimulus presentation direction)					Average
	1 (ascending)	2 (descending)	3 (ascending)	4 (descending)	5 (ascending)	
1	N				N	
2	N	N	N		N	
3	Y	N	N		Y	
4	N	Y	Y	N	Y	
5	N	Y	Y	N		
6	Y	Y		Y		
7	Y	Y		N		
8		Y		Y		
9		Y				
10		Y				
Transition	5.5	3.5	3.5	5.5	2.5	4.1

N = "no" response; Y = "yes" response. Horizontal lines indicate the transition points.

^[2]**Figura 2.14:** Figura on es mostra les respostes en una mesura del llindar mitjançant el mètode dels límits. Es pot observar que aquest autor espera a què hi hagi dues respostes consecutives iguals, agafa el valor del llindar entre una resposta negativa i una positiva, i entre tots els assaigs fa la mitjana per obtenir un resultat.

Segons ^[3]Ehrenstein et al. el valor del llindar es troba entre la resposta negativa i la positiva, però no comenta que s'hagi d'arribar a dues respostes iguals consecutives. Però la resta del procediment l'efectua igual que l'anterior.

Method of Limits. Determination of Absolute Threshold]
Response (Stimulus Perceived): yes (Y), no (N).

Stimulus Intensity	Alternating Ascending and Descending Series					
0	N		N		N	
1	N		N		N	
2	N		N	N	N	
3	N	N	N	Y	N	N
4	N	Y	N	Y	N	Y
5	N	Y	Y	Y	Y	Y
6	Y	Y		Y		Y
7		Y		Y		Y
Transition Points	5.5	3.5	4.5	2.5	4.5	3.5

Threshold = Average Transition Points = (5.5+3.5+4.5+2.5+4.5+3.5)/6 = 24/6 = 4

^[3]**Figura 2.15:** En aquesta taula es pot veure clarament que quan s'arriba a la resposta desitjada no es considera el criteri imposat per [2]Norton et al., que diu que s'han de realitzar dues respostes idèntiques de manera consecutiva. Tot i així, la resta del procediment és assemblat.

El mètode dels límits se sol utilitzar per a tenir un primer càlcul de la variació de la magnitud que es vol mesurar, el que permet determinar l'interval en què s'han d'escollir els estímuls per a realitzar una mesura més acurada, amb un altre mètode psicofísic, com

per exemple, el dels estímuls constants. No obstant això, amb un nombre adequat de mesures els resultats poden ser suficientment precisos.

En aquest mètode és important decidir l'inici i el final de les sèries de mesures, així com la variació entre els estímuls que es presenten. L'estímul inicial de cada sèrie ha de variar de forma aleatòria per evitar guiar a l'observador en la seva resposta. Un inconvenient important del mètode dels límits és la gran quantitat d'estímuls presentats que són sempre detectats o no ho són mai, el qual pot suposar un temps experimental considerable que contribueix a la fatiga de l'observador.

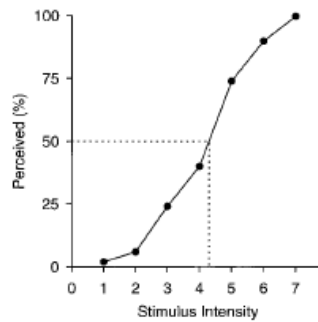
2.8.5 Mètode dels estímuls constants

En el mètode dels estímuls constats, l'experimentador escull un nombre de valors d'estímuls, aquests estímuls són fixes i normalment s'escullen de 5 a 9 estímuls cobrint un rang.

Aquests estímuls han de ser escollits de forma que el de menor intensitat de la sèrie correspongui a un valor de la magnitud que generalment no sigui percebut per a l'observador, mentre que el valor més gran d'intensitat ha de ser justament tot el contrari, és a dir, visible quasi sempre per a l'observador. La intensitat va variant de manera aleatòria de presentació en presentació. Normalment cada valor és presentat unes 50 vegades.

Després de cada presentació l'observador informa si ha detectat o no l'estímul. A partir de les respostes de l'observador s'obté la funció psicomètrica representant en abscisses el valor de l'estímul i en ordenades la freqüència de respostes afirmatives, és a dir, la freqüència amb el qual es percep l'estímul (Fig. 2.16). El llindar es calcula com el valor en el qual l'observador ha detectat l'estímul en un 50% de les vegades.

Psychometric function which shows the relationship between the percentage of times that a stimulus is perceived and the corresponding stimulus intensity. The threshold is defined as the intensity at which the stimulus is detected 50 percent of the time.



^[3]Figura 2.16: Funció psicomètrica obtinguda de les respostes de l'observador.

Method of Constant Stimuli (50 Presentations for each Stimulus Intensity)

Stimulus Intensity (arbitrary units)	1	2	3	4	5	6	7
Frequency of Perceived Stimuli	1	3	12	20	37	45	50
Percentage of Perceived Stimuli	2	6	24	40	74	90	100

Un aspecte essencial en aquest mètode és l'elecció dels estímuls que s'han d'emprar. El valor resultant de la mesura pot estar influenciat considerablement per l'interval d'estímuls seleccionats per l'experimentador. Escollint l'interval a partir dels resultats obtinguts mitjançant el mètode dels límits o de l'ajust, es pot millorar molt la precisió de la mesura.

En el mètode dels estímuls constants l'observador no té cap tipus de base per poder anticipar la seva resposta, en conseqüència, hi ha poca variació a causa d'això. Gràcies a això, el mètode dels estímuls constants proporciona una informació molt vàlida per a assaigs clínics. Tot i ser el mètode més fiable, el seu principal inconvenient és que consumeix molt temps i requereix un pacient atent i observador.

2.8.6 Mètode de l'escala

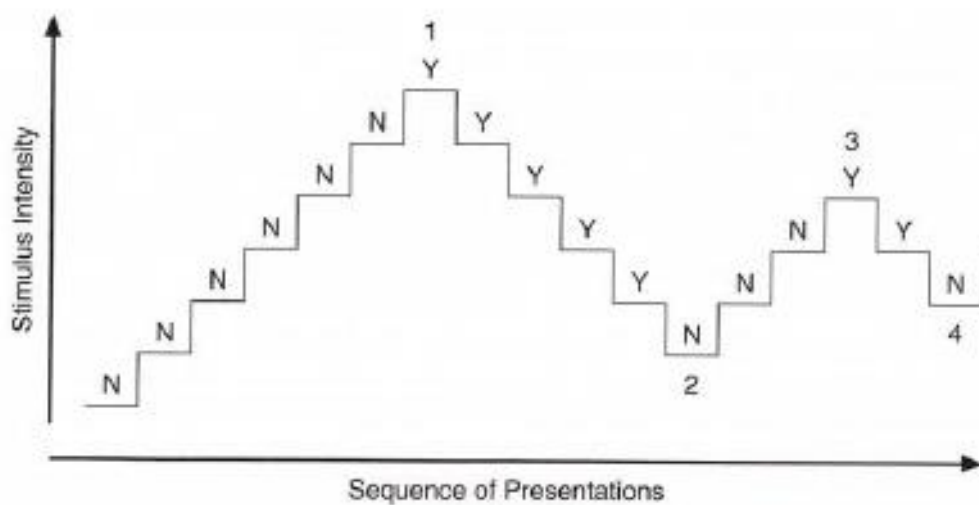
El mètode de l'escala és un mètode de mesura del llindar que resulta de la combinació del mètode dels límits ascendents i descendents. Les variables que s'han de determinar abans de l'experiment són: el grau de variació en la presentació de l'estímul i el seu valor inicial.

Un estímul es presenta per sota del llindar, és a dir, no es detecta l'estímul. Es va augmentant progressivament la intensitat en passos discrets. Aquests passos discrets, és el que s'anomena, escala ascendent.

Eventualment l'observador assenjala que detecta l'estímul. En aquest punt, l'escala és revertida, i la intensitat de l'estímul es redueix progressivament fins que l'observador no pot detectar aquest estímul; el que s'anomena escala descendent.

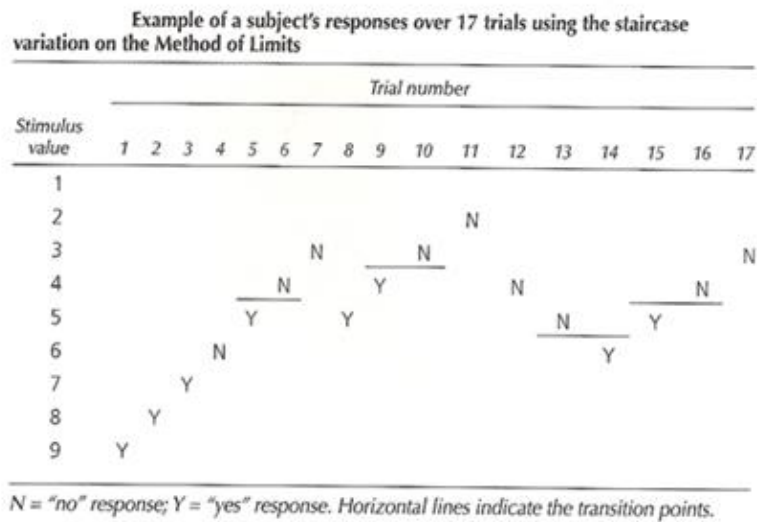
Aquesta és la proposta de ^[1]Schwartz; segons ^[2]Norton, l'estímul inicial ha de ser detectat, i la intensitat ha de disminuir fins que l'observador reporti que no veu l'estímul dues vegades consecutives, en aquest moment, s'inverteix l'escala, la resta del mètode es fa de forma similar.

Continuem amb el mètode que proposa ^[1] Schwartz. Un cop s'ha realitzat l'escala descendent, es torna a incrementar la intensitat de l'estímul fins que es fa visible. El llindar s'agafa com la intensitat en un dels canvis de direcció de l'escala, com per exemple la quarta inversió.



^[1] **Figura 2.17:** En aquesta figura s'observa la metodologia que segueix aquest mètode psicofísic, i els canvis de sentit marcats numèricament. En aquest cas, ^[1]Schwartz proposa agafar com a llindar la quarta inversió.

Segons ^[2]Norton s'ha de prendre entre 6 i 9 inversions de la intensitat de l'estímul per a estimar el valor del llindar, que segons ell, es defineix com la mitja de totes les intensitats en el que l'estímul ha canviat de direcció.



^[2]Figura 2.18: Proposta de ^[2]Norton per realitzar el mètode de l'escala. Es pot veure clarament que s'inicia amb un estímul clarament visible, i per invertir l'escala, s'espera a obtenir dos resultats negatius consecutius.

En aquest mètode, la major part dels valors de l'estímul es concentren en el llindar absolut, pel qual, aquest procediment és més eficient que altres mètodes com per exemple el mètode dels límits.

Un dels inconvenients d'aquest mètode és la influència que pot tindre el coneixement de l'observador sobre com varia l'estímul en funció de la seva resposta. Per evitar-ho Cornsweet va introduir en 1962 el mètode de l'escala doble, en el que es presenten alternades aleatòriament dues sèries d'estímuls (escales intercalades). En cada una d'elles se segueix estrictament el procediment descrit anteriorment, però en combinar-se estímuls de les dues sèries l'observador no pot predir o recordar com són les variacions.

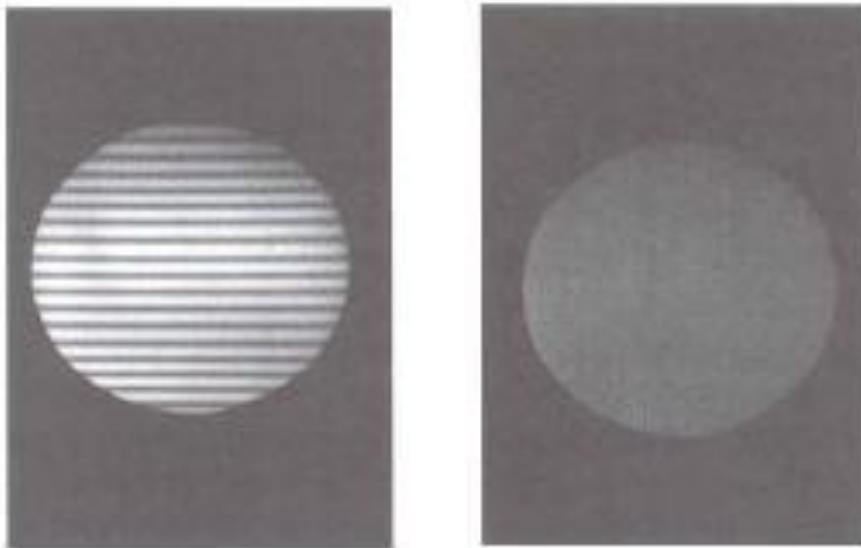
Els mètodes de l'escala s'empren molt en l'actualitat en mesures psicofísiques, pel fet que combinen les millors característiques del mètode dels límits i del mètode dels estímuls constants. A més, poden combinar-se amb mètodes d'elecció forçada, el qual milloraria encara més la seva precisió.

Una altra possibilitat d'aquests mètodes és que la variació en els estímuls que es van presentant siguin dependents de la seqüència de respostes de l'observador. En aquest cas els mètodes es denominen **adaptatius**.

2.8.7 Mètode de l'elecció forçada

En els anteriors mètodes de determinació del llindar s'ha arribat a una mateixa conclusió; que no tots els observadors utilitzen el mateix criteri per decidir si veuen o no l'estímul. Per exemple, els observadors amb un **criteri estricte** no reporten que veuen l'estímul fins que realment el veuen. Aquests resultats solen donar un valor de llindar per sobre de l'esperat, és a dir, tenen una **baixa sensibilitat**. En canvi, altres observador tenen un **criteri més dèbil**, reporten que veuen un estímul tot i tindre un alt grau d'incertesa respecte a la seva decisió. En aquests casos el valor del llindar estarà per sota de la normalitat, és a dir, tindrà una **alta sensibilitat**. A més, no sols varia el criteri del llindar entre observadors, sinó que també varia entre presentacions en un mateix individu.

En el mètode de l'elecció forçada els efectes del criteri de l'observador son minimitzats en forçar-lo a escollir entre diferents opcions, és a dir, en lloc de demanar a l'observador que respongui afirmativament o negativament respecte a la percepció d'un estímul, se li presenten diferents estímuls en un nombre de localitzacions diferents, si bé, sols una d'elles conté informació, i l'observador ha d'indicar on està localitzat

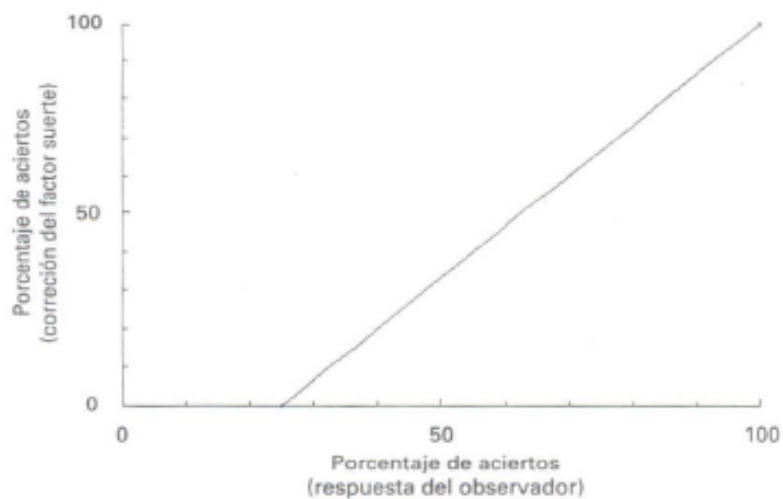


^[4]**Figura 2.19:** Exemples d'estímuls que poden utilitzar-se per a determinats mètodes d'elecció forçada de la funció de sensibilitat al contrast.

Aquest mètode es denomina d'elecció forçada perquè l'observador ha d'endevinar on es troba l'estímul, inclús encara que no pugui distingir cap de les presentacions. Van ser introduïts per Blackwell (1946) en aplicacions militars de detecció de llindars de

contrast visual, i s'ha demostrat que s'obtenen llinars més baixos i estables amb un major rang de validesa de les mesures.

En emprar l'elecció forçada s'ha de tindre en compte la probabilitat que l'observador encerti tot i no veure l'estímul. Per exemple, en una elecció forçada entre quatre alternatives l'observador té una probabilitat de 25% d'endevinar la resposta inclús amb els ulls tancats. Llavors s'ha de traslladar el percentatge de 25% a un 0% en una nova escala que tingui en compte el factor de la sort en encertar. En altre cas extrem, és a dir, quan l'observador encerta totes les preguntes 100%, s'ha de correspondre en un 100% en la nova escala, ja que la probabilitat d'encertar totes les respostes sense percebre els estímuls és de " $0,25 \cdot n$ ", on " n " és el nombre de mesures. Per a corregir aquest factor, se sol utilitzar una relació lineal (Fig. 2.20), tot i que també podria emprar-se un altre tipus de funcions no lineals.



[4] **Figura 2.20:** Representació gràfica de la funció lineal que pot emprar-se per a tenir en compte la correcció del factor sort en un mètode d'elecció forçada amb quatre alternatives.

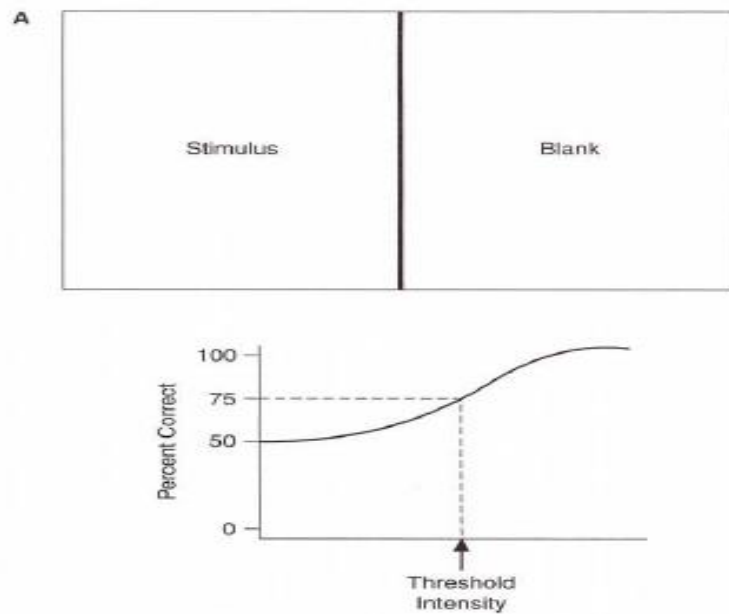
En l'exemple de la figura 2.21A un estímul és presentat aleatòriament en una de les dues finestres, i l'altra no conté cap estímul. L'observador és forçat a escollir quina de les dues finestres és la que conté l'estímul.

Per a construir una funció psicomètrica, són presentats estímuls amb diferents intensitats. Si l'experiment força a l'observador a escollir entre dues alternatives, com en la figura 2.21A, l'experiment pren el nom d'elecció forçada de dues alternatives. Si ens fixem en la funció psicomètrica de la figura 2.21A, podem veure que el menor percentatge és el de 50%. El percentatge 0% no existeix com al mètode dels estímuls constants, això succeeix

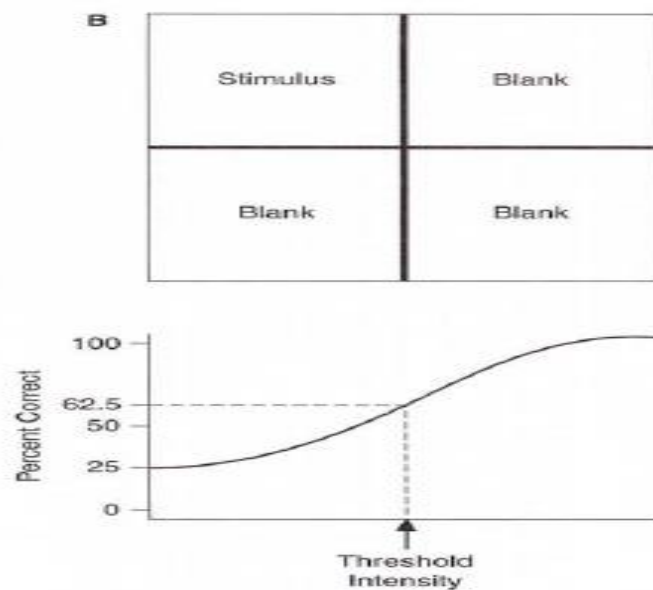
perquè quan l'observador no veu l'estímul, té una probabilitat d'encertar la resposta del 50%.

El valor del llindar s'agafa com el punt mitjà entre la probabilitat d'encertar una resposta per atzar, i el punt de màxim rendiment. Els experiments d'elecció forçada poden presentar més de dues eleccions. En la figura 2.21B es mostra una elecció forçada de quatre alternatives; en aquest cas, l'estímul pot presentar-se en qualsevol dels quatre espais, i la resta, no presentaran estímuls.

Si analitzem la funció psicomètrica, veiem que té un percentatge mínim del 25%. El llindar s'agafa com el punt mitjà entre aquest valor i el del màxim rendiment (100%).



[1] **Figura 2.21 A:** Funció psicomètrica mitjançant elecció forçada de dues opcions. En la funció psicomètrica es veu que s'agafa com a valor llindar el 75%



[¹] **Figura 2.21 B:** Funció psicomètrica mitjançant elecció forçada de quatre opcions. En la funció psicomètrica es veu que s'agafa com a valor llindar el 62,5%.

Incrementant el nombre d'eleccions normalment augmenta la complexitat de l'experiment i causa que s'allargui. Però hi ha més avantatges en utilitzar més opcions per escollir. Si comparem la funció psicomètrica de dues opcions amb la de quatre opcions, es pot veure que la funció psicomètrica d'elecció forçada de dues alternatives és més plana que la de quatre alternatives. Això augmenta la probabilitat d'error en llegir el llindar fora del gràfic perquè hi ha molts punts en la funció plana que cauen prop del 75%, això vol dir que el valor del llindar (en aquest cas de 75%), és un resultat imprecís. En el cas de la funció de l'elecció forçada de quatre alternatives, aquesta és més escarpada, i la determinació del valor del llindar és més precisa i fiable. En comparació amb altres mètodes psicofísics, l'elecció forçada funciona en llindars baixos. Quan els observadors es veuen obligats a endevinar habitualment ho fan molt bé tot i les afirmacions de no poder veure l'estímul.

3. OBJECTIUS I HIPOTESIS

L'objectiu principal d'aquest treball és dissenyar i crear un programa d'ordinador capaç de mesurar empíricament l'estereoagudesesa, aplicant diferents mètodes psicofísics.

Com a objectiu secundari s'avaluaran els resultats obtinguts de l'estereoagudesesa en una petita població de 24 persones. Aquests resultats ens permetran analitzar bàsicament els següents aspectes:

- el grau de correlació existent entre els valors d'estereoagudesesa obtinguts per cada pacient, pels diferents mètodes psicofísics
- l'existència o no de diferències significatives en la classificació que s'obté, amb cada mètode psicofísic, de la població de 24 pacients per intervals d'estereoagudesesa
- les diferències dels resultats obtinguts amb dos test clínics de mesura de l'estereoagudesesa en visió propera (TNO i Randot), i dels que resulten en aplicar els diferents mètodes psicofísics de mesura de l'estereoagudesesa en visió llunyana.

La primera hipòtesi que es planteja en aquest estudi és que els valors concrets d'estereoagudesesa que s'obtindran per cada pacient poden variar segons el mètode psicofísic aplicat.

La segona hipòtesi és que, al marge de les diferències indicades al paràgraf anterior, s'espera que hi hagi unes bones correlacions entre els valors d'estereoagudesesa pels diferents mètodes psicofísics.

La tercera hipòtesi que es planteja en aquest estudi és que els resultats d'estereoagudesesa obtinguts amb els dos tests clínics poden ser diferents als obtinguts amb qualsevol dels sistemes psicofísics, i a més, pot ser que les correlacions entre les dades dels tests clínics i dels mètodes psicofísics no presentin bones correlacions. La raó d'aquesta hipòtesi és que els tests clínics permeten mesures d'estereoagudesesa en visió propera, i els mètodes psicofísics utilitzats realitzen mesures d'estereoagudesesa en visió llunyana. En aquest sentit cal dir que no tenim a l'abast cap test clínic per mesurar l'estereoagudesesa en visió llunyana, i que degut a les dimensions dels píxels de les actuals pantalles d'ordinador (excessivament grans), no ens podem plantejar fer mesures prou fines d'estereoagudesesa en visió propera amb l'ús de programes informàtics.

La quarta hipòtesi és que pot haver diferències significatives en la classificació que s'obté de la població de 24 pacients en intervals d'estereoagudeses, quan es tenen en compte els resultats obtinguts amb diferents mètodes psicofísics, i també comparant aquests resultats amb els obtinguts amb els tests clínics.

4. METODOLOGIA

4.1 Participants

El present estudi ha estat realitzat durant els mesos de setembre i octubre del 2014 i hi han participat 24 subjectes d'edat compreses entre 18 i 50 anys (13 dones i 11 homes). Tots els pacients van ser sotmesos a les proves en uns dels laboratoris de la Facultat d'Òptica i Optometria de Terrassa (FOOT). Aquesta prova està dividida en dues parts, la primera part tractava d'un petit cribratge d'exclusió d'uns 5 minuts de durada, la segona part de l'estudi, on els pacients que han passat el criteri d'exclusió havien de realitzar un conjunt de proves psicofísiques mitjançant un programa d'ordinador.

A l'estudi els criteris d'exclusió van ser:

- L'agudesa visual monocular inferior a 0,7 amb la correcció habitual, en ambdós ulls.
- L'agudesa visual binocular inferior a 0,9 amb la correcció habitual.
- La diferència d'agudesa visual entre un ull i l'altre, amb la millor correcció habitual possible ha de ser major o igual a 0,2.
- L'estereòpsia en TNO o en Randot es major a 120''.
- Es descarten tots aquells pacients que tenen una patologia ocular, estrabisme o ambliopia.

4.2 Proves clíniques

Durant el cribratge es van realitzar els següents exàmens.

