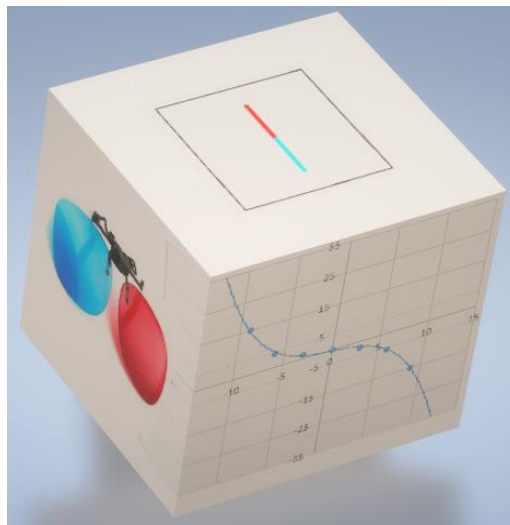




GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

TRABAJO FINAL DE GRADO

DETERMINACIÓN DE CURVAS DE DISPARIDAD DE FIJACIÓN CON LA AYUDA DE UN DISPARÓMETRO ANAGLÍFICO



SALVADOR GARCÍA CAÑETE

DIRECTORA: Montserrat Tàpias Anton
DEPARTAMENTO: Óptica y Optometría

24/01/2019



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

DETERMINACIÓN DE CURVAS DE DISPARIDAD DE FIJACIÓN CON LA AYUDA DE UN DISPARÓMETRO ANAGLÍFICO

RESUMEN

La diferencia de alineación de los ejes visuales en la disparidad de fijación en la gran mayoría de situaciones se produce como un efecto fisiológico no produciendo sintomatología al paciente.

Sin embargo, existen ciertas situaciones en las que la disparidad de fijación sí que produce sintomatología al paciente, produciéndose como consecuencia del estrés de los sistemas de vergencia y acomodativo con el objetivo de mantener la visión binocular.

Debido a la importancia clínica se va a proceder a la fabricación de un disparómetro anaglífico en formato digital para presentarlo a una distancia de observación de 40cm y analizar la disparidad de fijación a una muestra de 30 pacientes mediante la curvas de disparidad de fijación de vergencias forzadas.

Se analizan las limitaciones físicas de implementar el test en la Tablet (resolución del estímulo, influencia de la aberración cromática, problemática de los colores RGB del pixel y las características espectrales, cromáticas y fotométricas de los colores empleados)

El disparómetro tiene una resolución de 1.15 minutos de arco hasta 33.35 min de arco.

Las medidas de la disparidad de fijación indican que el 63% presentan exodisparidad, el 30% endodisparidad y el 7% ortodisparidad de fijación.

En cuanto a la tipología de las curvas el 93% son de tipo I, el 3.33 % son tipo II y el 3.33% son de tipo III.

La robustez del sistema de vergencias es analizada por la pendiente de las curvas de disparidad de fijación. Se tienen en cuenta dos métodos (punto de inflexión y método de Goss) y la relación existente entre ellos ($R=0.931$).

El 25% de la muestra de pacientes presentan una mala robustez del sistema visual binocular y tienen mayor probabilidad de presentar sintomatología ante un cambio de vergencias.

Palabras claves: *Disparidad de fijación, disparómetro, curvas de vergencias forzadas, foria asocia.*



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

DETERMINATION OF FIXED DISPARITY CURVES WITH THE HELP OF AN ANAGLYPH DISPAROMETRE

SUMMARY

The difference in alignment of the visual axes in the fixation disparity occurs in the vast majority of situations as a physiological effect, not producing symptomatology to the patient.

However, there are certain situations in which the disparity fixation does produce symptomatology to the patient, as a result from the stress of the vergence and accommodative systems in order to maintain the binocular vision.

Due to the clinical importance, we will proceed to the manufacture of an anaglyph disparometer in digital format to present it to an observation distance of 40cm and to analyze the disparity of fixation to a sample of 30 patients through the disparity curves of fixation of forced vergences.