4.2.1 Agudesa visual

La primera prova específica del nostre estudi va ser la mesura de l'agudesa visual, amb la refracció habitual del pacient, ja sigui amb lents de contacte o amb ulleres, i amb il·luminació ambiental elevada. En aquesta prova es mesurava amb el **test de Palomar** l'agudesa visual monocular, i posteriorment, la binocular.

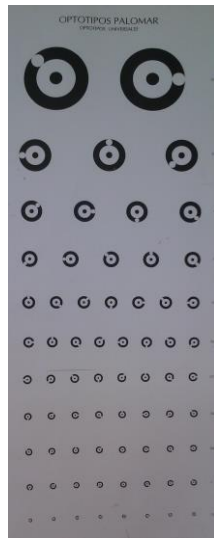


Figura 4.1: Test de Palomar utilitzat per mesurar l'agudesia visual durant el cribatge.

4.2.2 Estereòpsia

La segona prova del nostre estudi va ser la mesura de l'estereoagudesia utilitzant la refracció habitual del pacient. Per realitzar les mesures es van utilitzar dos tests d'estereoagudesia, concretament el test del TNO i el test de Randot.

4.2.2.1 Test Randot

D'aquest test tan sols vam utilitzar el test dels cercles, ja que limitem el rang d'estereoagudesia per tal de realitzar les proves posteriors. Existeixen 10 nivells d'estereoagudesia, que cobreixen un rang d'estereoagudesia d'entre 800" i 40" segons d'arc.

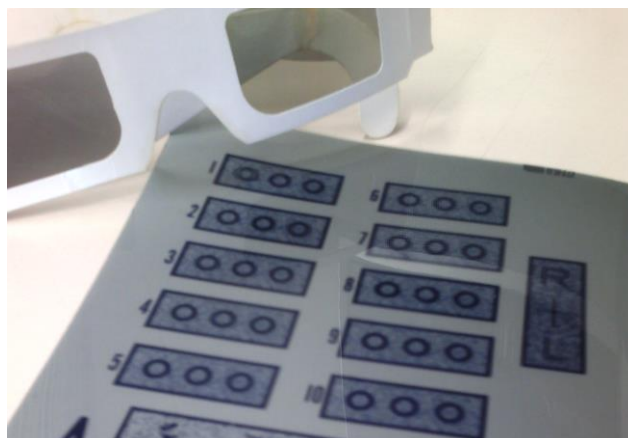


Figura 4.2: Test de Randot utilitzat durant el cribratge

4.2.2.2 Test TNO

D'aquest test tan sols vam utilitzar les tres últimes làmines que corresponen a les figures en forma de "pastís". Aquest apartat del test mesura l'estereoagudesesa en un rang d'entre 450" i 15" d'arc.



Figura 4.3: Test de TNO utilitzat en el cribratge.

4.3 Procediment de l'estudi

L'eina que s'ha utilitzat per realitzar les mesures psicofísiques ha estat íntegrament programada per l'estudiant que presenta aquest treball utilitzant l'entorn MATLAB. Amb aquest llenguatge de programació s'han dissenyat els tests, s'han programat les rutines per aplicar les diferents metodologies psicofísiques descrites més endavant i s'han recopilat les dades resultants per cada pacient.

4.3.1 Procediment de les mesures psicofísiques

A continuació s'esmentarà el procediment que s'ha seguit amb cadascun dels pacients, i dels elements que componen el programa, així com la finalitat de cadascun d'ells.

4.3.1.1 Material utilitzat

Per tal de poder visualitzar imatges en profunditat s'utilitzaran unes ulleres vermell/blau que es podran ajustar a les ulleres dels observadors.

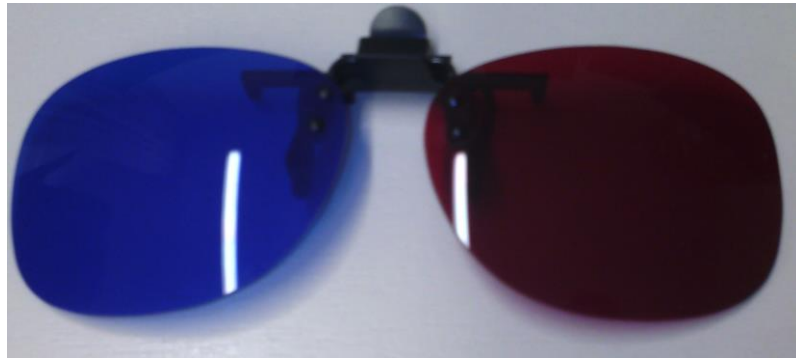


Figura 4.4: Ulleres utilitzades per visualitzar estímuls en profunditat.

En el cas de pacients que no portaven ulleres es va utilitzar la muntura que s'utilitza al test del TNO amb les ulleres anaglífiques acoblades.



Figura 4.5: Ulleres anaglífiques vermell/blau acoblades a la muntura del TNO.

A part d'aquestes ulleres anaglífiques es va utilitzar el programa d'ordinador, que ha estat dissenyat expressament per tal de mesurar l'esteroagudes dels observadors mitjançant diferents mètodes psicofísics.

Totes aquestes mesures es van realitzar en condicions de baixa il·luminació ambiental per facilitar la fusió de les imatges monoculars, per evitar reflexos a les ulleres anaglífiques i per no disminuir el contrast de la pantalla.

4.3.1.2 Pantalla principal

Una vegada dintre de la pantalla principal del programa, s'observa que hi ha diferents apartats, els quals s'explicaran breument a continuació.

Figura 4.6: Pantalla principal del programa. Aquesta pantalla està dividida en diferents mòduls. Dades personals, Calibratge, tipus de test, proves, i resultats. A la part inferior hi ha tres botons: Actualitzar Resultats, Reiniciar i Guardar resultats.

4.3.1.3 Dades personals

En aquest apartat s'han d'introduir les dades del pacient, on s'inclourà el nom, l'edat, el sexe, i el valor d'estereoagudesa obtingut amb TNO i Randot, a més de l'agudesa visual monocular i binocular. Aquestes dades serviran per poder emmagatzemar els resultats en un arxiu Excel, que portarà el nom, l'edat del pacient, i el sexe.

Dades personals

Nom:

Edad:

Sexe:

AVcc OD

OI

Estereoagudesa

TNO

RANDOT

Figura 4.7: Apartat de dades personals del pacient.

4.3.1.4 Calibratge

Prèviament a què el pacient comenci a realitzar les mesures, s'ha de fer un calibratge. Per això també s'ha realitzat un altre mòdul on es pot calibrar els colors per tal de què, amb ulleres anaglífiques, es pugui trobar els colors més adients per a executar les proves.

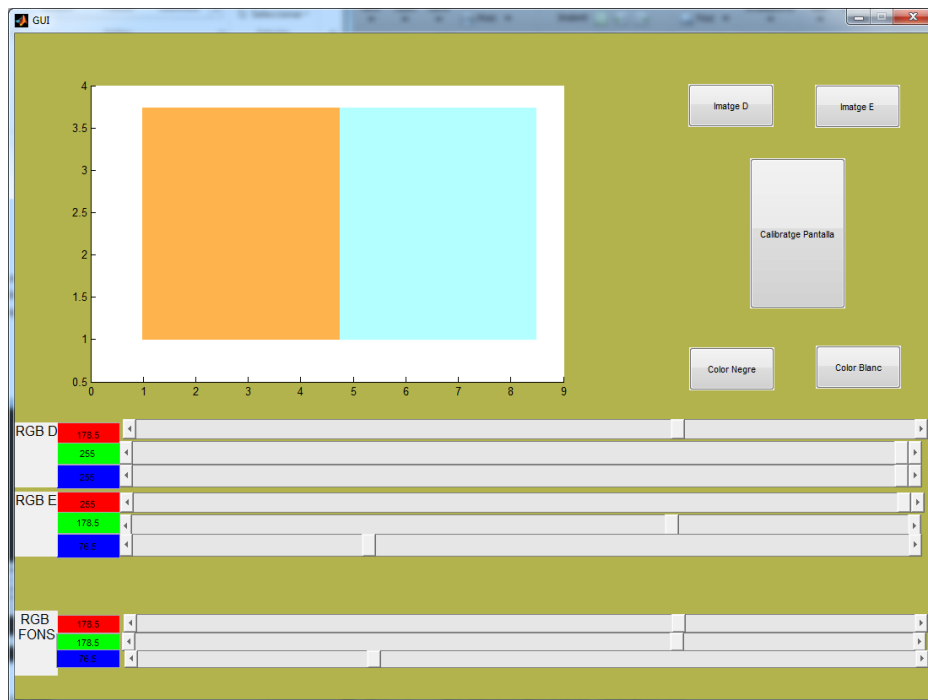


Figura 4.8: Mòdul de calibratge de color

En aquesta pantalla es mostren dos rectangles de diferents colors, el rectangle de l'esquerra s'ha de veure només amb el filtre de l'ull esquerre i el rectangle de la dreta

només amb el dret. Mitjançant uns assaigs previs s'ha arribat a la conclusió que els colors que es mostren a la figura són els adients. Els paràmetres RGB UD modifiquen el color del rectangle dret, mentre que els paràmetres RGB UE modifiquen el color del rectangle esquerre. En la imatge es pot observar un altre paràmetre que és RGB fons, que canvia el color del fons.

Per defecte mostra un color "cyan" en el rectangle dret RGB [0.7 1 1], un color "taronja" al rectangle esquerre RGB [1 0.7 0.3], i de fons un color "Marró" amb els següents paràmetres RGB [0.7 0.7 0.3]. Aquests colors s'han determinat mitjançant proves experimentals per tal de minimitzar la diferència de color entre els rectangles vistos a través dels filtres i el fons. Aquesta combinació de colors s'ha comprovat empíricament que és adient per poder percebre els estímuls en profunditat.

A la part dreta de la pantalla de calibratge es localitzen els següents botons:

- Imatge UD: Aquest botó guarda els paràmetres RGB del rectangle dret.
- Imatge UE: Aquest botó guarda els paràmetres RGB del rectangle esquerre.
- Color Negre: Aquest botó guarda els paràmetres RGB del fons.
- Color Blanc: Aquest botó guarda els paràmetres RGB del fons.

El test d'estereòpsia estarà format a partir dels colors elegits en aquest calibratge. Aquesta rutina de calibratge de color es farà abans de realitzar les mesures per tal de crear amb antelació els tests amb els colors triats.

Després d'aquest calibratge de color, també s'ha de calibrar la pantalla, per accedir-hi s'ha de prémer el botó de calibratge de pantalla.

En aquesta rutina es presentarà un test del qual sabem de quants píxels està format (250 píxels). Es mesurarà tant l'alçada com l'amplada del test, i a continuació la distància a la qual es farà l'examen. D'aquesta manera, tenim caracteritzat la magnitud del píxel i sabem amb exactitud la grandària de tots els estímuls presentats i el que és més important, la distància entre cada una de les imatges de color, que és el que determinarà l'estereoagudesesa.

A causa de la mida del píxel que té la nostra pantalla, que és d'uns 264 μm , aproximadament, hauríem de situar al pacient a una distància mínima de 2 m per tal d'obtenir un estímulo de disparitat binocular d'uns 27". A més, els intervals d'aquest estímulo també serien de 27" en 27", cada vegada que la imatge d'un ull es desplaçés 1

píxel més respecte la imatge de l'altre ull. Així doncs, els estímuls de disparitat binocular serien de 27", 54", 81", etc.

Amb la finalitat de poder fer unes mesures més fines de l'estereoagudesesa, i de poder arribar a mesurar estereoagudeses inferiors a 27", que són habituals en una població sana, vam decidir utilitzar una distància d'observació de 5 m. D'aquesta manera, els estímuls de disparitat binoculars presentats van ser múltiples de **10,89"**, que és l'angle subtendit per un píxel de 264 μm a una distància de 5 m.

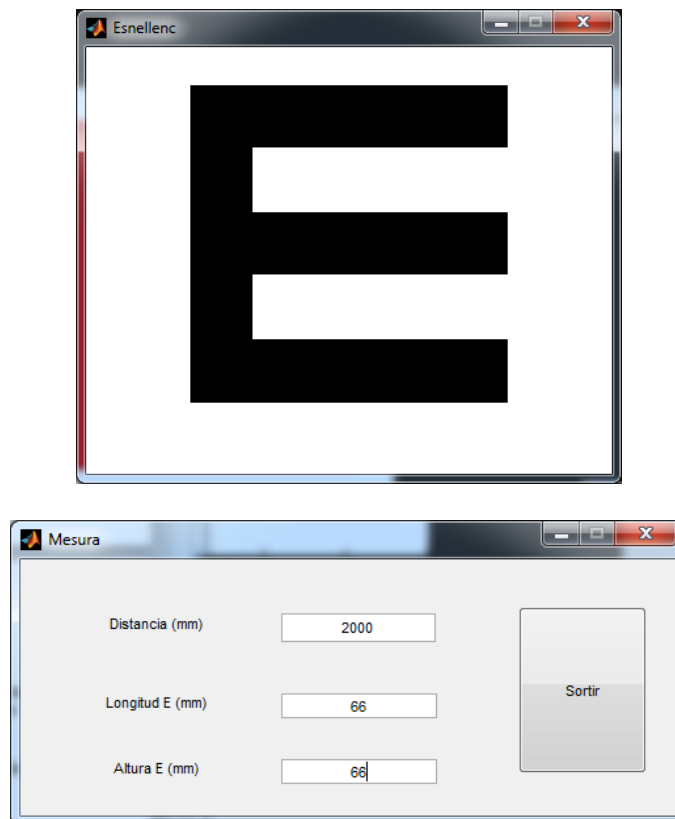


Figura 4.9: Mòdul de calibratge de la pantalla, la imatge superior és un test del qual sabem exactament les seves dimensions. En la pantalla inferior s'introdueix la longitud i l'altura del test en mil·límetres, i finalment la distància a la qual s'efectuaran les proves.

Per finalitzar premem el botó sortir per guardar les dades i tornar el menú principal per escollir el tipus de test.

4.3.1.5 Elecció del Test a presentar

Una vegada el color i la pantalla estan calibrats, s'ha d'escollir el test que es presentarà al pacient. S'han dissenyat un parell de tests amb el MATLAB, i posteriorment s'ha comprovat la seva efectivitat, per a realitzar l'estudi.

S'ha escollit un test que permetia un millor control sobre la separació de les imatges i que presentés un estímul de referència.

El disseny d'aquest test està basat en el test Titmus, concretament, és una variació dels cercles de Wirth. El test estarà compost de dos elements, d'un quadrat central, que serà el que presenti disparitat (respecte la pantalla). Aquest quadrat central estarà envoltat d'un altre quadrat que no presentarà disparitat (respecte la pantalla). I el que cal que respongui el pacient és, si aquest quadrat central està desplaçada en l'espai respecte el quadrat que l'envolta, de manera que el percep més proper o més llunyà que aquest.

S'ha escollit aquest tipus d'estímul perquè el MATLAB opera amb files i columnes com si les imatges fossin matrius, per tant, ens és més fàcil crear imatges quadrades. Cal afegir que s'ha decidit la utilització d'anaglífics perquè no disposem de pantalles polaritzades i no es va voler afegir cap element que polaritzés les imatges per tal de poder fer un test d'estereòpsia que es pogués fer servir en qualsevol ordinador tan sols amb unes ulleres anaglífiques.

A més, un estudi fet per Hoffmann i Menozzi^[13], mesurava l'estereoagudesesa en una pantalla d'ordinador utilitzant punts aleatoris com al TNO. En aquest estudi es va arribar a la conclusió que es podia utilitzar el sistema anaglífic si prèviament s'optimitzaven els colors mitjançant un calibratge previ.

En un estudi realitzat per Yamada, Scheiman i Mitchell^[12], es va comparar el test TNO amb sistema anaglífic i polaritzat, de la mateixa manera es va fer amb els cercles de Wirth. Es va arribar a la conclusió que el test TNO no presentava fluctuacions entre anaglífic o polaritzat, mentre que, amb els cercles de Wirth els resultats obtinguts per un sistema anaglífic subestimaven el nivell d'estereòpsia mesurat amb el sistema polaritzat.

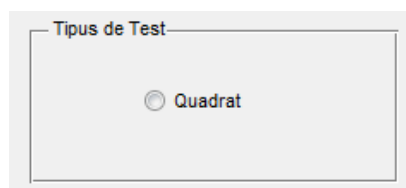


Figura 4.10: El test utilitzat serà el test "Quadrat", ja que té un millor control sobre les imatges.

Un cop triem el test “Quadrat” es crea una imatge per a cada desplaçament, és a dir, per a cada valor d'estereoagudesa, a més, es diferenciarà els estímuls que es percebran més pròxims (visió creuada), i estímuls que es percebran més allunyats (visió paral·lela). Numèricament, els estímuls pròxims seran positius, mentre que els estímuls llunyans seran negatius.

Donat que el programa registra de forma separada les dades en visió paral·lela i en visió creuada, a l'anàlisi dels resultats es podrà fer una comparació de l'estereoagudesa mesurada en visió creuada i en visió paral·lela. En aquest sentit cal dir que el test TNO realitza mesures en visió paral·lela i el cercles de Wirth les realitza en visió creuada. Un estudi realitzat per Chris Hall ^[10] conclou que existeix una correlació significativa entre aquests dos tests i el test de “Howard-Dolman”.

Totes les imatges generades es guarden en una carpeta anomenada FIGURES que es troba en el directori principal del programa. Prèviament a la realització de totes les proves, hem escollit els colors adients, un cop les imatges es guarden, es poden recuperar sense necessitat de recalcular-les. Per tant, l'única rutina de calibratge que caldrà fer durant l'estudi serà el calibratge de pantalla, i posteriorment, es passarà a realitzar les mesures psicofísiques.

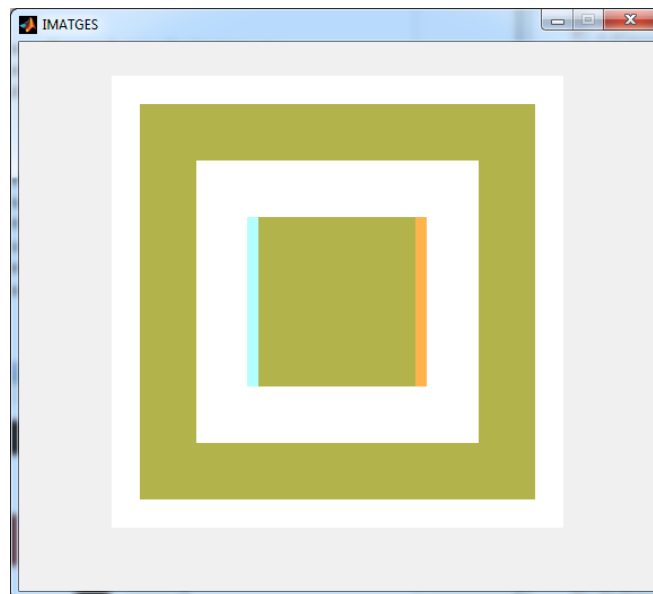


Figura 4.11: Exemple d'imatge amb un desplaçament d'un color respecte l'altre. Amb unes ulleres anaglífiques l'ull dret veurà la imatge desplaçada a la dreta respecte a la imatge de l'ull esquerre.

4.3.1.6 Elecció del mètode psicofísic

En la pantalla principal, es mostra en un requadre tots els mètodes psicofísics que podem realitzar, entre els quals destaquen el mètode dels estímuls constants, el mètode de l'ajust, el mètode dels límits, el mètode de l'escala i el mètode de l'elecció forçada. Cada botó correspon a un mètode psicofísic, una vegada cliquem en un d'ells, s'iniciarà una prova específica.

Cada mètode psicofísic té la seva rutina d'examen, aquesta inclou mesures de l'estereoagudesesa en visió paral·lela i en visió creuada, és a dir, estímuls que es veuran més lluny de l'estímul de referència, i altres estímuls que es veuran més a prop. Les mesures es faran cinc vegades cadascuna per realitzar a posteriori una mitjana dels valors obtinguts.

Durant l'assaig clínic, s'ha vist que el mètode de l'elecció forçada no és un bon mètode de mesura en les condicions en els quals es va efectuar, ja que, en un monitor d'ordinador, es presentaven els quatre elements, on sol un d'ells presentava estereòpsia, i per tant, era un desgast enorme per al pacient, inclús major, que en el mètode dels estímuls constants.

Dels pocs pacients examinats d'aquest mètode, s'ha vist que normalment, els resultats manquen de lògica i per això, i per al temps de realització, s'ha decidit no utilitzar aquest mètode psicofísic en aquest estudi.



Figura 4.12: Conjunt de proves psicofísiques que estan disponibles en el programa. Cada una d'elles mesura l'estereoagudesesa aplicant els mètodes psicofísics esmentats a l'estat de l'art.

4.3.1.7 Pantalla de resultats

Un cop ha finalitzat una de les proves realitzades, és guarda el valor resultant dintre del programa. Posteriorment, si donem al botó actualitzar, es mostrarà a la pantalla cadascun dels resultats obtinguts. En prémer el botó “Reiniciar” s’esborraran totes les mesures guardades del pacient, sols es clicarà en aquest botó una vegada s'han guardat els resultats.

		Ajust	<input type="text"/>
		Escala	<input type="text"/>
Resultats			
Límits Ascendents	<input type="text"/>	Estímul constants	<input type="text"/>
Límits Descendents	<input type="text"/>	Funció Psicometria	<input type="button" value="Funció Psicometria"/>
Límits Ascendents i Descendents	<input type="text"/>	Elecció Forçada	<input type="text"/>
		Funció Psicometria	<input type="button" value="Funció Psicometria"/>
Actualitzar Resultats		Reiniciar	Guardar resultats

Figura 4.13: Pantalla on es mostraran els resultats de les proves psicofísiques. Els resultats mostrats seran la mitjana de totes les mesures fetes amb un mateix mètode psicofísic.

En el cas dels mètodes dels estímuls constants o de l'elecció forçada es pot veure la funció psicomètrica corresponent. Quan es realitzen aquests mètodes, al final de la prova es mostra la gràfica de probabilitats de detecció d'un estímul determinat. Correspondria a la línia blava de la gràfica, aquesta funció està composta de diferents rectes que uneixen els diferents punts de probabilitat.

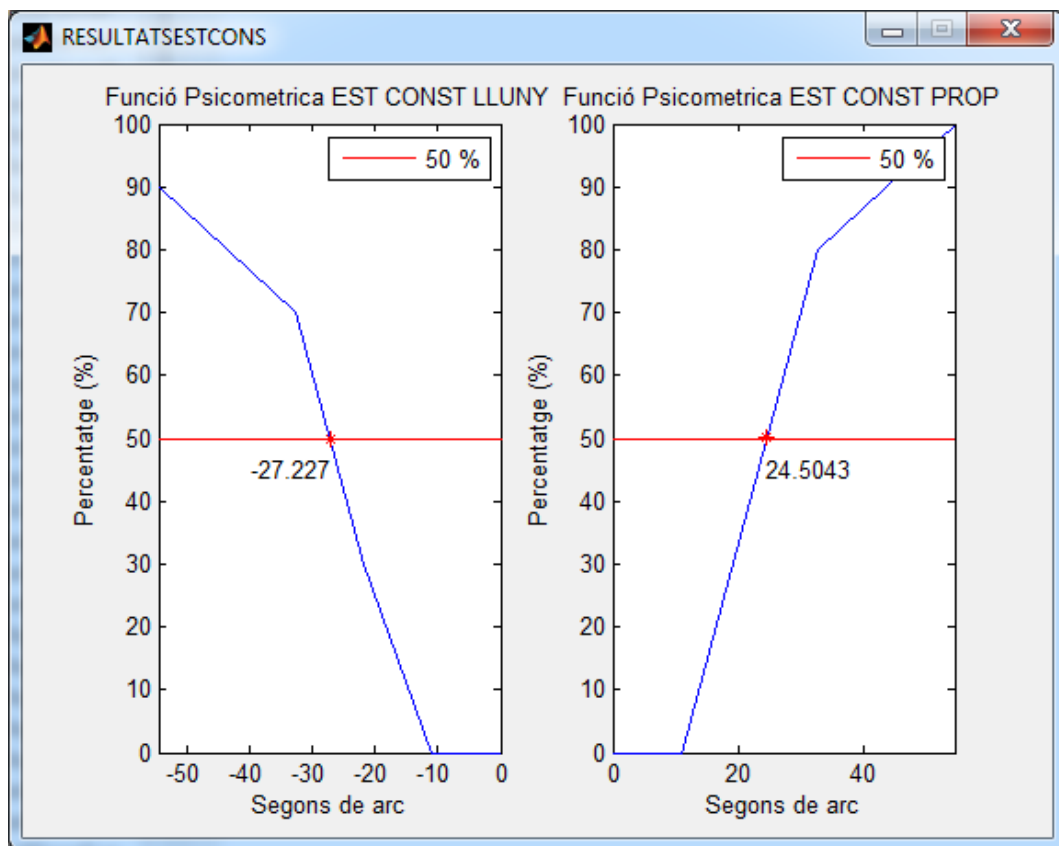


Figura 4.14: Exemple de funció psicomètrica obtinguda pel mètode dels estímuls constants.

A més també s'observa una línia vermella que indica el percentatge 50, que segons la bibliografia, en el mètode dels estímuls constants s'agafa com a llindar.

Una vegada es mostra la gràfica, s'ha de senyalar i clicar amb el ratolí en la intersecció de la recta vermella i la recta blava, és a dir, en el valor llindar.

Primer clicarem a la gràfica de l'esquerra, i després, en la gràfica dreta. D'aquesta manera el programa calcula el punt exacte de la intersecció, et mostra el valor de x quan $y=50$, te'l mostra a la gràfica i es guarda.

S'ha de comentar que per a la funció de l'elecció forçada la intersecció no serà en el 50% sinó en el 75% si és una elecció forçada de 2 alternatives o en 62,5% si és una elecció forçada de 4 alternatives.