The physical limitations of implementing the test on the Tablet are analyzed (stimulus resolution, influence of the chromatic aberration, problematic of the pixels RGB colors and the spectral, chromatic and photometric characteristics of the colors used).

The disparometer has a resolution of 1.15 minutes of arc up to 33.35 minutes of arc.

The results of the measurements of the disparity fixation indicate that the 63% of the patients present exodisparity, the other 30% endodisparity and the last 7% present ortodisparity fixation.

In terms of the typology of the curves, 93% are type I, 3.33% are type II and 3.33% are type III.

The robustness of the vergence system is analyzed by the slope of the curves of fixation disparity. Two methods are taken into account (the inflection point and the Goss method) and also the relationship between them ($R = 0.931$).

The 25% of the sample of patients present a poor robustness of the visual system and are more likely to present symptomatology in front of a change of vergences.

Key words: Fixation disparity, disparometer, fixation disparity curve, associated phoria.



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

DETERMINACIÓ DE CORBES DE DISPARITAT DE FIXACIÓ AMB L'AJUT D'UN DISPARÒMETRE ANAGLÍFIC

RESUMEN

La diferència en l'alineació dels eixos visuals a la disparitat de fixació a la majoria de situacions es produeix com un efecte fisiològic no produeix simptomatologia del pacient.

No obstant això, hi ha certes situacions en què la disparitat de fixació produeix simptomatologia al pacient, resultant de l'estrès dels sistemes de vora i acomodatiu amb l'objectiu de mantenir la visió binocular.

Per la importància clínica es procedirà a la fabricació de un anàglif disparòmetre en format digital, per presentar-lo a una distància d'observació de 40 cm i analitzar la disparitat de fixació a una mostra de 30 pacients a través de les corbes de la disparitat de Fixació de la vergències forçades.

Les limitacions físiques de l'aplicació de la prova a la pastilla són analitzats (resolució estímulo, influència de l'Aberració cromàtica, problemàtica dels colors RGB de píxel i les característiques espectrals, cromàtiques i fotomètriques dels colors utilitzats)

La Disparòmetro té una resolució de 1,15 minuts d'arc fins a 33.35 min d'Arc.

Les mesures de la disparitat de fixació indiquen que el 63% presenten Exodisparitat, disparitat 30% i 7% Ortodisparitat de fixació.

Pel que fa a la tipologia de les corbes, 93% són de tipus I, 3.33% són de tipus II i 3.33% són tipus III.

S'analitza la robustesa del sistema Vergències pel pendent de les corbes de disparitat fixació. Dos mètodes (punt d'inflexió i mètode Goss) i la relació entre elles ($R = 0.931$) es tenen en compte.

25% de la Mostra de pacients presenten una mal robustesa del sistema visual i són més propensos a presentar simptomatologia davant un canvi de Vergències.

Paraules clau: *disparitat de fixació, disparòmetre, corbes de vergències forçades, Foria Associates.*



GRADO EN ÓPTICA Y OPTOMETRÍA

ABSTRAT

INTRODUCTION

The difference in alignment of the visual axes of fixation disparity in the vast majority of situations occurs as a physiological effect not producing symptomatology to the patient.

However, there are certain situations in which fixation disparity produces symptoms to the patient, that occurs as a result of the stress of the systems of vergence and accommodative in order to maintain binocular vision.

Due to the clinical importance, we will proceed to the manufacture of an anaglyph disparometer in digital format to present it to an observation distance of 40cm and to analyze the disparity of fixation to a sample of 30 patients through the disparity curves of fixation of forced vergences.

For the manufacture of the disparometer we analyze the physical limitations of implementing the test in the Tablet (stimulus resolution, influence of the chromatic aberration, problematic of the pixels RGB colors and the spectral, chromatic and photometric characteristics of the colors used).