Per acabar es clicarà un altre cop a la gràfica i guardarà la funció psicomètrica en dos formats, en format .fig, que és el format que tenen les figures al MATLAB, i en format .jpg, que és el format d'imatge més utilitzat en ordinadors. Aquests arxius es guardaran a la

carpeta RESULTATS que es trobarà en el directori principal del programa. Un cop s’han guardat els arxius, es retorna automàticament al menú principal.

Si donem al botó “Guardar” es crearà un arxiu Excel. Aquest arxiu tindrà com a nom, l’edat del pacient, el nom i el sexe, i es guardarà dintre d’una carpeta anomenada RESULTATS que es trobarà en el directori principal del programa. Dintre d’aquest arxiu Excel es formarà una graella on s’inclouran els valors d’estereoagudeses obtinguts mitjançant Randot, TNO i també els obtinguts per tots els mètodes psicofísics utilitzats. Però a diferència de la pantalla de resultats, en aquest Excel surt cadascuna de les mesures preses, i en la fulla 2 es mostren els percentatges obtinguts mitjançant el mètode dels estímuls constants.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	AVcc	TNO	RANDOT	LIM AS	M LIM AS	LIM DES	M LIM DES	LIM AS I DES	LIM AS I DES	LIM AS I DES	M LIM AS I DI	AJUST	M AJUST	ESCALA	M ESCALA	EST CONS
2	1,00	30,00	20,00	16,34		16,34		16,34				38,12		38,12		
3	1,00			16,34		38,12		59,90	38,12			38,12		27,23		
4	1,00			16,34	14,16	27,23	40,30	-27,23		35,40		38,12	33,76	16,34	27,23	27,23
5				16,34		59,90		-38,12	-32,67			16,34		27,23		
6				5,45		59,90						38,12		27,23		
7					18,51		42,47	38,12					26,14		23,96	28,13
8				-27,23		-49,01		49,01	43,56			-27,23		-16,34		
9				-27,23		-59,90		-16,34		29,95		-16,34		-16,34		
10				-27,23	-22,87	-59,90	-44,65	-16,34	-16,34			-16,34	-18,51	-16,34	-20,69	-29,04
11				-16,34		-49,01						-16,34		-16,34		
12				-16,34		-5,45		27,23				-16,34		-38,12		
13								38,12	32,67		31,58					
14								-38,12		38,12						
15								-49,01	-43,56							
16																
17								27,23								
18								27,23	27,23							
19								-27,23		27,23						
20								-27,23	-27,23							
21																
22								16,34								
23								49,01	32,67							
24								-27,23		27,23						
25								-16,34	-21,78							

Figura 4.15: Exemple d’arxiu Excel amb totes les mesures realitzades.

	A	B
1	Estereoagudeses CONST	Percentatge CONST
2	-54,45	100,00
3	-43,56	80,00
4	-32,67	70,00
5	-21,78	10,00
6	-10,89	0,00
7	0,00	0,00
8	10,89	0,00
9	21,78	30,00
10	32,67	70,00
11	43,56	80,00
12	54,45	100,00

Figura 4.16: Fulla 2 on es guarden els percentatges dels estímuls constants per a cada estereoagudeses.

Els valors positius indiquen que els estímuls es veuen en visió creuada, és a dir, es perceben més propers que l’estímul de referència, mentre que els valors negatius

indiquen que els estímuls es veuen més llunyans o en visió paral·lela. D'aquesta manera, es pot fer una anàlisi individual i posteriorment, ajuntar-ho tot i analitzar-lo de manera global.

La manera de guardar els resultats en cel·les es descriu detalladament en els annexos d'aquest treball.

5. RESULTATS I DISCUSIÓ

Un cop s'han realitzat totes les mesures als pacients, tenim totes les dades guardades en diferents documents Excel col·locats a la carpeta RESULTATS. Cada document Excel correspon a un sol individu, i conté totes les mesures realitzades durant la rutina de cada mètode psicofísic, a més de la mesura amb els tests Randot i TNO.

Totes aquestes dades, s'agrupen en un altre full d'Excel que permet una anàlisi de les mesures psicofísiques de forma general i individual.

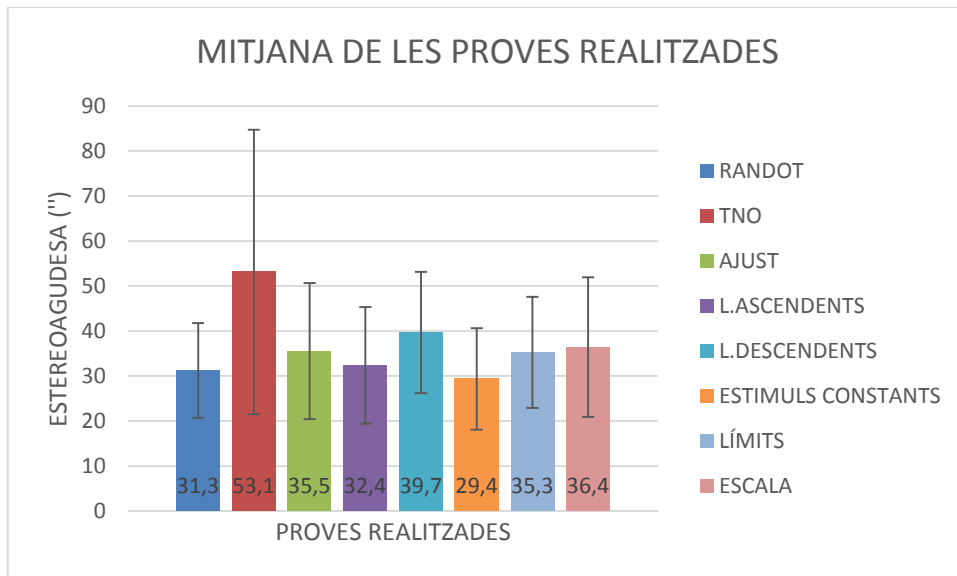
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1	RANDOT	TNO	AJUST PROP	AJUST LLUNY	AJUST MITJA	ASCENDENTS PROP	ASCENDENTS LLUNY	ASCENDENTS MITJA	DESCENDENTS PROP	DESCENDENTS LLUNY	DESCENDENTS MITJA
2	50,00	60,00	53,36	70,79	62,08	53,36	49,01	51,19	64,26	64,26	64,26
3	20,00	30,00	16,34	29,41	22,87	22,87	27,23	25,05	14,16	16,34	15,25
4	20,00	30,00	9,80	9,80	9,80	11,98	14,16	13,07	49,01	42,47	45,74
5	40,00	60,00	27,23	42,47	34,85	25,05	55,54	40,30	38,12	49,01	43,56
6	30,00	60,00	38,12	22,87	30,49	44,65	27,23	35,94	46,83	42,47	44,65
7	30,00	60,00	46,83	44,65	45,74	35,94	29,41	32,67	35,94	42,47	39,21
8	30,00	60,00	44,65	46,83	45,74	38,12	31,58	34,85	35,94	44,65	40,30
9	20,00	30,00	33,76	33,76	33,76	18,51	22,87	20,69	44,65	49,01	46,83
10	40,00	120,00	38,12	27,23	32,67	29,41	46,83	38,12	44,65	59,90	52,28
11	20,00	30,00	33,76	18,51	26,14	14,16	22,87	18,51	40,30	44,65	42,47
12	20,00	15,00	18,51	7,62	13,07	14,16	20,69	17,43	18,51	9,80	14,16
13	20,00	15,00	20,69	11,98	16,34	20,69	16,34	18,51	31,58	16,34	23,96
14	50,00	60,00	70,79	62,08	66,43	81,68	38,12	59,90	53,36	57,72	55,54
15	40,00	60,00	38,12	53,36	45,74	31,58	38,12	34,85	55,54	72,97	64,26
16	30,00	30,00	35,94	11,98	23,96	33,76	40,30	37,03	40,30	31,58	35,94
17	30,00	60,00	44,65	22,87	33,76	31,58	33,76	32,67	40,30	29,41	34,85
18	30,00	60,00	33,76	29,41	31,58	31,58	29,41	30,49	31,58	33,76	32,67
19	20,00	30,00	35,94	16,34	26,14	25,05	16,34	20,69	16,34	16,34	18,51
20	40,00	120,00	55,54	27,23	41,38	42,47	35,94	39,21	44,65	49,01	46,83
21	50,00	60,00	77,32	49,01	63,17	64,26	40,30	52,28	38,12	55,54	46,83
22	50,00	120,00	55,54	51,19	53,36	44,65	66,43	55,54	31,58	51,19	41,38
23	20,00	30,00	44,65	27,23	35,94	22,87	22,87	22,87	55,54	35,94	45,74
24	25,00	60,00	25,05	27,23	26,14	25,05	14,16	19,60	32,67	29,04	30,86
25	25,00	15,00	55,54	7,62	31,58	38,12	11,98	25,05	40,30	11,98	26,14
	L	M	N	O	P	Q	R				
	ESTIMULS CONSTANTS PROP	ESTIMULS CONSTANTS LLUNY	ESTIMULS CONSTANTS MITJA	LIMITS ASCENDENTS I DESCENDENTS	ESCALA PROP	ESCALA LLUNY	ESCALA MITJA				
	39,93	49,01	44,47		53,36	70,79	63,17				
	17,11	21,78	19,45		31,04	31,58	22,87				
	21,78	6,53	14,16		33,22	29,41	22,87				
	36,30	50,82	43,56		47,92	49,01	53,36				
	32,67	30,49	31,58		39,75	38,12	29,41				
	32,67	36,30	34,49		38,12	57,72	46,83				
	39,48	34,85	37,16		38,66	44,65	46,83				
	37,03	27,23	32,13		32,13	33,76	40,30				
	39,93	43,56	41,75		40,84	35,94	38,12				
	27,23	29,04	28,13		31,58	27,23	20,69				
	15,56	5,45	10,50		18,51	14,16	18,51				
	16,34	16,34	16,34		14,16	18,51	9,80				
	39,21	41,38	40,30		44,65	70,79	38,12				
	29,04	39,93	34,49		38,12	18,51	53,36				
	19,97	27,23	23,60		22,87	14,16	22,87				
	24,50	27,23	25,87		44,11	42,47	27,23				
	32,67	25,41	29,04		29,41	35,94	20,69				
	24,89	9,08	16,98		15,79	9,80	9,80				
	47,19	32,67	39,93		50,10	55,54	44,65				
	45,74	47,19	46,47		57,18	75,15	62,08				
	35,40	43,56	39,48		51,19	53,36	49,01				
	29,04	28,32	28,68		34,31	31,58	35,94				
	11,98	9,80	10,89		19,60	20,69	29,41				
	19,97	10,89	15,43		20,15	49,01	22,87				

Figura 5.1: Excel amb totes les dades corresponents a cadascun dels pacients.

En la gràfica següent s'observa que la mitjana del test Randot i de la resta dels mètodes psicofísics són assemblats, amb petites variacions a causa, probablement, dels algorismes que utilitzen els diferents mètodes psicofísics.

El test TNO, és el test que més s'allunya respecte els resultats de la resta de proves (veure gràfica 5.1), a més, és el que presenta valors més dispersos d'estereoagudeses, mentre que

entre els mètodes psicofísics i el Randot, la dispersió de valors és semblant (veure taula 5.1)



Gràfica 5.1: Gràfica de la mitjana i la desviació estàndard de cadascuna de les proves realitzades.

PROVES REALITZADES	MITJANA ESTEREOAGUDESA (")	DESVIACIÓ ESTÀNDAR (")
RANDOT	31,25	± 10,54
TNO	53,13	± 31,62
AJUST	35,53	± 15,11
L.ASCENDENTS	32,35	± 12,94
L.DECENDENTS	39,68	± 13,49
ESTIMULS CONSTANTS	29,37	± 11,28
LÍMITS	35,28	± 12,34
ESCALA	36,44	± 15,5

Taula 5.1: Taula on es mostra la mitjana dels valors de l'estereoagudeza i la seva corresponent desviació estàndard.

A partir d'aquest punt, donat que els valors obtinguts amb el test de Randot són més semblants als obtinguts amb la resta de mètodes psicofísics que els del TNO, agafarem els resultats del test clínic de Randot com a referent per a analitzar i comparar la resta de proves.

Respecte als valors d'estereoagudeza obtinguts pels diferents mètodes psicofísics destaca el valor que aconseguim mitjançant el mètode dels límits descendents, on la mitjana dels valors és més elevada que en la resta dels mètodes. Aquesta infravaloració de l'estereòpsia, ve propiciada perquè els estímuls, inicialment són detectats, i l'observador reportava que deixava de veure l'estímul amb antelació.

Amb el mètode dels límits ascendents succeeix el contrari, generalment s'ha observat una millor estereòpsia comparat amb els altres mètodes, ja que, l'observador tendeix a anticipar-se quan, inicialment, no pot detectar l'estímul.

D'altra banda, també és destacable el valor d'estereoagudesa obtingut amb el mètode dels estímuls constants, ja que és el que dona un valor més petit, i per tant, correspon a la millor estereòpsia registrada en termes generals. A més, la desviació estàndard és la més baixa de tots els mètodes psicofísics, només superada pel test clínic Randot.

El fet que aquest mètode doni un resultat sensiblement diferent a la resta de mètodes psicofísics pot ser deguda a que en aquest cas no existeix informació prèvia de l'estímul i per tant la resposta no està influenciada per aquest aspecte, i també al fet que el valor d'estereoagudesa s'obté a partir d'un càlcul matemàtic basat en la funció psicomètrica (50% de percepció en profunditat).

Tot i que la baixa desviació estàndard associada a aquest mètode podria indicar-nos que pot ser un mètode fiable i repetitiu de la mesura de l'estereoagudesa, el seu inconvenient principal és que requereix un temps considerable d'examen, i això fatiga a l'observador.

Un cop hem analitzat a escala global els resultats, aprofundirem en els valors individuals amb les diferents proves realitzades.

A la taula 5.2 es mostra el coeficient de correlació de Pearson (r), que ens informa sobre la correlació que hi ha entre un test i altre mitjançant un valor numèric entre 0 (cap correlació) i 1 (correlació perfecta).

TAULA DE CORRELACIÓ (r)	Randot	TNO	Ajust	L. Ascendents	L. Descendents	Estímuls Constants	Límits	Escala
Randot		0,7025	0,8461	0,9543	0,6491	0,8140	0,8073	0,8140
TNO			0,5023	0,6326	0,4757	0,6624	0,6767	0,5463
Ajust				0,8708	0,6413	0,8155	0,7604	0,8778
L. Ascendents					0,5597	0,8139	0,7829	0,7956
L. Descendents						0,7465	0,7072	0,6476
Est. Constants							0,8833	0,8459
Límits								0,8920
Escala								

Taula 5.2: Valors r calculats a partir de la correlació de cadascun dels test.

Cada valor té assignat un color diferent. Depenent del valor del coeficient " r ", es mostra d'un color o un altre segons si la correlació entre un valor i l'altre és dèbil ($r < 0,5$), moderada ($0,5 \leq r < 0,7$), o forta ($r \geq 0,7$). De color taronja s'indiquen les correlacions dèbils, de color groc les correlacions moderades, i finalment les correlacions fortes de color verd.

Fixant-nos en la taula 5.2 podem veure que generalment la correlació entre les proves realitzades és forta llevat d'un parell de casos, el test TNO i el mètode dels límits descendents.

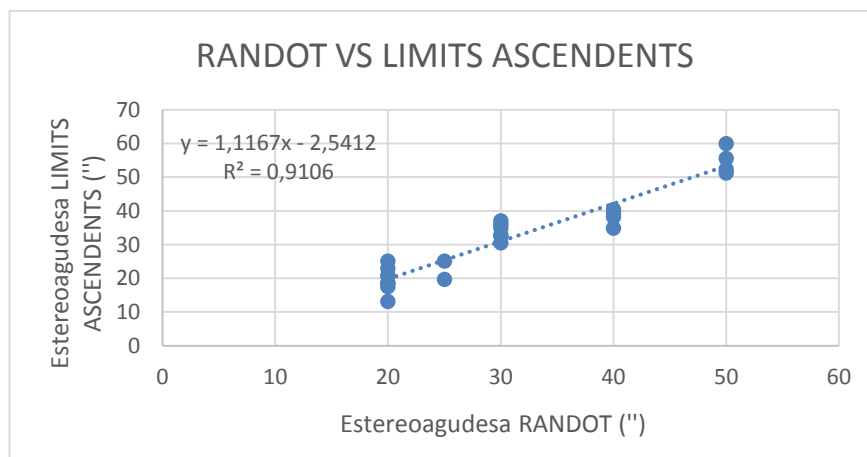
El test TNO presenta correlacions moderades amb la resta de mètodes, exceptuant el cas amb el mètode dels límits descendents, en la qual presenta una correlació dèbil.

El mètode dels límits descendents presenta correlacions fortes amb els mètodes dels límits i dels estímuls constants, i moderades amb la resta de mètodes, excepte amb el test TNO, amb el qual aquesta correlació és dèbil.

Un cop exposat això podem dir que, tant el test TNO com el mètode dels límits descendents no mostren globalment una bona correlació amb la resta de proves.

A escala general, podem dir que la resta de tests correlacionen bé entre si, i el que és més important, la majoria de correlacions es considerarien fortes.

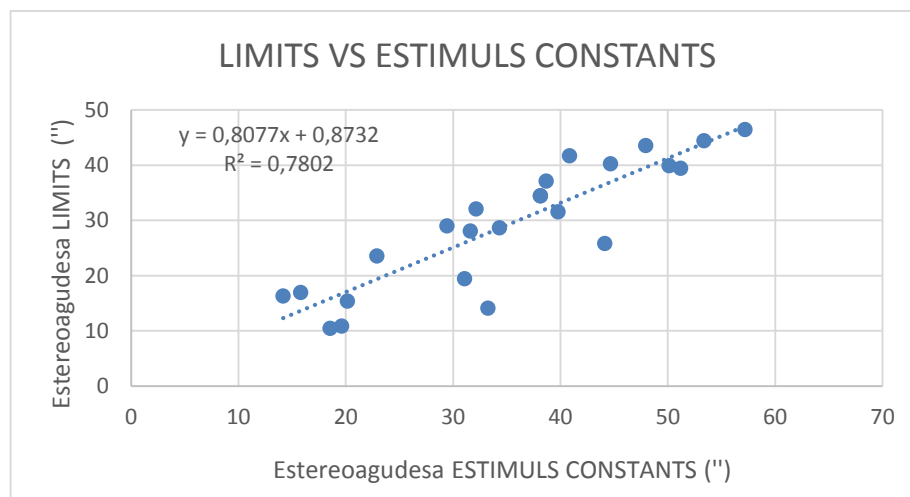
A continuació analitzarem les correlacions més fortes que hem obtingut. Primerament, analitzarem la correlació entre el test Randot i el test dels límits ascendents.



Gràfica 5.2: Gràfica on es compara els valors obtinguts pel Randot amb els obtinguts mitjançant el mètode dels límits ascendents.

Com es pot veure a la gràfica 5.2, la correlació entre els valors obtinguts pel mètode dels límits ascendents i pel Randot correlacionen molt fortament, arribant a un valor $r = 0,9543$ (R^2 de 0,9106).

Cal dir que el mètode dels estímuls constants és el que millor correlaciona amb la resta de mètodes psicofísics. Els coeficients r indiquen correlacions fortes en els cinc casos, amb valors superiors a 0,74, i una mitjana de 0,8210.



Gràfica 5.3: Gràfica on es compara els valors obtinguts pel mètode dels límits i els valors obtinguts pels estímuls constants.

A continuació valorem els resultats del paràmetre de significança p , que permet conèixer si els diferents tests o mètodes psicofísics classifiquen de la mateixa manera la població dels 24 pacients que han col·laborat en aquest estudi. Si el valor de p obtingut és menor a 0,05 podem afirmar, amb una certesa del 95%, que existeixen diferències significatives en aquesta classificació entre els mètodes comparats.

Un dels inconvenients en realitzar aquesta classificació dels pacients en intervals d'estereoagudesa és que els rangs de mesura dels mètodes psicofísics, del test Randot i del test TNO són diferents, i per tant hem de generar diferents taules, en les quals, la classificació de l'estereoagudesa sigui l'adequada. Els intervals per fer la classificació s'han d'escollir de tal manera que en tots els intervals ha d'haver com a mínim un pacient; en cas contrari no és possible calcular el valor de significança p .

El TNO és el test que discrimina menys de tots els tests i mètodes psicofísics utilitzats, ja que és el que té un nombre més petit de valors d'estereoagudesa per fer una classificació dels pacients. Els 4 intervals que s'han utilitzat en aquesta classificació per tal de poder

fer comparacions amb la resta de proves són els següents: $\leq 15''$; entre $15,01''$ i $30''$; entre $30,01''$ i $60''$; $> 60''$.

El test Randot permet fer una classificació una mica més acurada, i els 5 intervals d'estereoagudeses que es poden establir són els següents: $\leq 20''$; entre $20,01''$ i $29,99''$; entre $30''$ i $39,99''$; entre $40''$ i $49,99''$; $\geq 50''$.

Pel que fa als mètodes psicofísics, s'han hagut de considerar els següents intervals per fer la classificació dels pacients: $\leq 15''$; $15,01''$ a $29,99''$; $30''$ a $40''$; $> 40''$. Encara que aquests mètodes no donen valors d'estereoagudeses en una escala discreta, com és el cas dels tests clínics Randot i TNO, sinó que donen valors d'una escala contínua, no s'han pogut establir més intervals. La raó ha estat que amb altres intervals, sempre hi havia algun mètode que no tenia cap pacient classificat en algun d'aquests intervals, i per tant no permetia el càlcul del valor **p**. A més, hem volgut establir uns intervals que servissin pels 6 mètodes psicofísics, sense haver de canviar-los en cada cas, per tal de fer més entenedors tant els resultats com les conclusions.

A continuació, en la següent taula es presenten els valors de **p**, comparant dos a dos els mètodes psicofísics de mesura de l'estereoagudeses. Cal destacar a la taula 5.3 el mètode dels límits descendents, que presenta diferències significatives respecte altres tests, el que, conjuntament amb l'esmentat amb anterioritat, el converteix en el test que més variabilitat de valors pot donar.

Podem detectar de manera clara que el test del TNO, també classifica els pacients de forma molt diferent a la que ho fan la resta dels mètodes psicofísics. Tal com s'havia comentat, el test TNO presenta no només una baixa correlació amb la resta de proves, sinó que també classifica els pacients de forma diferent.

VALOR P	RANDOT	TNO	AJUST	L.ASCENDENTS	L.DECENDENTS	ESTÍMULS CONSTANTS	LÍMITS	ESCALA
AJUST	0,066771	0,011069	1,000000	0,354663	0,078843	0,354663	0,890686	0,961588
L.ASCENDENTS	0,700334	0,000002	0,271224	1,000000	0,000118	0,217300	0,423500	0,297077
L.DECENDENTS	0,000061	0,032072	0,094873	0,001626	1,000000	0,000764	0,079551	0,084995
ESTÍMULS CONSTANTS	0,203815	0,000014	0,350970	0,592407	0,000111	1,000000	0,194737	0,461399
LÍMITS	0,122937	0,001865	0,774393	0,453124	0,073690	0,069717	1,000000	0,656873
ESCALA	0,086888	0,007383	0,962692	0,428819	0,076593	0,532652	0,749580	1,000000

Taula 5.3: Valors de significança (p) dels diferents mètodes psicofísics

Si es prenen com a referència els intervals i les classificacions fetes pels tests clínics TNO i Randot s'observa que el TNO i el Randot són test que classifiquen de manera diferent les

estereoagudeses dels individus, però curiosament, amb la resta de mètodes psicofísics sembla que no existeixen diferències significatives alhora de classificar en aquest rang de mesura.

VALOR P	RANDOT	TNO	AJUST	L.ASCENDENTS	L.DECENDENTS	ESTÍMULS CONSTANTS	LÍMITS	ESCALA
TNO	0,0004	1,0000	0,8399	0,1259	0,1012	0,3003	0,0515	0,7939

Taula 5.4: Valors de significança (p) del test TNO

En la taula que es mostra a continuació es compara el test Randot amb la resta de proves realitzades. Alhora de classificar els individus en diferents rangs de valors d'estereoagudeses, els mètodes psicofísics que millor s'ajusten a la classificació que s'obté per el test Randot, són: el mètode de l'ajust, el dels límits ascendents, el dels estímuls constants i el dels límits, però no podem dir el mateix del TNO, del mètode dels límits descendents i de l'escala al indicar que, respecte al Randot, s'observen diferències significatives.

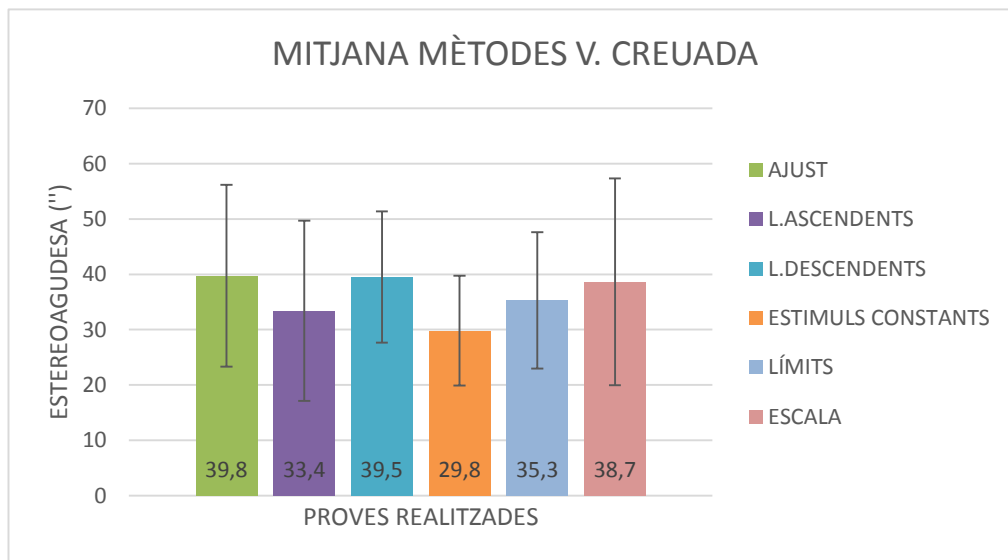
VALOR P	RANDOT	TNO	AJUST	L.ASCENDENTS	L.DECENDENTS	ESTÍMULS CONSTANTS	LÍMITS	ESCALA
RANDOT	1,000000	0,000001	0,081460	0,052380	0,015309	0,060066	0,406006	0,024753

Taula 5.5: Valors de significança (p) del test Randot

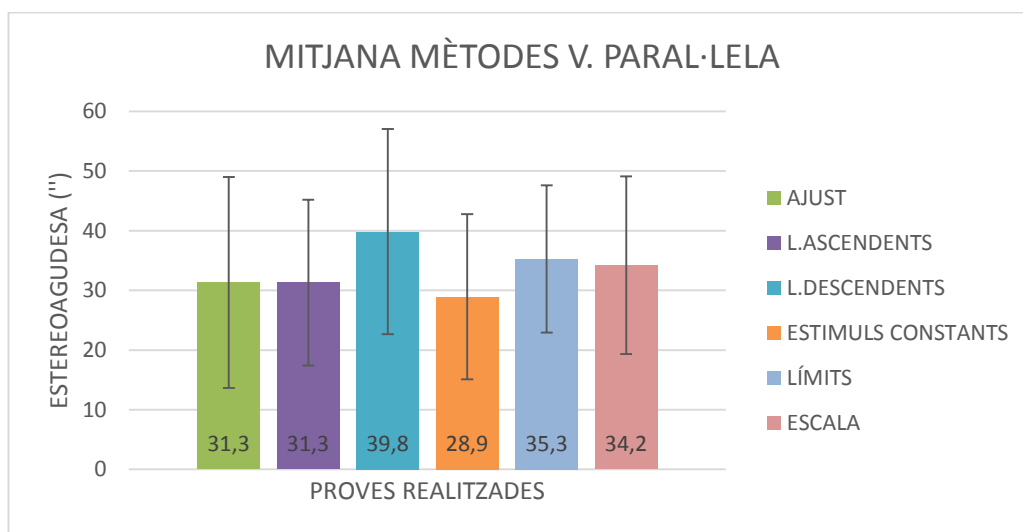
D'aquestes taules, podem concloure que el test del TNO presenta la variabilitat més elevada en quant a resultats, però tot i així és capaç de classificar dintre d'uns rangs determinats.

Tenint com a referència el test de Randot, el mètode psicofísic que més correlaciona amb la resta de proves i millors resultats s'obté equiparables al test Randot, és el mètode dels límits, conjuntament amb el mètode dels límits ascendents i el mètode dels estímuls constants.

Els valors que s'han comparat, procedien de la mitjana de tots els resultats obtinguts. Tot seguit, farem una anàlisi que compara els valors obtinguts per cada un dels mètodes però diferenciant si són valors d'estereoagudeses en visió creuada, és a dir, es percebran més proper de l'estímul de referència, o en visió paral·lela.



Gràfica 5.2A: Gràfica de les mitjanes dels valors obtinguts pels mètodes psicofísics, concretament els que presenten estímuls en visió creuada.



Gràfica 5.2B: Gràfica de les mitjanes dels valors obtinguts pels mètodes psicofísics, concretament els que presenten estímuls en visió paral·lela.

Comparant la gràfica 5.2A amb la gràfica 5.2B es detecta un petit decreixement dels valors en visió paral·lela. Cal afegir que el mètode dels límits perdrà rellevància en aquest tractament de les dades, ja que considerem que en aquest mètode s'aplica la visió creuada i la visió paral·lela conjuntament i no es pot fer una distinció dintre del mateix algoritme. Tot i així, es mostra el resultat a la taula per poder prendre com a referent de comparació.

Durant l'experiment s'ha observat que els estímuls es detectaven abans quan es presentaven en visió paral·lela que en visió creuada, fet que justifica les variacions entre les mesures en visió creuada i paral·lela.

A la Taula 5.6 es detecta que la diferència entre els valors que s'obtenen mitjançant els mètodes psicofísics en visió creuada i visió paral·lela són significatives. Concretament, el mètode de l'ajust, el mètode dels límits descendents, i el mètode de l'escala, presenten diferències significatives.

En canvi, el mètode dels límits ascendents i el mètode dels estímuls constants no presenten fluctuacions en aquest sentit.

El fet que la majoria d'observadors tingués més dificultat a l'hora de detectar més els estímuls en visió creuada que en visió paral·lela podria ser una de les causes d'aquestes diferències.

VALOR P	AJUST	L.ASCENDENTS	L.DECENDENTS	ESTÍMULS CONSTANTS	ESCALA
	0,00	0,77	0,01	0,05	0,04

Taula 5.6: Valors de significança entre els mètodes que utilitzen estímuls en visió creuada i els que utilitzen estímuls en visió paral·lela.

A la taula 5.7 es mostra la correlació existent entre els valors obtinguts pels estímuls presentats en visió creuada amb els de visió paral·lela de cadascun dels mètodes psicofísics.

TAULA CORRELACIÓ VISIÓ CREUADA VS. VISIÓ PARAL·LELA						
	Ajust	L. Ascendents	L. Descendents	Estímuls Constants	Límits	Escala
Ajust	0,5706	0,6635	0,4282	0,6547	0,7321	0,6854
L. Ascendents	0,4279	0,4672	0,2375	0,6078	0,7576	0,5073
L. Descendents	0,4493	0,4580	0,7146	0,7549	0,7738	0,5067
Est. Constants	0,5883	0,5815	0,4740	0,7961	0,8498	0,6730
Límits	0,6114	0,5978	0,4872	0,8223	1,0000	0,8077
Escala	0,5814	0,5220	0,4873	0,7480	0,8426	0,6992

Taula 5.7: Valors r, obtinguts de la correlació entre els mètodes en visió creuada i els mètodes en visió paral·lela.

En la taula anterior s'afegeix el mètode dels límits per comparar amb la resta de mètodes, ja que el mètode dels límits és una combinació d'estímuls que són vistos en visió creuada i en visió paral·lela.

Un cop comentat això, si ens fixem en la Taula 5.7, podem veure que es mostren moltes correlacions dèbils i moderades, on les correlacions més fortes són en el mètode dels

estímuls constants i en el mètode dels límits, que tal com havíem dit amb anterioritat, és un test on s'inclou mesures en visió creuada i en visió paral·lela.

Tornant al mateix comentari realitzat anteriorment, experimentalment es va detectar una predisposició a detectar més aviat l'estímul que es presenta en visió paral·lela, és a dir, els estímuls que es perceben més lluny.

Cal destacar que el mètode que millor correlaciona, descartant el mètode dels límits per ser un mètode no comparable en aquesta anàlisi, és el mètode dels estímuls constants. La particularitat d'aquest mètode és que l'observador mai podrà anticipar-se en la seva resposta, ja que tots els estímuls són a l'atzar, i per tant, podem dir que aquesta és la raó per la qual, en aquest mètode, les correlacions són més fortes que en la resta de mètodes.

6. CONCLUSIONS

6.1 Conclusions generals

Com a primera conclusió hem de destacar que s'ha complert el primer dels objectius plantejats al treball que era dissenyar i crear un programa d'ordinador capaç de mesurar empíricament l'estereoagudesa, aplicant diferents mètodes psicofísics.

Durant la realització d'aquest experiment, s'ha pogut comprovar que el programa era adient per verificar o contradir el conjunt d'hipòtesis que ens havíem plantejat en un principi.

Els resultats obtinguts pels diferents mètodes de mesura no han estat iguals entre sí, sinó que s'han observat petites variacions segons el mètode psicofísic utilitzat, i fins i tot, utilitzant el mateix mètode psicofísic s'han obtingut resultats diferents, per visió paral·lela i per visió creuada, probablement degut al fet que l'ull humà és un detector físic imperfecte, amb fluctuacions.

Un exemple clar d'aquesta variació deguda a l'algorisme de realització surt de comparar els mètodes psicofísics dels límits ascendents, dels límits descendents i el mètode dels límits, on en el mètode dels límits descendents, generalment s'obtenen valors més elevats d'estereoagudesa, i en el mètode dels límits ascendents s'obtenen valors més baixos. La raó que ho justifica, probablement, és el fenomen de l'anticipació, que ja hem descrit en apartats anteriors.

Pel que fa al mètode dels límits, els valors se situen entre els valors d'aquests dos mètodes, cosa que era previsible, donat que el mètode dels límits consta en realitat de la determinació dels límits en sentit ascendent i en sentit descendent.

Tot i presentar aquestes fluctuacions, s'ha mantingut una correlació forta entre la majoria dels valors d'estereoagudesa dels 24 individus, obtinguts amb els diferents mètodes de mesura.

En comparació amb un parell de tests estàndards d'estereoagudesa habitualment utilitzats en clínica (Randot i TNO), s'ha observat que no tots els mètodes psicofísics mantenen una bona correlació amb els tests clínics, sobretot amb el test TNO, on s'obtenen pitjors correlacions amb la majoria dels mètodes psicofísics.

El test Randot ha presentat una bona correlació amb la resta de mètodes a excepció del mètode dels límits ascendents, que generalment, d'entre tots els mètodes psicofísics, és el que pitjor correlació presenta.

Podem dir que les fluctuacions degudes als mètodes psicofísics, tot i ser presents, clínicament estaríem parlant de mètodes que mesuren de manera adequada l'estereoagudesesa, si agafem com a referent el test Randot.

Les bones correlacions entre els diferents mètodes psicofísics i el test Randot ens indicarien una clara relació entre l'estereoagudesesa en visió de lluny i en visió de prop, però al mateix temps, les baixes correlacions entre aquests mateixos mètodes i el test TNO ens indicarien justament el contrari. Per tant no podem arribar a una conclusió contundent en aquest sentit

Respecte a la classificació dels pacients per intervals d'estereoagudesesa s'ha comprovat que no existeixen diferències significatives comparant els mètodes psicofísics entre sí, exceptuant el mètode dels límits descendents.

Si fem aquesta mateixa comparació de les classificacions obtingudes amb els tests clínics més utilitzats, en relació a la classificació feta pels 6 mètodes psicofísics, arribem a la conclusió que generalment els valors no presenten diferències significatives en el cas del test Randot, però sí en el cas del test TNO.

Si l'anàlisi el fem en sentit contrari, de manera que comprovem si els mètodes psicofísics classifiquen de la mateixa manera que el test TNO, arribem a la conclusió que classifiquen de forma correcta als pacients en diferents grups. L'explicació d'aquest comportament diferent en fer l'anàlisi en un sentit o l'altre es veu fortament influenciat pel caràcter discret de les mesures del test TNO, que obliga a fer una distribució d'intervals d'estereoagudesesa diferent en un cas i en l'altre.

Durant l'experiment s'ha detectat una tendència que indicava, que els estímuls presentats en visió paral·lela eren vistos amb antelació, i sense cap esforç.

A causa d'aquest fenomen, hem analitzat si existien diferències significatives entre els valors obtinguts en visió creuada i en visió paral·lela, i hem arribat a la conclusió que, exceptuant el mètode dels límits, no comparable en aquesta anàlisi, i el mètode dels estímuls constants, únic test on la resposta de l'observador no està influenciada, són els únics test que no presentaven diferències significatives entre aquests dos paràmetres, mentre que en la resta de mètodes, sí que existia una diferència significativa.

Un possible causa d'aquest fenomen, és que, el test presentat duran els mètodes psicofísics presenta una pista monocular, concretament, la perspectiva geomètrica. El test presentat consisteix en un quadrat envoltat d'un altre quadrat, havent-hi una separació entre els dos. Aquest quadrat centra, que és l'element que pateix el decalatge, es trobaria en un punt de fuga respecte al quadrat que l'envolta, és a dir, fa un efecte "túnel".

6.2 Limitacions i crítica

Durant la realització del treball ens hem trobat amb diferents obstacles que limiten tant la veracitat dels resultats que s'exposen com les hipòtesis que hem formulat.

Un dels primers obstacles va ser amb el color els quals havia d'estar formada la imatge amb efecte "3D". Primer de tot, els colors no són del tot erronis, però els filtres no absorbeixen la totalitat de la longitud d'ona, tot i així els resultats són satisfactoris a l'hora de percebre estímuls en profunditat.

Com a punt negatiu, podem afegir que no es va comprovar si els colors que mostrava el programa eren realment de la longitud d'ona desitjada, per tant, per tal de millorar la veracitat i el rigor d'aquest estudi es podria haver mesurat amb un espectròmetre que els colors que es mostraven a la pantalla eren exactament el que es pretenia mostrar. L'altre punt negatiu, comentat amb anterioritat, és la combinació de colors i el filtre utilitzat, que dista de ser la millor opció per un estudi que requereix una precisió molt elevada.

L'altre gran problema és la grandària del píxel, que ve determinat per la resolució de la pantalla i la grandària de la mateixa. Les pantalles estàndard, com la nostra tenen una resolució de 1280x1024 i una grandària de píxel d'uns 0.2 mm, fent un petit càlcul s'estima que es necessiten un 2 metres per a què la mesura més fina possible sigui d'uns 20"-30" d'arc. Aquest valor oscil·la al voltant del valor normal de l'estereoagudesesa. Per tal d'obtenir una mesura adequada, s'ha de poder mostrar estímuls que es vegin en profunditat i també una sèrie d'estímuls que presentin disparitat binocular però que no siguin vistos per l'observador.

A la distància de 2 metres el número d'estímuls amb disparitat binocular que teòricament no podem veure seria molt reduït, i per tant, s'ha d'augmentar la distància d'observació.

Si ens allunyéssim més, es podrien mesurar estereoagudeses més baixes i els valors serien més precisos.

Amb la pantalla utilitzada i la distància d'observació (5 m) podem mesurar l'estereoagudesesa en passos de 10" d'arc.

Super Hi Vision vs Full HD

	SUPER HI VISION / 8K ULTRA HD	4K ULTRA HD	FULL HD
RESOLUTION (PIXELS)	7680 wide x 4320 high	3,840 wide x 2,160 high	1920 wide x 1080 high
TOTAL PIXELS	33 million	8 million	2 million
FRAME RATE	120 frames per second	50 or 60 frames per second	50 or 60 frames per second
STANDARD VIEWING DISTANCE	0.75 x screen height	3 x screen height	3 x screen height
STANDARD VIEWING ANGLE	100°	60°	60°
AUDIO CHANNELS	22.2	5.1	5.1

[5] **Taula 6.1** Taula on es mostren diferents resolucions segons la pantalla, la pantalla que es fa servir en l'estudi utilitza una resolució menor a "FULL HD".

Cal dir que la resolució de les pantalles va augmentant i en un futur no molt llunyà, la resolució de les pantalles serà molt més elevada. Suposant que utilitzéssim una pantalla 8K, aquesta tindria una resolució de 7680x4320 i fent un petit càlcul la grandària del píxel seria d'uns 0,045 mm i aconseguiríem una estereoagudesesa mínima de 4,5" a la distància de dos metres. Per tant, per poder millorar les mesures s'haurien de realitzar en una pantalla d'una resolució superior, perquè la visió estereoscòpica és realment sensible i amb poc desplaçament d'una imatge respecte l'altre percebem l'estímul en profunditat.

L'altre aspecte a millorar és la veracitat dels resultats obtinguts. Es compara els resultats amb mesures realitzades amb el TNO i el Randot, que són els exàmens clínicament més utilitzats, per fer l'estudi més rigorós, hagués afegit la mesura de l'estereoagudesesa mitjançant l'aparell Howard-Dolman, que mesura l'estereoagudesesa físicament, i podem obtenir valors d'estereopsis fins a 4" d'arc [8][9].

A part d'això, s'ha comprovat en un estudi, que mitjançant correlació d'imatges digitals, que el test de Randot els resultats presentaven desviacions respecte a el que indicava el test, i per tant les mesures no eren 100% correctes^[11]. Tenint en compte això, també s'hauria de fer un calibratge estereoscòpic del meu test.

D'aquesta manera podríem justificar si el programa seria vàlid o no per la mesura clínica de l'estereoagudeses.

Un altre punt negatiu està relacionat amb la mesura mitjançant diferents metodologies, l'estudi s'ha fet durant una única sessió, això si, amb una petita pausa per mitigar l'efecte fatiga, tot i així crec que l'estudi es podria haver fet en diferents fases per tal de no fatigar tant a l'observador.

La mostra seleccionada podria haver estat més gran i en un rang d'edats més amplia perquè no s'ha fet una campanya de captació de pacients i el grup estudiat van ser voluntaris, majoritàriament estudiants d'òptica i optometria de la FOOT.

6.3 Perspectives futures de treball

El programa de mesures es podria tornar a utilitzar en un futur però a una quantitat major de població, utilitzant un rigor científic més elevat, controlant tant els colors com els desplaçaments entre imatges, i utilitzant pantalles d'alta resolució. Tot això implica la possibilitat que el mateix test es pugui utilitzar de manera clínica, tot i que és menys pràctic utilitzar. I encara s'hauria de comprovar si seria un bon mètode de mesura per a nens d'entre 4 i 8 anys.

Respecte a una possible aplicació o una altra línia d'investigació al respecte, seria utilitzar el mateix MATLAB per tal de realitzar altres tipus de test.

Es podria dissenyar un test per a la detecció i classificació d'anomalies en la visió del color, creant imatges isocromàtiques per a cada defecte del color, o bé programant un anomaloscopi de nagel per tal de poder fer una classificació d'aquest tipus de anomalies.

Una altra idea és poder utilitzar la versatilitat del programa per crear diferents rutines de teràpia visual depenent del problema a tractar. D'aquesta manera, es podria utilitzar aquest tipus de rutina a casa, ja que es tracta d'un programa d'ordinador, i es podria instal·lar fàcilment i portar a terme un seguiment de la teràpia a casa d'una manera controlada i eficaç si s'explica amb antelació al pacient.

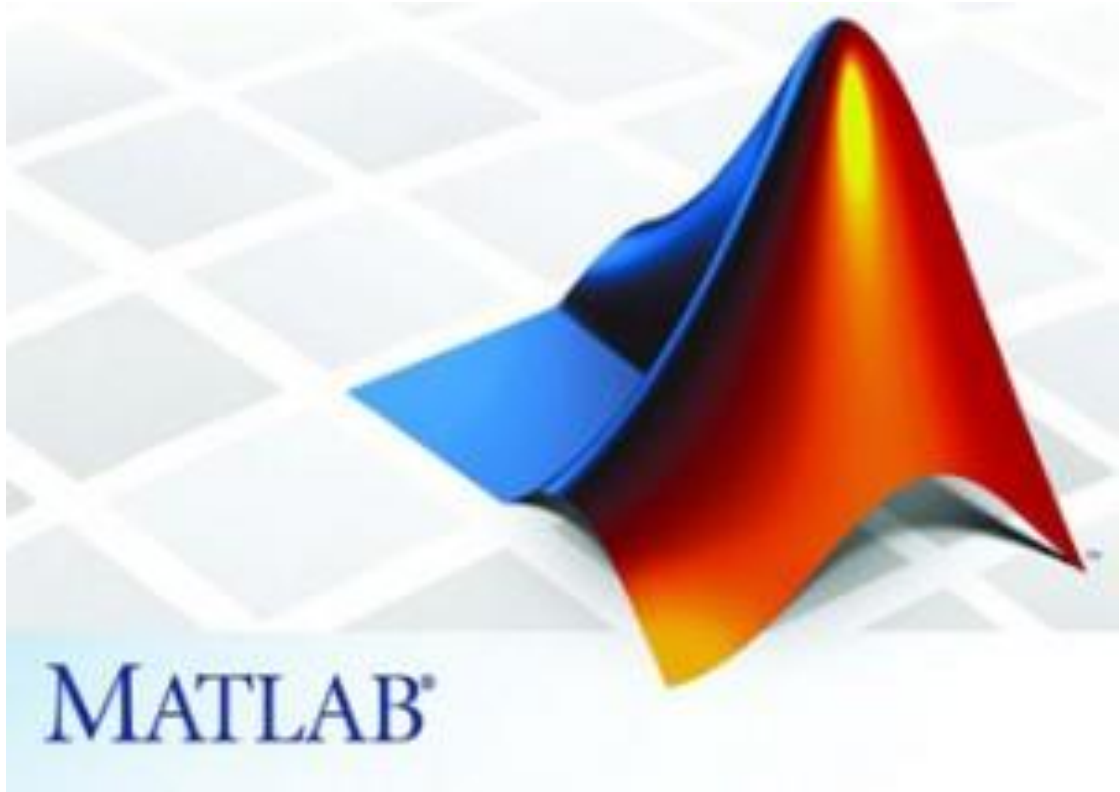
7. BIBLIOGRAFIA

- [1] **SCHWARTZ S.H. Psychophysical Methodology.** En su: Visual perception: A clinical orientation. 4ª Ed. Estados Unidos: McGraw-Hill; 2010. Cap. 11, pp. 237-258.
- [2] **T.NORTON, Thomas., A. CORLISS, David., and E.BAILEY , James.** The Psychophysical Measurement of Visual Function. Woburn: Butterworth Heinemann; 2009. , pp. 1-34.
- [3] **EHRENSTEIN, Walter H., and EHRENSTEIN, Addie.** Psychophysical Methods. En: WINDHORST, Uwe., JOHANSSON, Hakan. Modern Techniques in Neuroscience. Berlin: Springer; 1999. Cap 43, pp 1211-1240.
- [4] **ARTIGAS J.M., CAPILLA P., FELIPE A., PUJOL J.** Óptica fisiológica. Psicofísica de la visión. España: Interamericana McGraw-Hill; 1995. Cap 2, pp 525-539.
- [5] **LANE,Alex.** What are Super Hi-Vision, Ultra HD, 4K and 8K TV? [Internet].[Lloc desconegut]:[Editorial desconegada]; 2013 [citat el 30 Gener de 2013]. Disponible en: ^, consultat el 15 de Juliol de 2014.
- [6] **ORNSTEAD, Gene.** Una introducció a 4K: Un salt profund a la claritat per a usuaris professionals i més [Internet]. California: ViewSonic Corporation; 2014 [citat el 3 de Març de 2014]. Disponible en: http://www.viewsonic.com/documents/white_papers/An-Intro-To-4k-lowres-spc.pdf, consultat el 15 de Juliol de 2014.
- [7] Vancouver Citation Style [Internet]. Vancouver: Vancouver Community College Library; 2009 [actualitzat el 2 de Juliol de 2009]. Disponible en: http://library.vcc.ca/downloads/VCC_VancouverStyleGuide.pdf consultat el 15 de Juliol de 2014.
- [8] **P.HOWARD., J.ROGERS, Brian.** Binocular Vision and Stereopsis. New York: Oxford University Press;1995.
- [9] **P.HOWARD., J.ROGERS, Brian.** Perceiving in Depth: Stereoscopic Vision Vol 2. New York: Oxford University Press;2012.
- [10] **HALL, Chris.** The relationship between clinical stereotest. Ophtal. Physiol. Opt Octubre 1981; Vol, 2, No.2. pp. 135-143.
- [11] **TÀPIAS, M., MIJTÀ, C., ÀLVAREZ, J.L., RALLÓ, M., BIGOURD, C., ABRIL, H.** Calibrado de estereotest mediante correlació de imàges digitals. Pòster presentat a la VII Reunió Nacional d'Òptica, Alicante, España: Setembre 2006.

- [12] **YAMADA, Tomohiko., SCHEIMAN, Mitchell., and MITCHELL, G.Lynn.** A comparison of stereopsis testing between red/green targets and polarized targets in children with normal binocular vision. *Optometry*. 2008: 79, 138-142.
- [13] **HOFFMANN, Andreas., MENOZZI, Marino.** Applying anaglyphs for the assessment of stereopsis to a PC-based screening System. *Displays*. 1999: 20(1). 31-38.
- [14] **CINTA PUEL MARÍN, M.** Óptica Fisiológica: El sistema óptico del ojo y la visión binocular. Madrid: Universidad Complutense de Madrid; 2006. Cap. 9, pp. 215-250.
- [15] **ÀLVAREZ, J.L., TÀPIAS, M.** Tema 9: Distancia visual [Internet] (accés 12 d'agost de 2014). Disponible en:
<http://ocw.upc.edu/sites/default/files/materials/15012698/35172-4331.pdf>
- [16] Estereoscopia y visión en 3D [Internet]. (Accés el 20 d'agost de 2014). Disponible en:
<http://sophia.javeriana.edu.co/~cbustaca/Realidad%20Virtual/material/clase14/estereoscopia.pdf>
- [17] **SERGIO ALBORNOZ M., FRANCISCA CASTRO F., IGNACIO CERNA S., NICOLE HERRERA T., TOMAS LILLO S.** Estereopsís y test de estereopsís. [Internet][Chile]:Escuela de Tecnología Médica; 2012. Disponible en:
<http://www.slideshare.net/tomaxxx99/estereopsis-y-test-de-estereopsis>.
- [18] **MORÁN TIRADOR D., VALLADARES FERNDÁNDEZ L., VALLO MIRÁS O:** Valoración de la visión estereoscòpica con Test Lang I y Lang II en espectadores de pel·lícules 3D en el IMAX de Madrid.[Internet] (Accés el 12 d'agost de 2014)[Madrid]: COI; 2012. Disponible en:
<http://www.fundacionvisioncoi.es/TRABAJOS%20INVESTIGACION%20COI/9/4w%20estereo%20en%20IMAX.pdf>
- [19] **BORRÀS, M.R., CASTAÑE, M., ONDATEGUI, J.C., PACHECO ,M., PERIS, E., SÁNCHEZ, E., VARÓN, C.:** Optometria. Manual de exámenes clínicos. Terrassa: EDICIONES UPC; 1999. Cap. 5, pp. 107-157.

8. ANEXOS

ANEXO 1: Creació del programa amb MATLAB.



MATLAB és un software matemàtic orientat cap al càlcul numèric científic i d'enginyeria. Aquest programa integra càlcul numèric, computació de matrius i gràfics en un entorn de treball còmode per a l'usuari. El nom significa Laboratori de matrius (MATrix LABoratory), per tant, aquest programa està especialment dissenyat per operar amb vectors i matrius. Cal a dir que té un llenguatge de programació propi.