THEORETICAL FRAMEWORK:

Retinal correspondence: It is a binocular property on which there is a close relationship between points of both retinas. Each point of the retina in the right eye has its homologous point in the left eye, so are associated with the same visual direction



The horopter: The horopter is the location of points in space that stimulate the corresponding retinal points, in other words, a multitude of points in the visual space leading to a unique vision.

Panum's fusional area: It is the area in the retina of an eye, whose points, when being stimulated simultaneously with a single point of the retina of the other eye, they give rise to a fused perception. Panum areas are translated into the space object in the form of space of Panum.

Fixation disparity:

Defines the disparity fixation as a slight misalignment of shafts of fixation (of the order of minutes of Arch), although there are single binocular vision and central sensory fusion.

This misalignment can be horizontal, vertical or torsional, whatever it is, the magnitude of the deviation occurs within the Panum's fusional area.

Horizontal fixation disparity is that most often arise in clinical practice. When in binocular vision conditions the visual axes intersect ahead of the object of interest exists endodisparity fixation. If the Visual axes intersect behind the object of interest, we say that there is exodisparity fixation.

There are certain situations in which fixation disparity produces symptoms to the patient. This symptomatology is presented as headaches, attention problems and stenopeic problems, in addition to certain reading habits. Conditions such as migraines and dyslexic patients with reading and learning problems can observed a significant increase in the disparity fixation.

It is possible to test the robustness of sensory fusion increasing the vergence demand by introducing a prism and then measuring how it changes the disparity of fixation according to the power and the prism base. The resulting representation is called forced vergence fixation disparity curve.

The main components of a fixation disparity curve diagnosis are the Y intersection that represents the real disparity fixation measured in minutes of arc in regular visual conditions. The intersection in X, also known as the associated phoria (the necessary quantity of prism to reduce the disparity fixation to zero), the type of curve (which takes into account the form), the slope of the curve and the center of symmetry.

We highlight the following instruments to determinate the curve of disparity fixation at near vision:

Sheedy's disparometer:

Test designed by two polarized sight seen through polarized glasses through a small observation window. The angular separation of these sights gives us the value of disparity fixation.

Wesson's fixation disparity:

The card is designed to be observed with polarized glasses.

An arrow that is seen by the left eye monocularly appears at the bottom of the test and at the top are a number of sights aligned with a variable angular separation which are seen by the right eye monocularly. When the observer looks at the test the bottom arrow must match one of the view from the top. Each partner takes a value in minutes of an arc which determines the fixation disparity.

DISPAROMETER'S MANUFACTURE:

The method we are going to use is similar to Sheedy, in which we will present various stimuli that are viewed monocularly. The difference with the Sheedy method is the disruptive system, instead of polarized glasses we will use an anaglyph filter (red-cyan) and for the presentation of the test, we chose to represent it on a Tablet instead of the printed version to improve the colour reproduction.

For the design of the test we have some physical limitations when it comes to implementing it on the Tablet, such as the resolution of the Tablet (minimum disparity that we can measure), the characteristics of the anaglyph system, the influence of the chromatic aberration and the problematic of the RGB triplets of the Tablet (by the colors of the test, as well as by the position of the pixels in the Tablet).

Measurement of the disparometers resolution.

For the disparometer's manufacture we have a Tablet brand Amazon Fire HD 8, whose resolution is of 800 x 1280 pixels.

For the design of the test we are going to use Photoshop, with which we can create a canvas with a number of pixels equal to the Tablet, this way the displacement of a pixel in Photoshop is equivalent to the same offset on the Tablet.

To calculate the minimum displacement that can be measured in the Tablet, we must calculate the size of our device pixel.

With the manufacturer's specifications, we know that the screen has a density of 189 PPI, this tells us the number of pixels per inch, as we want to get the size of 1 pixel we perform the conversion, considering that 1 inch equals 25.4 mm, the size of a pixel is 0.134 mm.

The minimum value of fixation disparity that we can calculate to a distance of 40 cm is 1.15 minutes of arch.

To select the position in which we present the test on the Tablet, we have to take into account the influence of the RGB triplets, which force us to orient the Tablet in a concrete way so they produce identical displacements at the red and cyan.