1. Creació del menú principal

Un cop entrem en el programa, veiem una interfície bastant complexa, en aquest annex em centraré exclusivament en els mòduls utilitzats durant la realització del programa de mesura de l'estereoagudeses mitjançant diferents mètodes psicofísics.

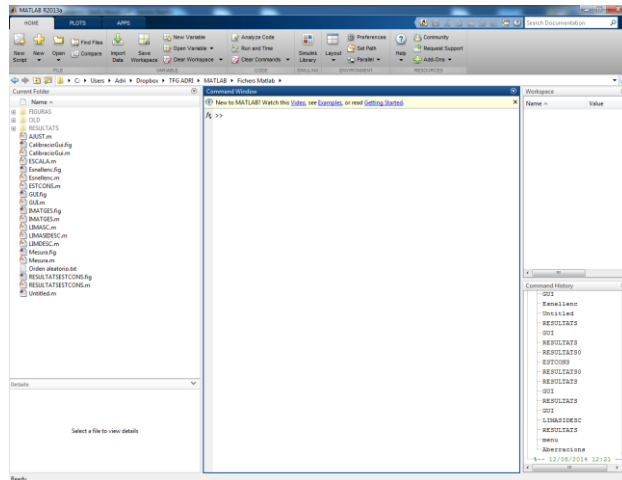


Figura 8.1: Pantalla inicial del MATLAB, a la barra superior està situat el menú en el qual podem seleccionar obrir un document i crear un de nou. A la part esquerra de la pantalla està seleccionat el directori principal, on es guardaran tots els arxius creats. I a la part central de la finestra de comandes, on s'introdueixen les fórmules i les variables.

Primer de tot crearem la interfície del programa, per tal de poder crear una interfície crearem el que el programa anomena, "Graphical User Interface" o GUI.



Figura 8.2: En el mateix programa hi ha un mòdul per a crear interfícies gràfiques.

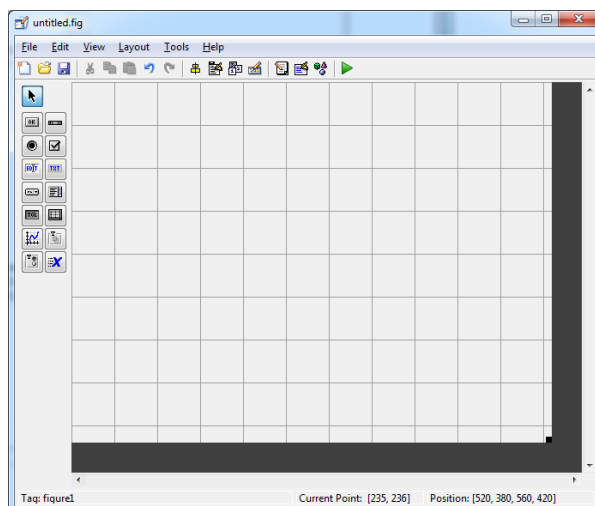


Figura 8.3: Editor d'interfícies que proporciona MATLAB

Com es pot veure a la figura, es mostra una graella buida, a la part esquerra de l'editor trobem cadascun dels elements que podem introduir en la interfície.

Per tal de realitzar les interfícies necessàries per poder fer el programa més fàcil d'utilitzar he fet servir els elements que es mostren a la següent imatge.

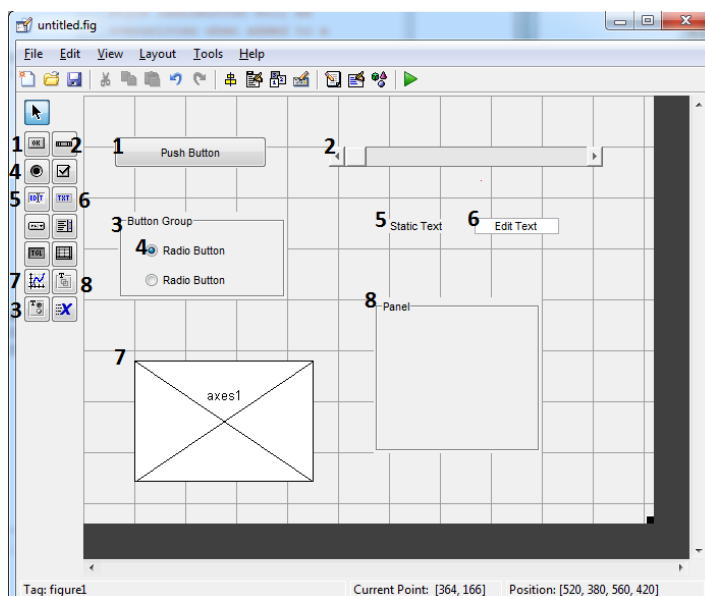


Figura 8.4: Editor d'interfícies amb els elements principals introduïts.

Tot seguit s'explicarà els elements principals d'una interfície MATLAB.

1. **Push button:** Aquest element permet realitzar una acció en quan cliquem en el mateix element, aquesta acció pot ser obrir algun arxiu, guardar o fer qualsevol operació matemàtica.
2. **Slider:** Aquest element permet seleccionar un valor comprès entre dos valors d'una manera senzilla utilitzant una barra que pot ser ajustada manualment. Un cop s'ha creat aquest element, podem modificar el valor màxim, el mínim, i els passos que realitzarà
3. **Botton group:** Aquest element permet la introducció de diferents elements com "Radio Button", per tal de què sol un d'aquests elements es pugui seleccionar.
4. **Radio Button:** Aquest element és assemblat al "Push button" però amb forma circular, que quan es seleccionat, l'interior del cercle es torna de color blau.
5. **Static Text:** Aquest element serveix per introduir textos a la interfície.
6. **Edit Text:** Aquest element serveix per introduir valors numèrics, o bé per mostrar un valor numèric determinat.
7. **Axes:** Aquest element s'utilitza per generar figures, gràfiques o taules.
8. **Panel:** Aquest element s'utilitza per organitzar la resta d'elements.

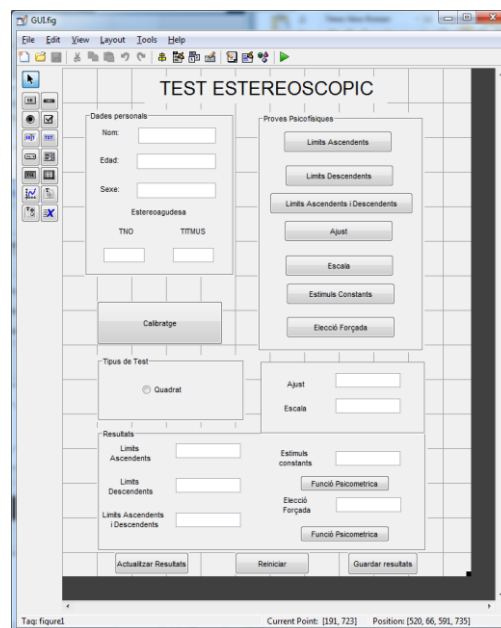


Figura 8.5: Interfície principal del programa.

En aquesta figura es mostra la interfície del programa finalitzada, construïda a partir dels elements citats anteriorment. Aquesta figura es guarda en dos formats, el format .fig, que és el que guarda la distribució d'aquests elements, i en format .m, que és el format on està escrit en llenguatge MATLAB. Aquest arxiu s'anomena GUI.fig i GUI.m.

A continuació es mostrarà la part del codi més important.

```
48 function GUI_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
49 % This function has no output args, see OutputFcn.
50 % hObject handle to figure
51 % eventdata reserved - to be defined in a future version of MATLAB
52 % handles structure with handles and user data (see GUIDATA)
53 % varargin command line arguments to GUI (see VARARGIN)
54
55 % Choose default command line output for GUI
56 handles.output = hObject;
57
58 % Update handles structure
59 guidata(hObject, handles);
60
61 % UIWAIT makes GUI wait for user response (see UIRESUME)
62 uiwait(handles.figure1);
63 global FolderFIG FolderRES pi
64
65
66 %-----CREACIÓ DE CARPETES-----
67 [stat, struc] = fileattrib: %Directori on es troben els arxius principals
68 PathCurrent = struc.Name;
69 mkdir(PathCurrent, '/FIGURAS'); % ES crea la carpeta FIGURAS
70 mkdir(PathCurrent, '/RESULTATS'); % ES crea la carpeta RESULTATS
71 FolderFIG=[PathCurrent '/FIGURAS/']; %Directori carpeta FIGURAS
72 FolderRES=[PathCurrent '/RESULTATS/']; %Directori carpeta RESULTATS
73 pi=3.14159265358979323846; %Numero pi
74
```

Figura 8.6: Part del codi de l'arxiu GUI.m. Aquest codi s'iniciarà un cop s'obri la figura GUI.fig.

Primer de tot, es comentarà la funció "global", una funció molt important, ja que aquesta funció guarda totes les variables i les pot traslladar a altres mòduls sense tornar a calcular-les o introduir-les.

Posteriorment es creen les carpetes FIGURAS i RESULTATS al directori principal, i es defineix el valor de pi, un cop fet això, mitjançant la funció "global" es guarda el directori de les carpetes i el valor de pi.

2. Creació del menú “Calibratge del Color”

Els elements que formen part de la figura creada també tenen el seu codi assignat. En aquest cas, el codi és un “Callback” que significa, trucada de tornada. Per simplificar-ho una mica, el codi que s’escriu en un “Callback” s’executarà un cop hem accionat l’element en qüestió, ja sigui un “Push Button” o un “Slider”.

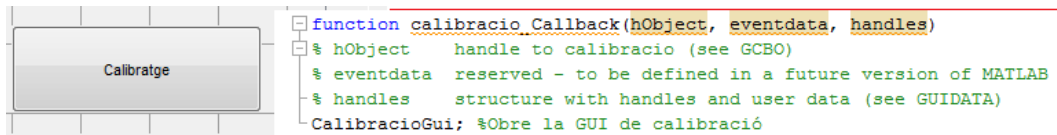


Figura 8.7: Codi del “Push button” Calibratge.

Aquest codi és curt, simplement en prémer en el botó Calibratge s’obrirà una altra GUI anomenada CalibracioGui.

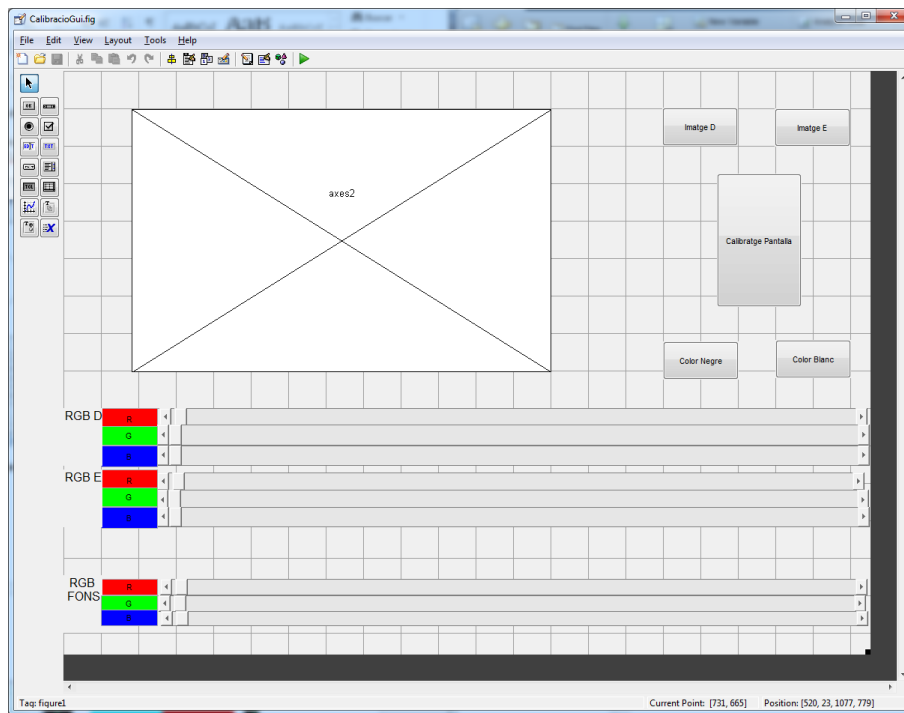


Figura 8.8: Interfície de l’arxiu CalibracioGui.fig

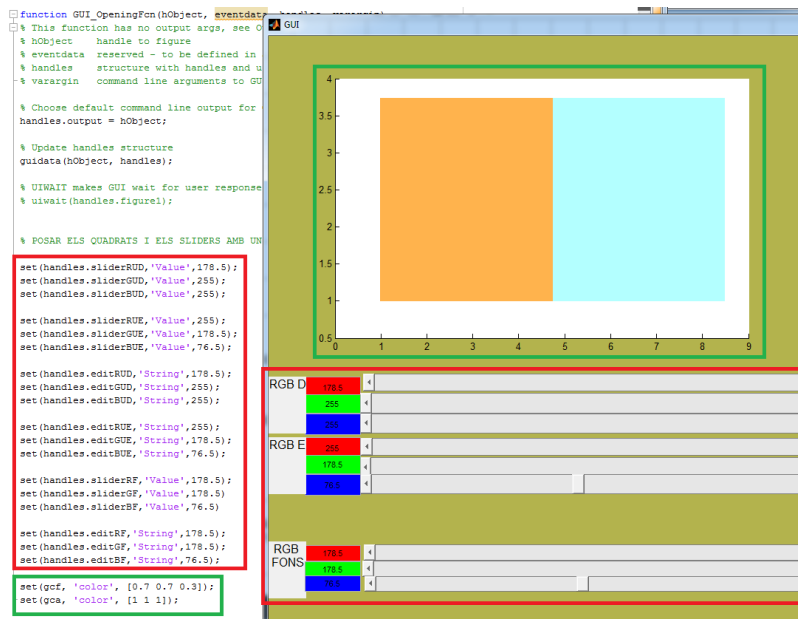


Figura 8.9: Part del codi de l'arxiu CalibracioGui.m, corresponent a la funció "OpeningFcn", que s'executa sempre quan s'obre la figura.

Aquest codi s'executarà en tan bon punt s'obri la figura CalibracioGui.fig. En el requadre de color vermell s'està indicant quin han de ser els valors de R, G i B en els "Sliders" i en les caselles adjuntes a cada color, que indiquen el valor exacte d'aquest "Slider". Durant la realització de proves empíriques s'ha comprovat que aquests colors, són adients per a la visualització d'imatges en 3D amb ulleres anaglífiques amb la mínima percepció d'imatge fantasma.



Figura 8.10: Codi d'un "Slider", concretament del "Slider" que controla el color vermell (R) del requadre dret.

Aquest “Slider” té com a valor mínim 0, i com a valor màxim 255, que és el rang de valors que tenen les variables RGB del color. Quan modifiquem la posició de la pestanya del “Slider”, el valor canvia, aquest valor es mostra en un requadre d’un color determinat, que coincideix amb el color que es modifica per tal de fer més fàcil l’ajust manual dels colors. Els “Sliders” RGB estan agrupats en un mateix lloc per tal d’indicar que es tracta d’un mateix element, en aquest cas, de la imatge dreta. Un cop es modifica aquest “Slider”, agafa el valor R, G i B d’aquest conjunt i modifica el color RGB de la imatge dreta. El procediment és el mateix amb la imatge esquerra i amb el color de fons.

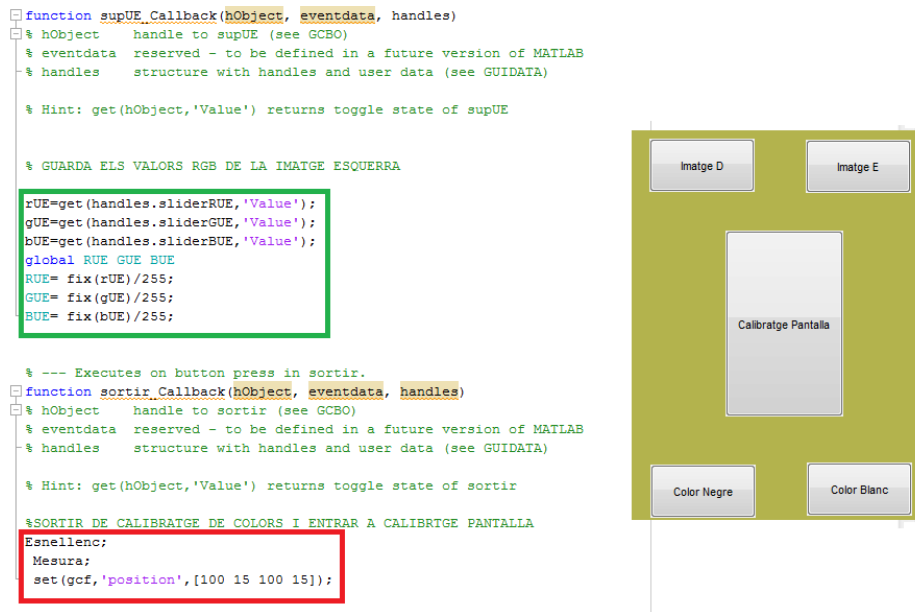


Figura 8.11 A la part esquerra de la figura en color verd es pot veure el codi de “Push Button” “Imatge E” i en color vermell es mostra el codi del “Push Button” “Calibratge de Pantalla”. A la part dreta de la figura es pot veure el conjunt de botons que te la figura CalibracioGui.fig.

Un cop s’ha determinat com s’ajustaran manualment els colors dels requadres mostrats a la figura, es passa a guardar els valors RGB del requadre dret, de l’esquerra i del fons. Per això es clicarà al botó “Imatge E”, aquest botó convertirà el valor RGB a valors entre 0 i 1, és a dir, 255 passarà a ser valor 1 i el valor 0 serà 0. Aquesta transformació es realitza perquè el llenguatge informàtic o codi binari opera amb 0 i 1, on 0 significa tancat i 1 obert.

Amb els quatre botons es guardaran en variables els colors de la imatge dreta, esquerra, i del fons, però cal dir que el valor del color de fons s’utilitza dues vegades, primer quan cliquem en “Color Negre” guarda el color del fons, per defecte hi ha un color negre determinat, i per tant no s’hauria de modificar el RGB del fons. Un cop s’ha clicat en el

botó “Color Negre” es modifica el RGB fons fins a deixar-ho en un blanc pur, i a continuació, clicar en el botó “Color Blanc”.

3. Creació menú “Calibratge Pantalla”

Un cop hem clicat als botons que guarden els colors, hem de clicar al botó “Calibratge Pantalla”, s’obriran dues figures, la “Esnellenc” i la “Mesura”.

```
function Esnellenc_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles     structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to Esnellenc (see VARARGIN)

% Choose default command line output for Esnellenc
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes Esnellenc wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% ES CREA UNA E DE SNELLEN PER LA CALIBRACIÓ
EsnellenrD=ones(250,250,3);
EsnellenrD(:, [1:50], 1)=0;
EsnellenrD(:, [1:50], 2)=0;
EsnellenrD(:, [1:50], 3)=0;
EsnellenrD([1:50, 100:150, 200:250], :, 1)=0;
EsnellenrD([1:50, 100:150, 200:250], :, 2)=0;
EsnellenrD([1:50, 100:150, 200:250], :, 3)=0;
EsnellenrD([50:100, 150:200], [50:250], 1)=1;
EsnellenrD([50:100, 150:200], [50:250], 2)=1;
EsnellenrD([50:100, 150:200], [50:250], 3)=1;
imshow(EsnellenrD);
set(gcf, 'color', [1 1 1]);
%set(gcf, 'position', [20 20 77.2 28]);
```



Figura 8.12: Codi de la figura “Esnellen.m” amb la part esquerra de la figura. A la part dreta de la figura es mostra la lletra que es forma a partir del codi.

Un cop s’executa el codi “Esnellen.m”, apareix una E de Snellen de color negre. Aquest tipus d’imatges es creen a partir de matrius, en aquest cas, hem creat una matriu de 250 x 250 de valor 1. Quan el programa et mostra un valor 1, a la imatge equivaldria un blanc pur, mentre que el valor 0 és el negre.

Un cop tenim la matriu de valor 1 en tota la seva extensió, es defineix cadascun dels traçats de la lletra com a valors 0 (negre).

Un apunt important respecte a la generació d'imatges mitjançant matrius, és que cada clúster o nòdul de la matriu correspondria a un píxel de la pantalla, per tant, en aquest cas, la imatge es de 250x250 píxels.

Un cop es mostra la imatge, es mostrarà la figura "Mesura.fig" per tal de realitzar el calibratge de la pantalla.

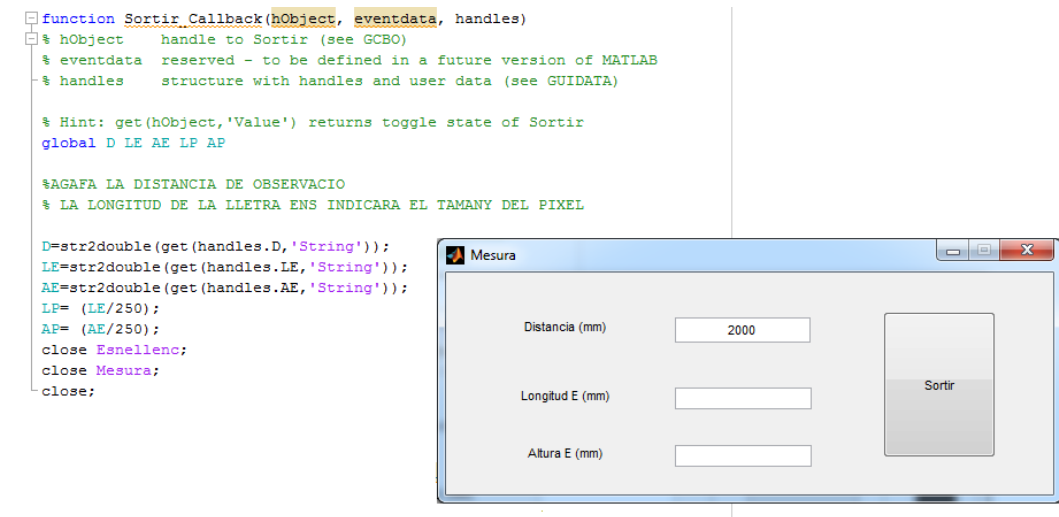


Figura 8.13: Codi de la figura "Mesura.m" a la part esquerra de la imatge. A la part dreta es pot veure la figura "Mesura.fig", amb els corresponents elements.

Un cop es mostra la figura, hem de mesurar físicament la grandària de la lletra mostrada i introduir la seva longitud en mm en la casella "Longitud E", la seva altura a la casella "Altura E", i la distància al qual es realitzen totes les mesures a la casella "Distancia". Un cop introduïts els valors, s'ha de prémer al botó sortir. Aquest botó s'encarrega de fer un petit càlcul de la grandària del píxel. Com sabem que la imatge és de grandària 250 x 250 píxels únicament cal dividir la longitud i l'altura físiques d'aquesta lletra per 250. Tots aquests valors es guarden en variables amb la funció "global". Finalment, es tanca les figures "Esnellenc.fig", "Mesura.fig" i "CalibracióGui.fig" amb totes les variables emmagatzemades al programa.

4. Creació de les test que es presentarà

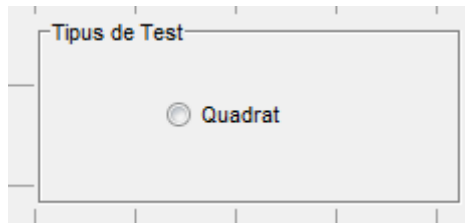


Figura 8.14: Apartat de “Tipus de Test” on hi ha representat l’únic test que es farà servir durant les proves, un quadrat petit que tindrà un rang de separació de les imatges, envoltat d’un quadrat de referència que no presentarà cap modificació.

```
function uipanel5_SelectionChangeFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to the selected object in uipanel5
% eventdata  structure with the following fields (see UIBUTTONGROUP)
%   EventName: string 'SelectionChanged' (read only)
%   OldValue: handle of the previously selected object or empty if none was selected
%   NewValue: handle of the currently selected object
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% GRANDARIA DEL TEST
AFons=400;
AExt=350;
Gruix=50;
Aint=AExt-2*Gruix;
AQuadrat=75;
Q=ones(AFons);
```

Figura 8.15: Part del codi “Quadrat” que crearà el test que s’utilitzarà durant les proves.

En aquest apartat es caracteritza la grandària del test, el gruix del quadrat de referència, i la grandària del quadrat que es desdoblarà en dos colors diferents, per tal de poder observar aquest quadrat en profunditat.

```

% SI NO EXISTEIX UN COLOR DEFINIT ELS COLORS ES POSEN PER DEFECTE
% IMG DRETA VERMELL, IMG ESQUERRA CYAN, COLOR MEZCLA NEGRE, FONTS BLANC
if isempty(RFB);
    RFB=1.0;
end
if isempty(GFB);
    GFB=1.0;
end
if isempty(BFB);
    BFB=1.0;
end

if isempty(RUE);
    RUE=1.0;
end
if isempty(GUE);
    GUE=0.7;
end
if isempty(BUE);
    BUE=0.3;
end

if isempty(RUD);
    RUD=0.7;
end
if isempty(GUD);
    GUD=1.0;
end
if isempty(BUD);
    BUD=1.0;
end

if isempty(RFN);
    RFN=0.7;
end
if isempty(GFN);
    GFN=0.7;
end
if isempty(BFN);
    BFN=0.3;
end

%ES GUARDEN ELS VALORS RGB DRET I ESQUERRE
RUDg=RUD;
GUDg=GUD;
BUDg=BUD;

RUEg=RUE;
GUEg=GUE;
BUEg=BUE;

```

Figura 8.16: Part del codi “Quadrat” que, en cas de no haver realitzat el calibratge de color, es defineixen uns colors RGB.

En aquest apartat, es defineixen els valors RGB tant de la imatge dreta, com de l’esquerra, com el del fons, està programat de tal manera que, en el cas de no haver-se realitzat el calibratge de color i les variables no estiguin definides, es creen amb uns valors determinats, que són els mateixos colors per defecte que utilitzàvem al calibratge del color. A la part dreta de la imatge s’introdueix uns codis per tal de guardar els valors RGB en unes altres variables, per, posteriorment, utilitzar-les.

```

if hObject == handles.Cuadrattest
    x=2;

for Decal=-50:1:50 % El valor de decalatge entre -20 i 20 en pasos de 1
    p=Decal;

    % Si el valor del decalatge es negatiu s'intercanbiaran els colors
    if Decal<0
        RUD=RUEg;
        GUD=GUEg;
        BUD=BUEg;
        RUE=RUDg;
        GUE=GUDg;
        BUE=BUDg;
    else
        RUD=RUDg;
        GUD=GUDg;
        BUD=BUDg;
        RUE=RUEg;
        GUE=GUEg;
        BUE=BUEg;
    end
end

```

Figura 8.17: Part del codi “Quadrat” on es defineix “Decal”, que representarà la distància entre la imatge de l’ull dret i la de l’esquerra.

En aquest apartat es defineix “Decal”, i prendrà valors des de -50 fins a +50 en passos d’un. Aquesta variable correspon al decalatge d’un color respecte a l’altre, la unitat en el qual treballem aquests decalatges és el píxel, per tant, els desplaçaments seran de píxel en píxel. A més, introduïm en el codi, un condicionant (“if”) respecte al valor d’aquest decalatge, si aquest valor és negatiu, els valors RGB de la imatge dreta s’intercanvien pels de la imatge esquerra.

Com s’ha explicat en la memòria del treball, la localització del color és molt important, ja que això condiona si l’estímul el veiem en visió paral·lela o en visió creuada. En el programa considerem que els decalatges negatius són decalatges que, amb ulleres anaglífiques vermell-blava provoquen una percepció de la imatge més llunyana, és a dir, es veuen en visió paral·lela, i per tant, els positius es veuen en visió creuada i es perceben més prop.

```

Decal=abs(Decal);
ini=(AFons-AExt)/2+1;
ini=ceil(ini);
fin=ini+AExt-1;
fin=ceil(fin);

% ES CREA UNA MATRIU AMB NUMEROS DE 1 AL 4.

for i=1:AFons %FONDO EXTERIOR
    for j=1:AFons
        Q(i,j)=1;
    end
end

for i=ini:fin %QUADRADO COMPARACION
    for j=ini:fin
        Q(i,j)=2;
    end
end

ini=ini+Gruix;
fin=fin-Gruix;

for i=ini:fin
    for j=ini:fin %FONDO INTERIOR
        Q(i,j)=1;
    end
end

ini=(AFons-AQuadrat)/2+1;
ini=ceil(ini);
fin=ini+AQuadrat-1;
fin=ceil(fin);

for i=ini:fin %COLOR MEZCLA
    for j=ini:fin
        Q(i,j)=2;
    end
end

iniE=ini-Decal/2;
iniE=ceil(iniE);
finE=iniE+Decal-1;

for i=ini:fin %IMAGEN IZQUIERDA
    for j=iniE:finE
        Q(i,j)=4;
    end
end

iniD=fin-Decal/2;
iniD=ceil(iniD);
finD=iniD+Decal-1;

for i=ini:fin %IMAGEN DERECHA
    for j=iniD:finD
        Q(i,j)=3;
    end
end

```

Figura 8.18: Part del codi “Quadrat” on es defineix es dibuixa el test amb el decalatge indicat.

Prèviament a tot això s’ha creat una matriu que conté el test, aquest test consisteix en un quadrat de referència que envolta al quadrat central que patirà aquest decalatge. Per aconseguir aquest decalatge es crea una matriu de números de l’1 al 4, el valor 1 correspondrà al color dels fons, el valor 2 correspondrà al valor de la mescla d’ambdós colors, el valor 3 correspondrà al color dret, i el valor 4 correspondrà al color esquerre.

Depenent del valor del decalatge del quadrat central, s’introduiran els valors 3 i 4 pels extrems d’aquest quadrat, a la vegada que el valor 2, corresponent al color de la mescla, es va contraient cap al centre.

1	2	2	2	1
1	2	2	2	1
1	2	2	2	1

Taula 8.1: Exemple representatiu de la matriu en la part central, els valors 2 representarien el color mescla del test mentre que el color 1 representaria color blanc, és a dir, s’observaria un quadrat negre al centre.

Suposem que apliquem un decalatge de 2 píxels:

1	4	2	3	1
1	4	2	3	1
1	4	2	3	1

Taula 8.2: Exemple representatiu de la matriu en la part central, els valors 2 representarien el color mescla del test mentre que el color 1 representaria color blanc, el valor 3 i el valor 4 representen els colors.

Com es pot veure, ara al quadrat central no l'envolta un blanc (1), sinó els números 3 i 4. Utilitzant aquest sistema, es van afegint números al costat d'aquesta quadrícula central formada pel número 2.

Per al moment, es crea una matriu de números entre l'1 i el 4, i amb el decalatge els números 3 i 4 es van afegint al costat del grup de clústers de valor 2.

```

% LA MATRIU CANBIA SEGONS EL DECALATGE QUE LI APLIQUEM
% ES CANBIARA LA MATRIU DE VALORS 1,2,3,4 PER UNA MATRIU
%TRIDIMENSIONAL DE VALORS ENTRE 0 I 1
CF=(Q==1); % LA MATRIU SOL MOSTRARAR ELS VALORS 1 I ELS ATRES SERAN 0
CFR=CF*RFB;
CFG=CF*GFB;
CFB=CF*BFB;
% ES CREEN TRES MATRIUS, VERMELL, VERD I BLAU.
CF=cat(3,CFR,CFG);
% ES CONCAIENEN LES TRES MATRIUS PER TAL DE FORMAR UNA IMATGE RGB (COLOR)
% EL VALOR DE 1,2,3,4 REPRESENTEN LES DIFERENTS ZONES DE COLOR QUE HI HA EN
% LA IMATGE DEFINITIVA, PER TANT A CADA NUMERO CORRESPONDRA UN COLOR
% CONCRET I AQUESTA ES LA MANERA DE COLOREJAR LA ZONA
%% EL PROCEDIMENT ES EL MATEIX, EN ELS SGUENTS APARTATS%%

CI=(Q==4);% LA MATRIU SOL MOSTRARA ELS VALORS 4.
CIR=CI*RUE;
CIG=CI*GUE;
CIB=CI*BUE;

CI=cat(3,CIR,CIG);
CI=cat(3,CI,CIB);

CD=(Q==3);
CDR=CD*RUD;
CDG=CD*GUD;
CDB=CD*BUD;

CD=cat(3,CDR,CDG);
CD=cat(3,CD,CDB);

CM=(Q==2);
CMR=CM*RFB;
CMG=CM*GFB;
CMB=CM*BFB;

CM=cat(3,CMR,CMG);
CM=cat(3,CM,CMB);

% UN COP ES DETERMINA EL COLOR DE LA IMG DRETA, ESQUERRA, DEL FONS I DEL
% COLOR RESULTAT DE LA MESCLA. ES SUMEN AQUESTES MATRIUS PER TAL DE FORMAR
% LA IMATGE COMPLETA
TEST= CD+CI+CM+CF;

C(:, :, :, p+51)=TEST; % ES GUARDA LA MATRIU EN UNA MATRIU DE QUATRE DIMENSIONS
M=C(:, :, :, p+51);

% GUARDAR LES IMATGES EN LA CARPETA FIGURES%
strp=num2str(p);
Arxiu=[strp, 'Figura'];
NameFIG=strcat(Arxiu, '.fig');
FIGSAVE=[FolderFIG, NameFIG];
saveas(IMATGES, FIGSAVE, 'fig');

end

close IMATGES;

```

Figura 8.19: Creació de la imatge en color a partir de la matriu numèrica formada anteriorment en color vermell, en color verd es mostra el codi que permet guardar les figures en la carpeta FIGURES.

Quan definim la variable "Decal", ho fem mitjançant un bucle, cal a dir que aquestes accions es fan de -50 a 50 en passos d'un, i per tant, es crea una imatge per a cada decalatge.

Un cop aclarit aquest punt, tenim una matriu que pot presentar valors 1, 2, 3, i 4 segons el valor de "Decal". A partir d'aquesta matriu numèrica se separaran en 4 matrius diferents, concretament es crearan matrius de la mateixa grandària però que únicament mostri uns valors determinats, sigui el valor 1, el 2, 3, o 4.

Aquest procediment s'utilitza bàsicament per separar en diferents matrius els colors que formaran part de la imatge amb aquell determinat decalatge.

Un cop tenim aquestes matrius, les hem de transformar a matrius en color. Per tal de donar color a una d'aquestes matrius, s'ha de dividir aquesta mateixa matriu en 3, cadascuna d'elles es multiplicarà per R, G o B, per posteriorment ajuntar-se les 3 de nou, per formar una matriu de tres dimensions, on s'acolorirà amb els valors R, G, o B una zona específica segons el valor inicial (1 ,2 ,3 o 4)

Això es fa amb les 4 matrius que prenen valors de l'1 al 4 per tindre 4 matrius diferents que correspondran als colors de fons, mescla, imatge dreta i imatge esquerra.

Finalment es sumen aquestes quatre matrius per formar la imatge definitiva, que estarà formada d'aquests quatre colors.

Una vegada tenim la imatge definitiva, amb el decalatge i els colors que li pertoca, es mostra i guarda la figura amb nom "XFigura.fig" on "X" és el valor del decalatge aplicat. Aquesta figura es guarda concretament a la carpeta FIGURES creada amb anterioritat.

D'aquesta manera, disposem de cadascuna de les imatges corresponents a cada decalatge, des de -50 a +50 en passos d'un.

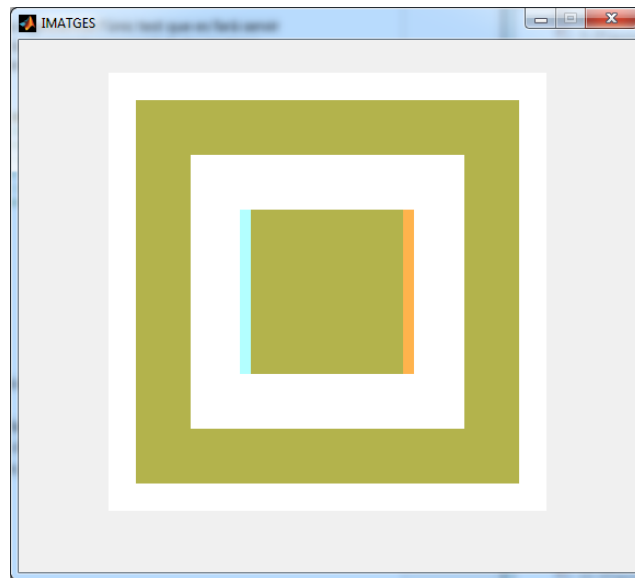


Figura 8.20: Exemple d'imatge amb decalatge.

Un cop s'han guardat cada una de les imatges amb el seu respectiu decalatge, es creen unes imatges corresponents a la prova de l'elecció forçada, ja que aquest test presenta 4 elements en lloc d'un de sol.

```

TEST0=C(:, :, : , 51);
for p=-50:1:50
    TEST1=C(:, :, : , p+51);
    TEST1=cat(2, TEST, TEST0);
    TEST1=cat(2, TEST1, TEST0);
    TEST1=cat(2, TEST1, TEST0);

    strp=num2str(p);
    strp1=num2str(-1);

    f1=stroat(strp, strp1);

    C1(:, :, : , p+51)=TEST1;
    M=C1(:, :, : , p+51);
    M1=M;

% GUARDAR LES IMATGES EN LA CARPETA FIGURES%
    %strp=num2str(p);
    Arxiu=[f1, 'Figura'];
    NameFIG=stroat(Arxiu, '.fig');
    FIGSAVE=[FolderFIG, NameFIG];
    saveas(IMATGES, FIGSAVE, 'fig');
end

for p=-50:1:50
    TEST=C(:, :, : , p+51);
    TEST2=cat(2, TEST0, TEST);
    TEST2=cat(2, TEST2, TEST0);
    TEST2=cat(2, TEST2, TEST0);

    strp=num2str(p);
    strp2=num2str(-2);
    f2=stroat(strp, strp2);

    C2(:, :, : , p+51)=TEST2;
    M=C2(:, :, : , p+51);
    M2=M;

```

Figura 8.21: Creació d'una imatge amb quatre elements, un d'ells presentarà decalatge. En color Vermell s'indica quan a partir d'una imatge amb un decalatge preestablert s'afegeixen els altres 3

elements sense cap decalatge. En color verd es mostra el moment on es guarda la figura que presentarà aquests quatre elements.

Per poder dissenyar aquest test s'han concatenat una sèrie de matrius, la matriu que presenta el decalatge desitjat amb altres que no presenten decalatge. Es concatenen les matrius diverses vegades per a què la figura completa estigui formada per 4 figures, una d'elles amb decalatge, i les altres sense.

Es crea una figura per a cada decalatge i a cada posició on se situí aquest decalatge.

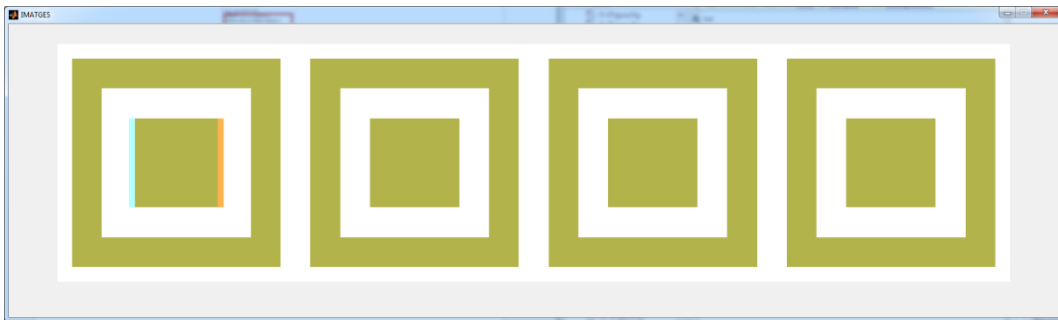


Figura 8.22: Exemple de figura d'elecció forçada on el primer element presenta decalatge mentre que els altres no.

5. Creació del mètodes psicofísics

Aquest últim procés és de vital importància, ja que la realització dels tests comporta una pèrdua important de temps, ja que s'ha de processar molta informació, d'aquesta manera, suprimim diverses rutines, la rutina del calibratge del color i la rutina de creació de test, l'única rutina que s'ha de fer un cop s'inicia el programa, és el calibratge de la pantalla, ja que aquests valors no es guarden en format d'arxiu sinó que, es guarden al programa.

Tot i així si canviéssim d'ordinador, s'hauria de comprovar que els colors fossin adients i en tot cas tornar a crear els tests, i sobretot, abans de començar amb les proves psicofísiques, calibrar la pantalla, ja que això determinarà el rang d'estereoagudesesa que podrà mesurar el programa mitjançant els diferents mètodes psicofísics.

A continuació s'explicarà la realització dels mètodes psicofísics. Per tal de fer els diferents algorismes de mesura, s'han creat arxius de format .m per a cada un dels mètodes utilitzats.

En les mesures experimentals la rutina començava omplint l'apartat de "Dades personals", a continuació es realitzava el calibratge de la pantalla i posteriorment les mesures psicofísiques saltant les rutines de calibratge de color i de creació del test, ja que prèviament s'han establert els colors i s'han creat els tests.

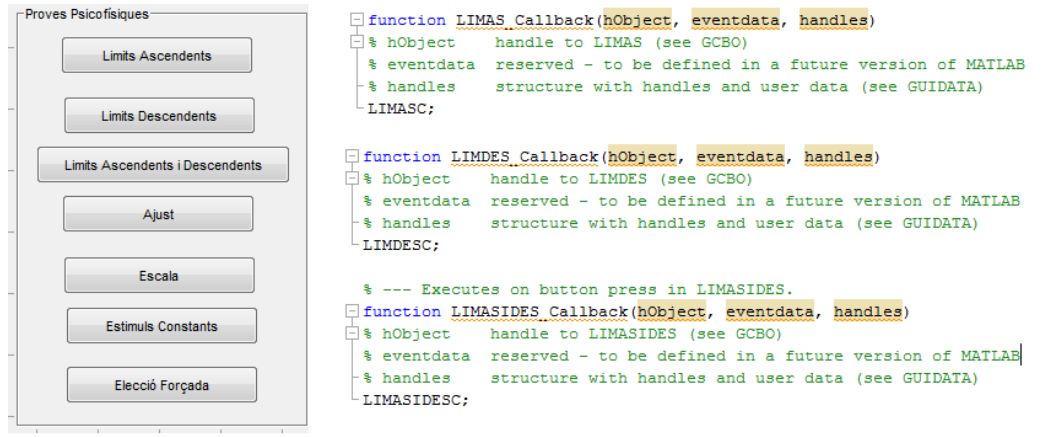


Figura 8.23: A l'esquerra de la figura es mostra el llistat de proves psicofísiques que es poden utilitzar per a mesurar l'estereòpsia. A la dreta de la imatge tenim un exemple de l'acció que realitzen cadascun dels botons.

Un cop premen en un dels botons, s'obrirà un arxiu ".m" que contindrà la rutina d'un examen en concret.

```
function [] = LIMASC()
global FolderFIG LP D pi AELIMASL1 AELIMASL2 AELIMASL3 AEL;

%VARIABLES

IMAGES = []; %main program figure
%mouseDown = []; %is the mouse button down
p=rand;
if p>0 && p<=0.2;
    p=-5;
end
if p>0.2 && p<=0.4;
    p=-4;
end
if p>0.4 && p<=0.6;
    p=-3;
end
if p>0.6 && p<=0.8;
    p=-2;
end
if p>0.8 && p<=1;
    p=-1;
end
c=0;
n=0;
c1=1;
c2=1;
c3=1;
c4=1;
```

Figura 8.24: Part inicial de l'algoritme Límits Ascendents.

Per començar la rutina, a l'atzar s'agafa un valor "p" entre -5 i 1 en passos d'un. El valor "p" en aquestes rutines serà molt important, ja que aquest valor, indica el desplaçament

en píxels d'una imatge respecte a l'altre. Per tant a partir del valor “p” buscarem una figura determinada. Totes les figures estan guardades en la carpeta FIGURAS amb nom “XFigura.fig” on X equivaldria al valor de “p” en aquestes rutines.

```
] function mostrarFigura
    strp=num2str(p);
    Arxiu=[strp,'Figura'];
    NameFIG=strcat(Arxiu, '.fig');
    FIGSAVE=[FolderFIG,NameFIG];

    IMATGES = open (FIGSAVE);

    %register keydown and keyup listeners
    set (IMATGES, 'KeyPressFcn', @keyDownListener)
    %set(fig, 'KeyReleaseFcn', @keyUpListener);

    %set(fig, 'WindowButtonDownFcn', @mouseDownListener);
    %set(fig, 'WindowButtonUpFcn', @mouseUpListener);
    %set(fig, 'WindowButtonMotionFcn', @mouseMoveListener);
end

-

]function seguentIMG
    close;
    p=p+1;
    strp=num2str(p);
    Arxiu=[strp,'Figura'];
    NameFIG=strcat(Arxiu, '.fig');
    FIGSAVE=[FolderFIG,NameFIG];
    IMATGES = open (FIGSAVE);
    set (IMATGES, 'KeyPressFcn', @keyDownListener)
end

-

]function anteriorIMG
    close;|
    p=p-1;
    strp=num2str(p);
    Arxiu=[strp,'Figura'];
    NameFIG=strcat(Arxiu, '.fig');
    FIGSAVE=[FolderFIG,NameFIG];
    IMATGES = open (FIGSAVE);
    set (IMATGES, 'KeyPressFcn', @keyDownListener)
end

-
end
```

Figura 8.25: Funcions principals de l’algoritme “Límits Ascendents”

Les tres funcions que es presenten a la figura 8.25, s’utilitzen en tots els algoritmes.

La funció “mostrar figura” agafa el valor p, prèviament definit a l’atzar, i busca l’arxiu Figura que comparteixi numeració amb el valor “p”, i la mostra a la pantalla.

D’aquesta manera, la primera funció a executar-se seria aquesta, ja que en clicar sobre el botó d’un mètode concret es mostra una imatge amb un determinat decalatge.

La funció “seguentIMG” canvia el valor p a un valor més positiu, és a dir, la imatge s’anirà apropant, mentre que la funció “anteriorIMG” fa el contrari, atorga a “p” un valor més negatiu, això vol dir que la imatge s’allunyarà més.

Però sens dubte, la funció més important és la “keyDownListener” que ens permet tindre un control de la figura mitjançant les tecles de l’ordinador.

```

function keyDownListener(src,event)

if n==0;

    if c==0;
        switch event.Key
        case 'y'
            c=c+1;
            AELIMASC1=((LP*(p-0.5))/D)*(648000/pi);
            p=rand;
        end
    end
    if p>=0 && p<=0.2;
        p=-5;
    end
    if p>0.2 && p<=0.4;
        p=-4;
    end
    if p>0.4 && p<=0.6;
        p=-3;
    end
    if p>0.6 && p<=0.8;
        p=-2;
    end
    if p>0.8 && p<=1;
        p=-1;
    end
    end

    strp=num2str(p);
    Arxiu=[strp,'Figura'];
    NameFIG=strcat(Arxiu,'.fig');
    FIGSAVE=[FolderFIG,NameFIG];
    close;
    IMATGES = open (FIGSAVE);
    set (IMATGES,'KeyPressFcn',@keyDownListener)

        case 'n'
            seguentIMG;
        end
    end
end

```

Figura 8.26: Funcions “keyDownListener”. Aquesta funció permet que en teclejar al teclat de l’ordinador una lletra determinada es realitzi una acció.

Un cop apareix la primera figura la funció “keyDownListener” ja funciona, en aquest cas els botons que estan actius són el botó “y” i el botó “n”. El botó “y” correspondria a una resposta afirmativa mentre que el botó “n” a una resposta negativa.

En el mètode dels límits ascendents començarem amb un estímul que en principi es pot detectar més llunyà, en aquest instant l’hem de preguntar que si detecta el quadrat central més proper o no, si la resposta és negativa, premem la tecla “n”, i automàticament augmentarà la disparitat en un píxel gràcies a la funció seguentIMG, marcada en color verd. S’ha d’anar preguntant fins al punt en què l’observador reporti que pot visualitzar l’estímul més proper que el quadrat de referència, per tant, premem la tecla “y” i automàticament es guardarà el valor d’estereoagudeses immediatament inferior, com el valor obtingut pel mètode dels límits ascendents, i concretament, està fet en visió creuada, marcat en color vermell.

Per tal de poder guardar totes les mesures i saber en cada moment de quina mesura es tracta cadascuna, les variables agafaran nom de la manera següent.

Primer les sigles AE (Agudesa Estereoscopica), seguidament, un acrònim del mètode psicofísic utilitzat, en aquest cas, LIMAS (Limits Ascendents), a continuació si es tracta de visió paral·lela o creuada, o millor dit, si l'estímul es percep més lluny o més a prop de l'estímul de referència, L(Lluny, també pot ser C →Cerca), i per acabar una numeració que va de l'1 al 5, e indica el nombre de repeticions de la mateixa mesura.

```
AELIMASC5= ((LP*p)/D) * (648000/pi);  
  
AELIMASML=(AELIMASL1+ AELIMASL2+ AELIMASL3+ AELIMASL4+ AELIMASL5)/5;  
AELIMASMC=(AELIMASC1+ AELIMASC2+ AELIMASC3+ AELIMASC4+ AELIMASC5)/5;  
  
AELIMASMT= (abs(AELIMASML) + abs(AELIMASMC))/2;  
  
close;
```

Figura 8.27: Conjunt de variables guardades durant la prova dels límits ascendents.

Un cop hem realitzat les cinc mesures en visió creuada i les cinc mesures en visió paral·lela, es realitza la mitjana aritmètica d'aquests dos valors, i finalment, la mitjana de tots els valors.

Cal dir que, per al càlcul del llindar de l'estereoagudesa, és imprescindible haver realitzat el calibratge de la pantalla, donat que sense ell, desconeixem la grandària del píxel i la distància d'observació.

L'altre mètode és el mètode dels límits descendents. Aquest té la mateixa mecànica que el mètode dels límits ascendents amb la diferència que l'estímul que es presenta en l'iniciar la prova ha de ser clarament visible.

```

function keyDownListener(src,event)

if n==0;

    if c==0;
        switch event.Key
            case 'n'
                c=c+1;
                AELIMDESC1=((LP*(p+0.5))/D)*(648000/pi);
                p=rand;
            if p>=0 && p<=0.2;
                p=10;
            end
            if p>0.2 && p<=0.4;
                p=11;
            end
            if p>0.4 && p<=0.6;
                p=12;
            end
            if p>0.6 && p<=0.8;
                p=13;
            end
            if p>0.8 && p<=1;
                p=14;
            end
            strp=num2str(p);
            Arxiu=[strp,'Figura'];
            NameFIG=strcat(Arxiu,'.fig');
            FIGSAVE=[FolderFIG,NameFIG];
            close;
            IMATGES = open (FIGSAVE);
            set (IMATGES,'KeyPressFcn',@keyDownListener)
            case 'y'
                anteriorIMG;
            end
        end
    if c>=1;
        switch event.Key
            case 'n'
                if c>1;

```

Figura 8.28: Funció “keyDownListener” del mètode dels límits descendents. En color vermell es senyala l’acció al pressionar la lletra “y”. El color verd senyala l’acció que es realitza en prémer la tecla “n”.

En el mètode dels límits descendents tant com en la resta, la funció “seguentIMG” i “anteriorIMG” funciona de la mateixa manera i no canvia entre mètodes, el que sí que canvia és la funció “keyDownListener” que s’encarrega de realitzar una acció quan es pressiona una tecla determinada. En aquest cas, com partim d’un estímul visible, la resposta de l’observador seria afirmativa, per tant, la tecla “y” activarà la funció “anteriorIMG”. En tan bon punt l’observador no detecti l’estímul en profunditat pressionarem la tecla “n” per guardar un dels molts valors de llindar que obtindrem durant la prova.

El mètode dels límits ascendents i descendents funciona de manera diferent dels dos mètodes anteriors. En aquest mètode sempre començarem amb un estímul el valor del qual canviarà per tal d’evitar una resposta anticipada, a l’igual que en els mètodes anteriors.

Podem desglossar aquest mètode en dos apartats, la primera part mesuraria el lliandar diferencial en visió creuada i la segona part mesuraria el lliandar en visió paral·lela.

```
function keyDownListener(src, event)
if n==0;

if c==0;
switch event.Key
case 'y'
c=c+1;
AELIMASIDES11=((LP*(p-0.5))/D)*(648000/pi);
p=p+10;
strp=num2str(p);
Arxiu=[strp,'Figura'];
NameFIG=strcat(Arxiu, '.fig');
FIGSAVE=[FolderFIG,NameFIG];
close;
IMAGES = open (FIGSAVE);
set (IMAGES, 'KeyPressFcn', @keyDownListener)
case 'n'
sequentIMG;
end
end
if c==1;
switch event.Key
case 'y'
anteriorIMG;
case 'n'
AELIMASIDES12=((LP*(p+0.5))/D)*(648000/pi);
c=c+1;
end
end

if c==2;
switch event.Key
case 'y'
c=c+1;
AELIMASIDES13=((LP*(p+0.5))/D)*(648000/pi);
p=p-10;
strp=num2str(p);
Arxiu=[strp,'Figura'];
NameFIG=strcat(Arxiu, '.fig');
FIGSAVE=[FolderFIG,NameFIG];
close;
IMAGES = open (FIGSAVE);
set (IMAGES, 'KeyPressFcn', @keyDownListener)
case 'n'
anteriorIMG;
end
end
if c==3;
switch event.Key
case 'y'
sequentIMG;
case 'n'
AELIMASIDES14=((LP*(p-0.5))/D)*(648000/pi);
end
end
```

Figura 8.29: Funció “keyDownListener del mètode dels límits ascendents i descendents. En color vermell es mostra el límit superior del mètode, i en color verd el límit inferior, d’una única mesura.

Aquestes mesures es fan una darrera de l’altra, primer utilitzant un mètode ascendent, després un descendent, sense provocar canvis bruscos en el decalatge de les imatges. Així doncs, aquest procés es repeteix cinc vegades i es guarden totes les dades.

```
AELIMASIDES54=((LP*p)/D)*(648000/pi);

AELIMASIDES19=(AELIMASIDES11+AELIMASIDES12)/2;
AELIMASIDES17=(AELIMASIDES13+AELIMASIDES14)/2;
AELIMASIDES1=(abs(AELIMASIDES19)+abs(AELIMASIDES17))/2;

AELIMASIDES29=(AELIMASIDES21+AELIMASIDES22)/2;
AELIMASIDES21=(AELIMASIDES23+AELIMASIDES24)/2;
AELIMASIDES2=(abs(AELIMASIDES29)+abs(AELIMASIDES21))/2;

AELIMASIDES39=(AELIMASIDES31+AELIMASIDES32)/2;
AELIMASIDES31=(AELIMASIDES33+AELIMASIDES34)/2;
AELIMASIDES3=(abs(AELIMASIDES39)+abs(AELIMASIDES31))/2;

AELIMASIDES49=(AELIMASIDES41+AELIMASIDES42)/2;
AELIMASIDES41=(AELIMASIDES43+AELIMASIDES44)/2;
AELIMASIDES4=(abs(AELIMASIDES49)+abs(AELIMASIDES41))/2;

AELIMASIDES59=(AELIMASIDES51+AELIMASIDES52)/2;
AELIMASIDES51=(AELIMASIDES53+AELIMASIDES54)/2;
AELIMASIDES5=(abs(AELIMASIDES59)+abs(AELIMASIDES51))/2;

AELIMASIDESMT=(abs(AELIMASIDES1)+abs(AELIMASIDES2)+abs(AELIMASIDES3)+abs(AELIMASIDES4)+abs(AELIMASIDES5))/5;

close;
```

Figura 8.30: Dades que són emmagatzemades en el mètode dels límits ascendents i descendents.

El mètode de l'ajust també presenta una petita variació en el seu codi. En aquest mètode utilitzarem les fletxes de direcció per canviar d'imatge. D'aquesta manera es podrà variar de manera fàcil l'estímul, de manera que a l'observador se li demana de buscar una posició concreta anant cap endavant o cap enrere. Un cop l'observador decideix, pressionarà una tecla, concretament la tecla "y", en aquest punt es guardarà el llinard i es continuarà fent la mateixa mesura per tal de, posteriorment, fer una mitjana.

```
function keyDownListener(xc, event)
    if n==0;
        switch event.Key
            case 'uparrow'
                seguentIMG
            case 'downarrow'
                anteriorIMG;
            case 'y'
                AEAJUSTL1= ((LP*p)/D) * (648000/pi);
                p=rand;
        end
        if p>=0 && p<=0.2;
            p=-1;
        end
        if p>0.2 && p<=0.4;
            p=-2;
        end
        if p>0.4 && p<=0.6;
            p=-3;
        end
        if p>0.6 && p<=0.8;
            p=-4;
        end
        if p>0.8 && p<=1;
            p=-5;
        end
        strp=num2str(p);
        Arxiu=[strp,'Figura'];
        NameFIG=strcat(Arxiu, '.fig');
        FIGSAVE=[FolderFIG,NameFIG];
        close;
        IMATGES = open (FIGSAVE);
        set (IMATGES, 'KeyPressFcn', @keyDownListener)
        n=n+1;
    end
end
```

Figura 8.31: Funció "keyDownListener del mètode de l'ajust. En verd se senyala l'acció de les fletxes de direcció. En vermell està indicat el moment en el qual es guarda la informació, just quan premem la lletra "y".

El mètode de l'escala torna a utilitzar l'algoritme que s'utilitza en el mètode dels límits ascendents i descendents. Segons el tipus de resposta que reporti l'observador s'executarà la funció "seguentIMG" o la "anteriorIMG", en aquest mètode quan ens reporta que no veu l'estímul, premem la tecla "n", i augmentem el decalatge, en quan reporta que el veu premem "y" i disminuïm decalatge.

En canvi el mètode dels estímuls constants ha patit un gran canvi respecte a la resta de mètodes psicofísics. La gran complicació es presenta quan s'han de presentar de manera aleatòria les imatges. A continuació s'explicarà el procés que s'ha seguit per tal de programar aquest algoritme.

```
function [] = ESTCONS()
global FolderFIG LP D pi R AEESTCONSL AEESTCONSC AEESTCONSMI M I EN Rordenada

%VARIABLES

IMATGES = []; %main program figure

%mouseDown = []; %is the mouse button down

A=[-5 -5 -5 -5 -5 -5 -5 -5 -5 -5 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -4 -3 -3 ...
-3 -3 -3 -3 -3 -3 -3 -3 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -2 -1 -1 -1 -1 -1 ...
-1 -1 -1 -1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 ...
3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5];

B=rand(1,110);

[C,I]=sort(B);

for j=1:110
    M(j)=A(I(j)); % Secuencia que se mostrará al paciente
end

e=1;

function keyDownListener(src,event)

    switch event.Key
        case 'y'
            YES;

        case 'n'
            NO;

    end
end
```

Figura 8.34: Començament de l'algoritme dels estímuls constants. En color ver s'indica una part del procés per mostrar de manera aleatòria les imatges. En color vermell, està seleccionada la funció "keyDownListener"

Per presentar una sèrie d'estímuls, primer hem de saber quin rang d'estímuls abastarem i la quantitat de vegades que es repetirà un mateix estimul. En aquest cas s'ha decidit mostrar imatges des de -5 a 5 en passos d'un, per tant, es presentaran 11 estímuls diferents, i cada un d'ells es presentarà 10 vegades, és a dir, un total de 110 imatges.

Per començar, es crearà un vector amb els estímuls que es volen presentar, concretament el vector "A", utilitzem sempre la numeració relacionada amb el decalatge que volem aplicar, ja que d'aquesta manera es pot accedir més fàcilment a les figures guardades.

Es crea un altre vector, "B", però aquesta vegada de valors a l'atzar . Utilitzem la funció "sort" per ordenar de manera aleatòria un determinat vector. De la fórmula $[C,I]=\text{sort}(B)$, s'obre un vector "C" amb els valors de B però distribuïts d'una manera aleatòria, però el valor que realment utilitzarem, és el valor "I", que és l'índex d'aleatorietat, és a dir, és un vector que indica on es trobaven localitzats els valors distribuïts. Aquest vector tindrà valors de l'1 al 110.

La utilitat d'aquest índex vindrà més endavant, mitjançant la distribució del vector A, que sons els estímuls a presentar, segons l'ordre que ens proporciona el vector I, que és totalment aleatori. D'aquesta distribució sorgeix un nou vector que se l'anomenarà vector M i contindrà la seqüència que es mostrarà al pacient.

També es pot observar dues noves funcions, la funció "NO", i la funció "YES", que s'activen en pressionar sobre les tecles "n" i "y" respectivament.

```
function NO

    R(e)=0; % Registro de las respuestas del paciente
    e=e+1;
    close;
    if e==111
        for k=1:110
            Rordenada(I(k))=R(k); % Respuestas del paciente ordenadas según A
        end
        RESULTATSESTCONS;

    else
        strp=num2str(M(e));
        Arxiu=[strp,'Figura'];
        NameFIG=strcat(Arxiu,'.fig');
        FIGSAVE=[FolderFIG,NameFIG];

        IMATGES = open (FIGSAVE);
        set(IMATGES,'KeyPressFcn',@keyDownListener)
    end

end
```

```

function YES

    R(e)=1;

    e=e+1;
    close;

    if e==111
        for k=1:110
            Rordenada(I(k))=R(k);    % Respuestas del paciente ordenadas según A
        end
        RESULTATSESTCONS;

    else
        strp=num2str(M(e));
        Arxiu=[strp,'Figura'];
        NameFIG=strcat(Arxiu,'.fig');
        FIGSAVE=[FolderFIG,NameFIG];
        IMATGES = open (FIGSAVE);
        set (IMATGES, 'KeyPressFcn', @keyDownListener)
    end
end

```

Figura 8.35: Funcions “YES” i “NO” que enregistren les respostes afirmatives i negatives en un vector “R”, les respostes negatives seran 0 mentre que les positives seran 1. En vermell s’emmarca la manera en el qual es reordenen les respostes. En verd s’indica el punt on s’obre un altre arxiu “.m” que contindrà els resultats definitius d’aquest mètode.

Cada cop que se’ns presenta una imatge aleatòria pressionarem la tecla “y” o la tecla “n” per dir-li al programa si l’observador ha detectat o no l’estímul, aquesta successió de respostes s’anirà emmagatzemant en el vector “R”.

Un cop s’han presentat totes les imatges i el vector R conte totes les respostes es crea un altre vector anomenat Rordenada, que ordenarà les respostes segons el patró que seguia el vector A. Per tal d’aconseguir-ho s’utilitzarà de nou el vector “I” per revertir el procés d’aleatorietat, així doncs, sabem que el vector A va en el següent ordre [- 5 -5 -5 ...etc], i el vector “Rordenada” correspon a les respostes en aquest mateix ordre [0 0 1...etc]. D’aquesta manera sabem exactament la resposta a cada imatge.

Un cop es crea aquest vector de respostes, es guarda i s’obre un arxiu “.m” anomenat “RESULTATSESTCONS.m” que contindrà els càlculs que faran falta per obtenir el valor del llindar mitjançant aquest mètode.

```
global FolderRES LP EN D pi R AEESTCONSL AEESTCONSC AEESTCONSMT M I Rordenada
```

```
E0=Rordenada(1:10);
E1=Rordenada(11:20);
E2=Rordenada(21:30);
E3=Rordenada(31:40);
E4=Rordenada(41:50);
E5=Rordenada(51:60);
E6=Rordenada(61:70);
E7=Rordenada(71:80);
E8=Rordenada(81:90);
E9=Rordenada(91:100);
E10=Rordenada(101:110);
```

```
R0=sum(E0);
R1=sum(E1);
R2=sum(E2);
R3=sum(E3);
R4=sum(E4);
R5=sum(E5);
R6=sum(E6);
R7=sum(E7);
R8=sum(E8);
R9=sum(E9);
R10=sum(E10);
```

```
P0=(R0/10)*100;
P1=(R1/10)*100;
P2=(R2/10)*100;
P3=(R3/10)*100;
P4=(R4/10)*100;
P5=(R5/10)*100;
P6=(R6/10)*100;
P7=(R7/10)*100;
P8=(R8/10)*100;
P9=(R9/10)*100;
P10=(R10/10)*100;
```

```
y1=[P0 P1];
y2=[P1 P2];
y3=[P2 P3];
y4=[P3 P4];
y5=[P4 P5];
y6=[P5 P6];
y7=[P6 P7];
y8=[P7 P8];
y9=[P8 P9];
y10=[P9 P10];
```

```
%line1
x1=[((LP*-5)/D)*(648000/pi) ((LP*-4)/D)*(648000/pi)];
x2=[((LP*-4)/D)*(648000/pi) ((LP*-3)/D)*(648000/pi)];
x3=[((LP*-3)/D)*(648000/pi) ((LP*-2)/D)*(648000/pi)];
x4=[((LP*-2)/D)*(648000/pi) ((LP*-1)/D)*(648000/pi)];
x5=[((LP*-1)/D)*(648000/pi) ((LP*0)/D)*(648000/pi)];
x6=[((LP*0)/D)*(648000/pi) ((LP*1)/D)*(648000/pi)];
x7=[((LP*1)/D)*(648000/pi) ((LP*2)/D)*(648000/pi)];
x8=[((LP*2)/D)*(648000/pi) ((LP*3)/D)*(648000/pi)];
x9=[((LP*3)/D)*(648000/pi) ((LP*4)/D)*(648000/pi)];
x10=[((LP*4)/D)*(648000/pi) ((LP*5)/D)*(648000/pi)];
```

```
%line2
x50=[(((LP*-5)/D)*(648000/pi) ((LP*-4)/D)*(648000/pi) ((LP*-3)/D)*(648000/pi) ((LP*-2)/D)*(648000/pi) ...
((LP*-1)/D)*(648000/pi) ((LP*0)/D)*(648000/pi) ((LP*1)/D)*(648000/pi) ((LP*2)/D)*(648000/pi) ...
((LP*3)/D)*(648000/pi) ((LP*4)/D)*(648000/pi) ((LP*5)/D)*(648000/pi)];
y50=[50 50 50 50 50 50 50 50 50 50];
%fit linear polynomial
```

Figura 8.36: Part dels càlculs realitzats per obtenir la funció psicomètrica. En color vermell es ressaltava l'obtenció de "P", que és la probabilitat en veure un estímul concret. En color blau se senyala el valor "x" i "y" que correspondran a les equacions de la recta punt a punt. Finalment en color verd es presenta l'equació de la recta que es trobarà al 50%.

S'utilitzarà el vector "Rordenada" per extraure en les respostes de cada estímul en els vectors "E", un cop fet això se sumaran els valors d'aquests vectors, de tal manera que els valors negatius són 0 i els positius 1, d'aquesta manera tindrem un número entre 0 i 10. Així es calcularà el vector "P" que contindrà el tant per cent de respostes afirmatives.

Un cop tenim aquest vector, realitzarem la gràfica psicomètrica, en l'eix de les abscisses contindrà el rang d'estereoagudeses, que comprendrà del decalatge -5 fins al +5, i en l'eix de les ordenades contindrà la probabilitat de cada estímul, per tant, definirem valors "x" i "y", que serà la posició d'un parell de punts en la gràfica, de tal manera que de moment sol es crearia una gràfica formada per punts.

Els punts "x50" i "y50" estaran disposats horitzontalment en l'eix y=50.

```

p1 = polyfit(x1,y1,1);
p2 = polyfit(x2,y2,1);
p3 = polyfit(x3,y3,1);
p4 = polyfit(x4,y4,1);
p5 = polyfit(x5,y5,1);
p6 = polyfit(x6,y6,1);
p7 = polyfit(x7,y7,1);
p8 = polyfit(x8,y8,1);
p9 = polyfit(x9,y9,1);
p10 = polyfit(x10,y10,1);

```

```

x_intersect1 = fzero(@ (x) polyval(p1-p50,x),3);
y_intersect1 = polyval(p1,x_intersect1);
%line(x1,y1);
x_intersect2 = fzero(@ (x) polyval(p2-p50,x),3);
y_intersect2 = polyval(p2,x_intersect2);
%line(x2,y2);
x_intersect3 = fzero(@ (x) polyval(p3-p50,x),3);
y_intersect3 = polyval(p3,x_intersect3);
%line(x3,y3);
x_intersect4 = fzero(@ (x) polyval(p4-p50,x),3);
y_intersect4 = polyval(p4,x_intersect4);
%line(x4,y4);
x_intersect5 = fzero(@ (x) polyval(p5-p50,x),3);
y_intersect5 = polyval(p5,x_intersect5);
%line(x5,y5);
x_intersect6 = fzero(@ (x) polyval(p6-p50,x),3);
y_intersect6 = polyval(p6,x_intersect6);
%line(x6,y6);
x_intersect7 = fzero(@ (x) polyval(p7-p50,x),3);
y_intersect7 = polyval(p7,x_intersect7);
%line(x7,y7);
x_intersect8 = fzero(@ (x) polyval(p8-p50,x),3);
y_intersect8 = polyval(p8,x_intersect8);
%line(x8,y8);
x_intersect9 = fzero(@ (x) polyval(p9-p50,x),3);
y_intersect9 = polyval(p9,x_intersect9);
%line(x9,y9);
x_intersect10 = fzero(@ (x) polyval(p10-p50,x),3);
y_intersect10 = polyval(p10,x_intersect10);
%line(x10,y10);

```

```

subplot(1,2,1);
plot(x50,y50,'r',x1,y1,'b',x2,y2,'b',x3,y3,'b',x4,y4,'b',x5,y5,'b');
hold on;
title('Funció Psicometrica EST CONST LLUNY')
xlabel('Segons de arc') % Etiqueta el eje horizontal
ylabel('Percentatge (%)') % Etiqueta el eje vertical
legend('50 %') % Pone una leyenda
axis([((LP*-5)/D)*(648000/pi) ((LP*0)/D)*(648000/pi) 0 100]);

subplot(1,2,2);
plot(x50,y50,'r',x6,y6,'b',x7,y7,'b',x8,y8,'b',x9,y9,'b',x10,y10,'b');
hold on;
title('Funció Psicometrica EST CONST PROP')
xlabel('Segons de arc') % Etiqueta el eje horizontal
ylabel('Percentatge (%)') % Etiqueta el eje vertical
legend('50 %') % Pone una leyenda
axis([((LP*0)/D)*(648000/pi) ((LP*+5)/D)*(648000/pi) 0 100]);

```

Figura 3.37: En vermell en senyala el càlcul de les equacions de cada parell de punts. En color verd s'indica una funció que calcula els valors "x" i "y" en la intersecció amb la recta "50%". En blau, està indicat el codi que crea la gràfica a partir dels punts mitjançant la funció "subplot".

En aquest instant es fa l'equació de la recta de tots els punts, és a dir, l'equació entre el punt 0 i l'1, entre l'1 i el 2, i així amb tots els valors. Això s'aconsegueix amb la funció "polyfit". Un cop estan definides les rectes, es calcula la intersecció de cada una d'aquestes rectes amb la recta que esta situada en el "50%", d'aquesta manera sabem quin serà el valor del llinar.

El problema d'això, és que es calcula cada intersecció, quan sabem que no totes les rectes intersecaran físicament per la recta "50%". Aquestes interseccions es guarden en una variable anomenada "x_intersect" i "y_intersect", existeix una intersecció per a cada recta, i es numeren de l'1 al 10.

Finalment es creen dues gràfiques que uneixen cadascun dels punts, una d'elles seran els valors d'estereoagudesesa en visió paral·lela i els altres en visió creuada. S'utilitza la funció "subplot" per tal de crear aquestes gràfiques, que es mostrara en color blau, mentre que la línia de color vermell determinarà el 50% de respostes afirmatives, per tant, on se situaria el llinar. Per tal d'esbrinar el llinar ens hem de fixar en la gràfica en el punt exacte on la gràfica blava i la vermella es creuen, aquest punt serà el llinar.

```
[w1,y] = ginput(1);
if w1>((((LP*-5)/D)*(648000/pi))) && w1<((((LP*-4)/D)*(648000/pi));
plot(x_intersect1,y_intersect1,'x*');
text(x_intersect1,y_intersect1-5,num2str(x_intersect1),'HorizontalAlignment','right')
AEESTCONSC=x_intersect1;
end
if w1>((((LP*-4)/D)*(648000/pi))) && w1<((((LP*-3)/D)*(648000/pi));
plot(x_intersect2,y_intersect2,'x*');
text(x_intersect2,y_intersect2-5,num2str(x_intersect2),'HorizontalAlignment','right')
AEESTCONSC=x_intersect2;
end
if w1>((((LP*-3)/D)*(648000/pi))) && w1<((((LP*-2)/D)*(648000/pi));
plot(x_intersect3,y_intersect3,'x*');
text(x_intersect3,y_intersect3-5,num2str(x_intersect3),'HorizontalAlignment','right')
AEESTCONSC=x_intersect3;
end
if w1>((((LP*-2)/D)*(648000/pi))) && w1<((((LP*-1)/D)*(648000/pi));
plot(x_intersect4,y_intersect4,'x*');
text(x_intersect4,y_intersect4-5,num2str(x_intersect4),'HorizontalAlignment','right')
AEESTCONSC=x_intersect4;
end
if w1>((((LP*-1)/D)*(648000/pi))) && w1<((((LP*0)/D)*(648000/pi));
plot(x_intersect5,y_intersect5,'x*');
text(x_intersect5,y_intersect5-5,num2str(x_intersect5),'HorizontalAlignment','right')
AEESTCONSC=x_intersect5;
end
if w1>((((LP*0)/D)*(648000/pi))) && w1<((((LP*1)/D)*(648000/pi));
plot(x_intersect6,y_intersect6,'x*');
text(x_intersect6,y_intersect6-5,num2str(x_intersect6),'HorizontalAlignment','right')
AEESTCONSC=x_intersect6;
end
if w1>((((LP*1)/D)*(648000/pi))) && w1<((((LP*2)/D)*(648000/pi));
plot(x_intersect7,y_intersect7,'x*');
text(x_intersect7,y_intersect7-5,num2str(x_intersect7),'HorizontalAlignment','right')
AEESTCONSC=x_intersect7;
end
if w1>((((LP*2)/D)*(648000/pi))) && w1<((((LP*3)/D)*(648000/pi));
plot(x_intersect8,y_intersect8,'x*');
text(x_intersect8,y_intersect8-5,num2str(x_intersect8),'HorizontalAlignment','right')
AEESTCONSC=x_intersect8;
end
```

Figura 3.38: Codi que permet seleccionar el punt d'intersecció entre les dues rectes i seguidament, mostra i guarda el resultat.

Un cop es mostra la gràfica, aquest no presenta cap valor, per tal d'obtenir el valor del llindar s'ha introduït una nova funció anomenada "ginput" que permet clicar amb el ratolí en la gràfica, la utilitat d'aquesta funció és que guarda les coordenades "x" i "y" del lloc exacte on s'ha clicat en la gràfica. D'aquesta manera hem de clicar en la part on les gràfiques es creuen, en tan bon punt ho fem, el programa detecta que s'ha clicat en una determinada recta de la funció, llavors busca la intersecció d'aquesta mateixa recta amb la recta "50%", és a dir, busquem el valor "x_intersect" i "y_intersect" de la recta seleccionada.

Una vegada tenim el valor "x_intersect", es situa un petit marcador de color vermell just en la intersecció i mostra el resultat en la gràfica.

En el nostre cas el procés s'ha de fer dos cops, ja que s'han creat dues gràfiques a causa que es mesura l'estereoagudesa en visió creuada i en visió paral·lela, i s'obtindrà el llindar per a cada una d'elles.

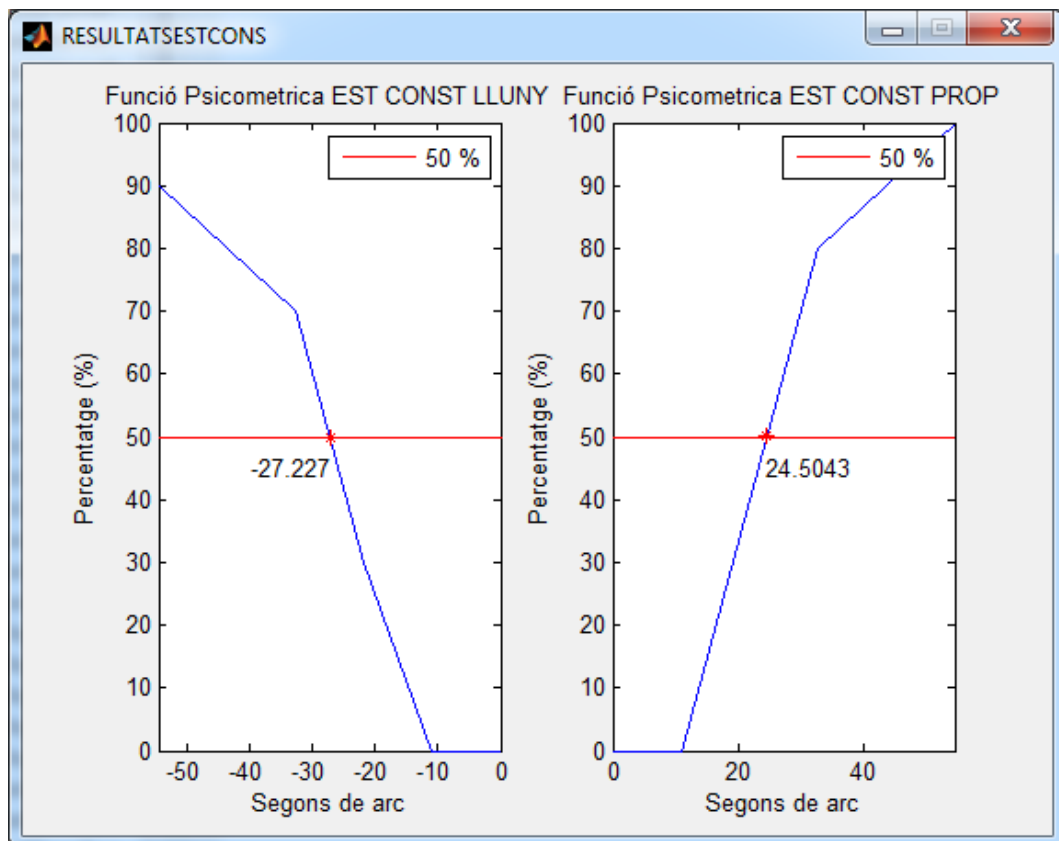


Figura 3.39: Funció psicomètrica calculada a partir del mètode dels estímuls constants. La línia blava correspon a la probabilitat de veure cada estímulo en profunditat, i la línia vermella representa el valor del llindar.

```

AEESTCONSMI=(abs(AEESTCONSL)+abs(AEESTCONSC))/2;

Arxiu=[EN,'FuncioPeM EST CONST'];
NameFUN=strcat(Arxiu,'.fig');
NameIMG=strcat(Arxiu,'.jpg');
FUNSAVE=[FolderRES,NameFUN];
IMGSAVE=[FolderRES,NameIMG];
saveas(gcf,FUNSAVE,'fig');
print(gcf,'-djpeg',IMGSAVE);

[w3,y]=ginput(1);
close;

```

Figura 3.40: En vermell es mostra el codi que guarda les dades al programa. En verd se senyala el moment en el qual es guarda la funció psicomètrica en dos formats, el format .fig i el format d'imatge més utilitzat .jpg.

Finalment, un cop es mostra la funció i els valors del llindar, hem de clicar en la figura per tercera i última vegada, en tan bon punt ho fem, estarem guardant el valor del llindar, i s'estarà guardant la gràfica de la funció psicomètrica en dos formats, en format .fig i en format imatge .jpg, a la carpeta RESULTATS. Un cop fet això, retornem al menú principal.

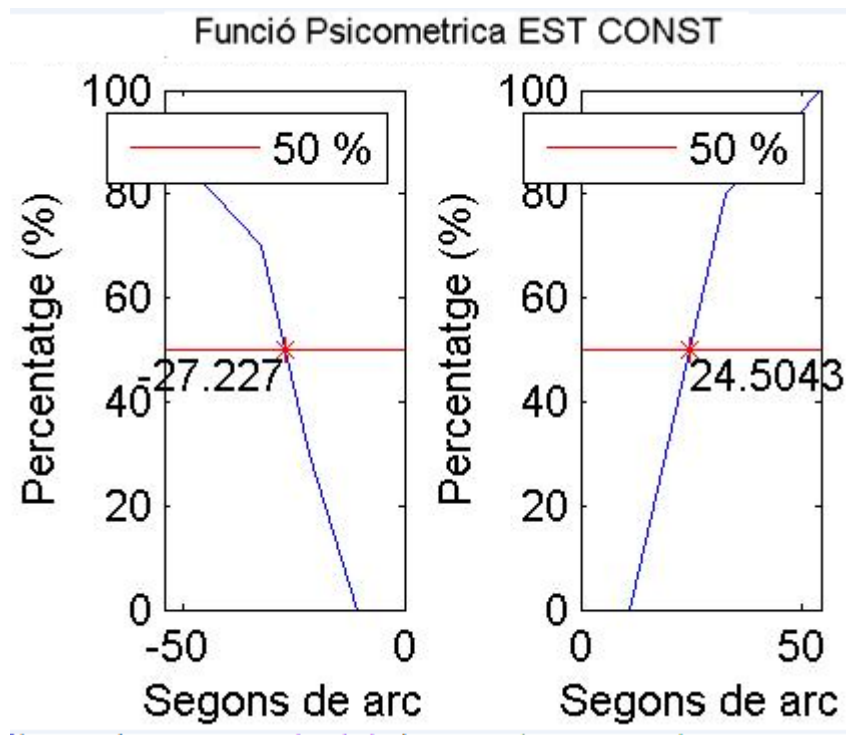


Figura 8.41: Imatge .jpg de la funció psicomètrica.

L'últim mètode que crearem serà el mètode de l'elecció forçada. En aquest mètode es realitzarà de manera molt semblada al dels estímuls constants respecte a aleatorietat dels


```

function Prim
    if Br==1;
    R(e)=1; % Registro de las respuestas del paciente
    else
    R(e)=0;
    end
    e=e+1;
    close;
    if e==111
    for k=1:110
        Rordenada(I(k))=R(k); % Respuestas del paciente
    end

        RESULTATSELFOR;

    else

        Br=rand;
    if Br>=0 && Br<=0.25;
        Br=1;
    end
    if Br>0.25 && Br<=0.5;
        Br=2;
    end
    if Br>0.5 && Br<=0.75;
        Br=3;
    end
    if Br>0.75 && Br<=0.999;
        Br=4;
    end

        if Br==1;
        strp1=num2str(-1);
        strp=num2str(M1(e));
        er=strcat(strp,strp1);
        Arxiu=[er,'Figura'];
        NameFIG=strcat(Arxiu,'.fig');
        FIGSAVE=[FolderFIG,NameFIG];

        IMATGES = open (FIGSAVE);

        set (IMATGES,'KeyPressFcn',@keyDownListener)

    end
end

```

Figura 8.43: Funció “Prim”, que s’executarà quan es premi el botó 1. En color verd es guardaran les respostes positives en valor 1 i les negatives en valor 0, en color blau es mostra el codi que determinés de manera aleatòria on es situarà el pròxim estímul. I en color vermell la funció “RESULTATSELFOR” que mostrarà la pertinent gràfica.

Un cop es mostra la primera figura, el programa sap on està situada, i segons la resposta de l’observador, el valor serà 1 si encerta i 0 si falla, d’aquesta manera obtindrem un percentatge de respostes encertades. Un cop resposta, se sorteja de nou la posició de la imatge per al següent estímul. Aquest procés es repeteix fins que s’han presentat els 110 estímuls. Cal dir, que es presentaran 10 estímuls des de -5 a +5 de decalatge, però que es mostraran en diferents posicions de manera aleatòria.

```

p1 = polyfit(x1,y1,1);
p2 = polyfit(x2,y2,1);
p3 = polyfit(x3,y3,1);
p4 = polyfit(x4,y4,1);
p5 = polyfit(x5,y5,1);
p6 = polyfit(x6,y6,1);
p7 = polyfit(x7,y7,1);
p8 = polyfit(x8,y8,1);
p9 = polyfit(x9,y9,1);
p10 = polyfit(x10,y10,1);

x_intersect1 = fzero(@(x) polyval(p1-p50,x),3);
y_intersect1 = polyval(p1,x_intersect1);
%line(x1,y1);
x_intersect2 = fzero(@(x) polyval(p2-p50,x),3);
y_intersect2 = polyval(p2,x_intersect2);
%line(x2,y2);
x_intersect3 = fzero(@(x) polyval(p3-p50,x),3);
y_intersect3 = polyval(p3,x_intersect3);
%line(x3,y3);
x_intersect4 = fzero(@(x) polyval(p4-p50,x),3);
y_intersect4 = polyval(p4,x_intersect4);
%line(x4,y4);
x_intersect5 = fzero(@(x) polyval(p5-p50,x),3);
y_intersect5 = polyval(p5,x_intersect5);
%line(x5,y5);
x_intersect6 = fzero(@(x) polyval(p6-p50,x),3);
y_intersect6 = polyval(p6,x_intersect6);
%line(x6,y6);
x_intersect7 = fzero(@(x) polyval(p7-p50,x),3);
y_intersect7 = polyval(p7,x_intersect7);
%line(x7,y7);
x_intersect8 = fzero(@(x) polyval(p8-p50,x),3);
y_intersect8 = polyval(p8,x_intersect8);
%line(x8,y8);
x_intersect9 = fzero(@(x) polyval(p9-p50,x),3);
y_intersect9 = polyval(p9,x_intersect9);
%line(x9,y9);
x_intersect10 = fzero(@(x) polyval(p10-p50,x),3);
y_intersect10 = polyval(p10,x_intersect10);
%line(x10,y10);

subplot(1,2,1);
plot(x50,y50,'r',x1,y1,'b',x2,y2,'b',x3,y3,'b',x4,y4,'b',x5,y5,'b');
hold on;
title('Funció Psicometrica EL FOR LLUNY')
xlabel('Segons de arc') % Etiqueta el eje horizontal
ylabel('Percentatge (%)') % Etiqueta el eje vertical
legend('62.5 %') % Pone una leyenda
axis([((LP*-5)/D)*(648000/pi) ((LP*0)/D)*(648000/pi) 0 100]);

subplot(1,2,2);
plot(x50,y50,'r',x6,y6,'b',x7,y7,'b',x8,y8,'b',x9,y9,'b',x10,y10,'b');
hold on;
title('Funció Psicometrica EL FOR PROP')
xlabel('Segons de arc') % Etiqueta el eje horizontal
ylabel('Percentatge (%)') % Etiqueta el eje vertical
legend('62.5 %') % Pone una leyenda
axis([((LP*0)/D)*(648000/pi) ((LP*+5)/D)*(648000/pi) 0 100]);

```

Figura 8.44: En vermell en senyala el càlcul de les equacions de cada parell de punts. En color verd s'indica una funció que calcula els valors “x” i “y” en la intersecció amb la recta “62,5%”. En blau, està indicat el codi que crea la gràfica a partir dels punts mitjançant la funció “subplot”.

En aquesta part del codi es calcula les gràfiques de probabilitat segons el decalatge de la imatge, l'única diferència amb el mètode dels estímuls constants es que la interacció no serà al “50%”, si no al “62,5%”.

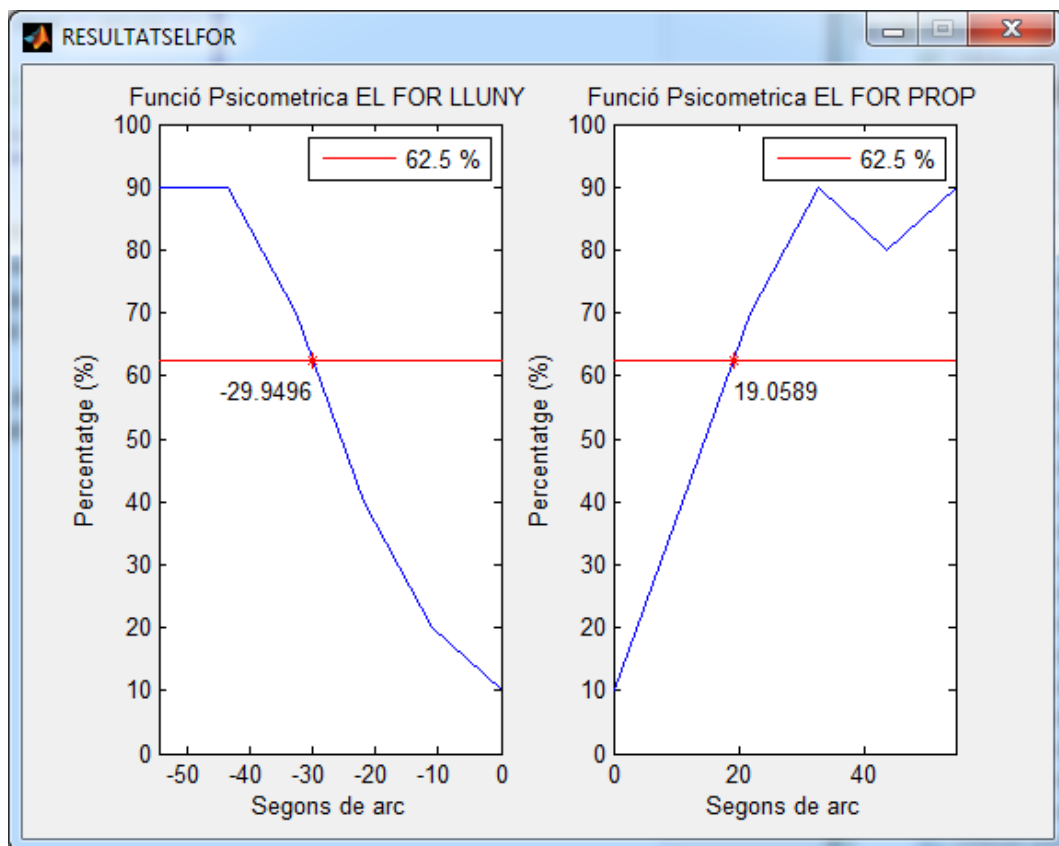


Figura 8.45: Funció psicomètrica calculada a partir del mètode de l'elecció forçada. La línia blava correspon a la probabilitat de veure cada estímul en profunditat, i la línia vermella representa el valor del llindar.

Com a la gràfica dels estímuls constants, es clica a la intersecció de les dues rectes per obtenir els valors d'estereoagudeses.

6. Mostrar i guardar resultats

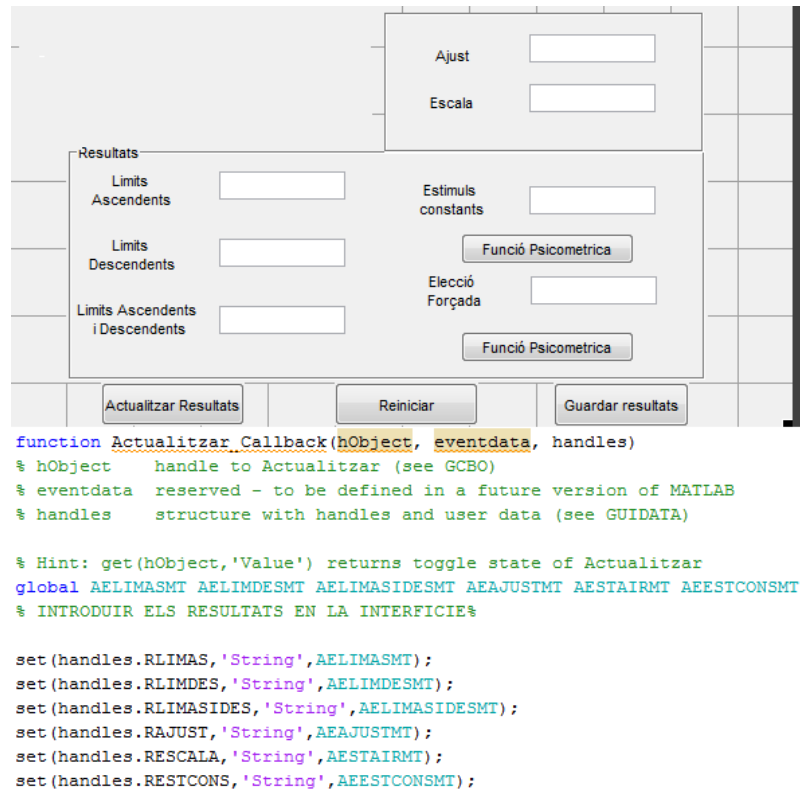


Figura 8.46: Apartat de resultats del menú principal. En la part inferior s’observa el codi del botó “Actualitzar Resultats”.

En aquest apartat es mostrarà els resultats que s’han anat fent mitjançant els mètodes psicofísics. Amb el botó “Actualitzar Resultats” mostrarem en cadascuna de les caselles els resultats obtinguts. Com es pot veure en el codi del botó, no es realitza cap operació matemàtica, simplement s’utilitza la funció “global” que recupera les variables, els càlculs de cada mètode es realitzaven en el mateix moment, per tant, sol cal recuperar els valors emmagatzemats en variables, i mitjançant la funció “set”, els valors es mostren en les caselles corresponents. Cal a dir que es mostrarà simplement la mitjana aritmètica de totes les mesures, hi ha una gran quantitat de variables que aquí no es mostraran.

Un altre botó que crida l’atenció, és el botó “Funció Psicomètrica” que es troba conjuntament amb els resultats del mètode dels estímuls constants i de l’elecció forçada. Aquest botó obrirà la figura guardada de la funció psicomètrica per consultar-la en quan faci falta sense entrar en el directori principal.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
1	TNO	TITMUS	LIM AS	M LIM AS	LIM DES	M LIM DES	LIM AS I DES	LIM AS I DES	LIM AS I DES	M LIM AS I D	IAJUST	MAJUST	ESCALA	M ESCALA	EST CONS	
2		30	40	27,2269544	326,723453	27,2269544	27,2269544					81,6808633	27,2269544			
3				27,2269544	136,134772	27,2269544	27,2269544					54,4539088	54,4539088			
4				27,2269544	27,2269544	163,361727	196,034072	-54,4539088		47,6471702		27,2269544	70,7900815	27,2269544	43,5631271	32,6723453
5				27,2269544		217,815635		-81,6808633	-68,0673861			81,6808633		54,4539088		
6				27,2269544		136,134772						108,907818		54,4539088		
7				27,2269544			179,697899	27,2269544					81,6808633		51,7312134	36,7563885
8				-27,2269544		-163,361727		54,4539088	40,8404316			-108,907818		-54,4539088		
9				-27,2269544		-163,361727		-54,4539088		95,2943405		-81,6808633		-54,4539088		
10				-27,2269544	-27,2269544	-163,361727	-163,361727	-245,04259	-149,748249			-108,907818	-92,571645	-54,4539088	-59,8992997	-40,8404316
11				-27,2269544		-163,361727						-81,6808633		-81,6808633		
12				-27,2269544		-163,361727		54,4539088				-81,6808633		-54,4539088		
13								-54,4539088	0		69,4287338					
14								-163,361727		68,0673861						
15								-108,907818	-136,134772							
16																
17								54,4539088								
18								81,6808633	68,0673861							
19								-108,907818		81,6808633						
20								-81,6808633	-95,2943405							
21																
22								27,2269544								
23								54,4539088	40,8404316							
24								-54,4539088		54,4539088						
25								-81,6808633	-68,0673861							

Figura 8.48: Arxiu Excel amb totes les dades guardades.

	A	B	C	D
1	Estereoagudesesa CONST	Percentatge CONST		
2	-54,45390885	90		
3	-43,56312708	80		
4	-32,67234531	70		
5	-21,78156354	30		
6	-10,89078177	0		
7	0	0		
8	10,89078177	0		
9	21,78156354	40		
10	32,67234531	80		
11	43,56312708	90		
12	54,45390885	100		
13				

Figura 8.49: Fulla 2 de l'arxiu Excel amb els percentatges dels estímuls constants.

Finalment s'obrirà l'arxiu Excel corresponent, i podrem comprovar a l'instant si totes les dades estan introduïdes. La prova haurà terminat per a l'observador, i ja podrem prémer el botó reiniciar, ja que les dades estan totes guardades a la carpeta RESPUESTAS.

La manera de guardar els resultats en cel·les es descriu detalladament en els annexos d'aquest treball.

- Columna A: Estereoagudesesa obtinguda amb test TNO.
- Columna B: Estereoagudesesa obtinguda amb test Randot.

- Columna C: Diferents mesures obtingudes pel mètode dels límits ascendents. Els primers cinc valors corresponen a les cinc mesures de l'estereoagudesesa en visió creuada i els altres cinc corresponen a estímuls en visió paral·lela.
- Columna D: En aquesta columna es mostrarà la mitjana dels cinc valors d'estereoagudesesa obtinguts en visió paral·lela, la mitjana dels valors en visió creuada, i finalment la mitjana de tots els resultats.
- Columna E: Diferents mesures obtingudes pel mètode dels límits descendents. Els primers cinc valors corresponen a les cinc mesures de l'estereoagudesesa en visió creuada, i els altres cinc corresponen a estímuls en visió paral·lela.
- Columna F: En aquesta columna es mostrarà la mitjana dels cinc valors d'estereoagudesesa obtinguts en visió paral·lela, la mitjana dels valors en visió creuada, i finalment la mitjana de tots els resultats.
- Columna G: En aquesta columna es mostra cada un de les mesures realitzades mitjançant el mètode dels límits.
- Columna H: En aquesta columna es mostra el llindar superior i inferior de cada una de les cinc mesures realitzades anteriorment.
- Columna I: En aquesta columna es mostra el valor de l'estereoagudesesa obtingut per el mètode dels límits, que surt de la mitjana del llindar superior i inferior.
- Columna J: En aquesta columna es mostra la mitjana dels cinc resultats del mètode dels límits ascendents i descendents.
- Columna K: En aquesta columna es mostra el valor de l'estereoagudesesa obtingut pel mètode de l'ajust, els primers cinc valors corresponen a visió paral·lela mentre que els cinc restants són en visió creuada.
- Columna L: En aquesta columna es mostrarà la mitjana dels cinc valors d'estereoagudesesa obtinguts en visió paral·lela, la mitjana dels valors en visió creuada, i finalment la mitjana de tots els resultats mitjançant el mètode de l'ajust.
- Columna M: En aquesta columna es mostra el valor de l'estereoagudesesa obtingut pel mètode de l'escala, els primers cinc valors corresponen a visió creuada mentre que els cinc restants són en visió paral·lela.
- Columna N: En aquesta columna es mostrarà la mitjana dels cinc valors d'estereoagudesesa obtinguts en visió paral·lela, la mitjana dels valors en visió creuada, i finalment la mitjana de tots els resultats del mètode anterior.
- Columna O: En aquesta columna es mostraran els resultats obtinguts durant la prova dels estímuls constants, els valors que es mostraran són, l'estereoagudesesa en visió paral·lela, en visió creuada, i finalment una mitjana dels dos valors.

Una vegada hem clicat a "Reiniciar" ja pot fer-se les proves a un nou observador.

ANEXO 2: Consentiment Informat.



ESTUDI PER VALORAR L'ESTEREOAGUDESA AMB UN PROGRAMA D'ORDINADOR

Si us plau, llegeixi atentament aquest full d'informació:

Jo, Adrià Aniento Navarrete estic realitzant un estudi en el qual se li convida a participar, l'objectiu del qual és poder mesurar el valor de la visió en tres dimensions o en profunditat utilitzant diferents mètodes psicofísics de mesura.

Ens dirigim a vost  per a sol·licitar-li la seva autorització per a participar en aquest estudi.

La seva participació en l'estudi es limitar  a una recollida de dades que permetin determinar l'estat de la visió en profunditat amb un programa per ordinador, i per tant, realitzarem una sèrie de **proves oculars no invasives** per poder obtenir la informació necessària.

La primera prova consisteix a **avaluar l'estat refractiu i l'estat de la binocularitat** del pacient mitjançant la realització d'un cribratge (Agudeses visuals i estereoagudeses)

La segona prova consisteix a **mesurar la visió en profunditat** de cada pacient utilitzant el programa d'ordinador. Per aix  col·locarem unes **ulleres anaglífiques** (Vermell-Cyan) i situarem el pacient a una distància de 4 metres. El pacient haurà d'observar en la pantalla d'ordinador els diferents test d'estereopsis que se li presentaran, e indicar en cada cas si el veu en profunditat o no.

Jo _____

amb D.N.I. _____

He llegit el full de consentiment informat que se m'ha lliurat.

Dono lliurement la meva conformitat per a participar en l'estudi.

Dono autorització per utilitzar les meves dades clíniques per a estudis científics.

Pacient _____

Estudiant del TFG _____

Terrassa, dia _____ de _____ de 2014

ANEXO 3: Plantilla horari.

HORARI	LUNES 6-10	MARTES 7-10	MIERCOLES 8-10	JUEVES 9-10	VIERNES 10-10
8:00					
9:00					
10:00					
11:00					
12:00					
13:00					
14:00					
15:00					
16:00					
17:00					
18:00					
19:00					

HORA RI	LUNES 13-10	MART ES 14-10	MIERCOLES 15-10	JUEVE S 16-10	VIERNES 17-10
8:00					
9:00					
10:00					
11:00					
12:00					
13:00					
14:00					
15:00					
16:00					
17:00					
18:00					
19:00					

HORARI	LUNES 20-10	MARTES 21-10	MIERCOLES 22-10	JUEVES 23-10	VIERNES 24-10
8:00					
9:00					
10:00					
11:00					
12:00					
13:00					
14:00					
15:00					
16:00					
17:00					
18:00					
19:00					
20:00					

HORARI	LUNES 27-10	MARTES 28-10	MIERCOLES 29-10	JUEVES 30-10	VIERNES 31-10
8:00					
9:00					
10:00					
11:00					
12:00					
13:00					
14:00					
15:00					
16:00					
17:00					
18:00					
19:00					
20:00					

ANEXO 4: Participació a l'estudi.



ESTUDI PER VALORAR L'ESTEREOAGUDESA AMB UN PROGRAMA D'ORDINADOR

Jo, Adrià Aniento Navarrete estic realitzant un estudi en el qual se li convida a participar, l'objectiu del qual és poder mesurar el valor de la visió en tres dimensions o en profunditat utilitzant diferents mètodes psicofísics de mesura.

La seva participació en l'estudi es limitarà a una recollida de dades que permetin determinar l'estat de la visió en profunditat amb un programa per ordinador, i per tant, realitzarem una sèrie de **proves oculars no invasives** per poder obtenir la informació necessària.

La primera prova consisteix a **avaluar l'estat refractiu i l'estat de la binocularitat** del pacient mitjançant la realització d'un cribratge (Agudeses visuals i estereoagudeses)

La segona prova consisteix a **mesurar la visió en profunditat** de cada pacient utilitzant el programa d'ordinador. Per això col·locarem unes **ulleres anaglífiques** (Vermell-Blau) i situarem el pacient a una distància de 5 metres. El pacient haurà d'observar en la pantalla d'ordinador els diferents test d'estereopsis que se li presentaran, e indicar en cada cas si el veu en profunditat o no.

Totes les mesures es realitzaran al laboratori d'Òptica Fisiològica (033), i s'allargaran durant una hora aproximadament. Interessats a participar en l'estudi apuntar el nom en l'horari més apropiat, i darrere el full posar el nom complet i el número de telèfon.

HORARI DE REALITZACIÓ DE LES PROVES

HORARI	LUNES 27-10	MARTES 28-10	MIERCOLES 29-10	JUEVES 30-10	VIERNES 31-10
9:00					
10:00					
11:00					
12:00					
13:00					
14:00					
15:00					
16:00					
17:00					
18:00					
19:00					

GRACIES PER LA VOSTRA ATENCIÓ