Pixels are composed of 3 subpixel RGB (red, green, blue), as we are going to use a red-cyan anaglyph system, this orientation is very important because depends on it that movements in the Tablet happens to be of 1 pixel or 1 pixel plus 1/3 pixel.



In vertical Position we observe that red only would be in a box of pixel and the cyan in two, so the alignment would never be zero, every time we make a displacement of a pixel it would be moving 1 pixel and 1/3 of pixel.

It was decided to introduce the Tablet horizontally, this way the position of the pixel colors does not influence us in the displacement that we are making, when the sights are aligned we are know that we have a fixation disparity that equals zero.

Characteristics of the anaglyph system.

For the manufacture of the disparometer we have chosen an anaglyph disruptive system composed of a red and a cyan filter.

These filters have some complementary transmittances, there is little intersection between them so it will allow to observe each stimulus in a monocular way.

Selection of the test colours.

The purpose of this selection is to observe the stimuli of fixing monocularly, so that when you look through the red filter it can only be observed the cyan color stimulus, and with the cyan filter only perceive the red stimulus, not producing a perception of a ghost image.

We must match the luminance of the white background through the cyan filter and the cyan background through the cyan filter, as with the white background through the red filter.

For the selection of the test colours we have made a series of tests with different shades of red, cyan and grey together with the anaglyph filter. The colors that produce a more homogeneous vision of stimuli through the filters are as follows:

- Red: 254-0-0
- Cyan: 255-255-0
- White (grey) : 250-250-250

With the aim to observe the chromatic, spectral and photometric behavior, we look at the colors of the test through the filter but this time we do it through the spectroradiometer.

The values of luminous intensity, for the case gray background - cyan filter obtained a value of 33.2 cd/m^2 , and in the case of cyan background - cyan filter value is 33.92 cd/m^2 , being brighter the cyan background with cyan filter, but the difference in light intensity is negligible.

The values for the red filter are more similar, being the grey background with the red filter brighter with a value of 6.07 cd/m^2 , but not much different since the red background with the red filter has a value of 5.67 cd/m^2 . Therefore, the difference is smaller than in the case of cyan, being less noticeable.

In regard to the chromaticity of the colors within the visible spectrum shows that the coordinates of the red filter with red background and red filter with the grey background are superimposed. This indicates that the obtained colors are identical, as well as the colors obtained with cyan filter with cyan background and cyan filter with grey background

Design of the test.

For the design of the test we are going to use an ASUS brand computer and with the help of the Photoshop graphic program, we can create a canvas with an equal number of pixels of the Tablet. This way, the displacement of a pixel in Photoshop is equivalent to the same offset on the Tablet.

The size of the test is defined by the dimensions of the Tablet (800 x 1280 pixels).

The test is composed of a main stimulus and then two rows are presented with stimuli with variable decenterings.

Each stimulate is composed by two vertical red and cyan lines seen monocularly, located inside a black frame (fusion block) seen binocularly.

To get the value of fixation disparity, each stimulus is associated with a number that indicates the number of pixels that we have moved between the two vertical lines. Each scroll of 1 pixel is equivalent to 1.15 min of arc.

Operation of the disparometer

- Measurement of disparity.

Indicate to the patient to observe the main stimulus, and ask if it sees the lines perfectly aligned.

They can give us 3 situations:

If the patient observes both lines perfectly aligned, we have an ortodisparity of fixation or fixation disparity equals zero.

If the patient note the top line moved to the lower right, we have an endodisparity of fixation. To measure this disparity we have to indicate to the patient to observe the stimulus of the upper row of the test until they find a stimulus in which the two lines are aligned.

If the patient note the top line moved to the lower left, we have an exodisparity of fixation. To measure this disparity we have to indicate to the patient to observe the stimulus of the bottom row of the test until they find a stimulus in which the two lines are aligned.

- Measurement of the associated phoria.

We indicate to the patient to observe the main stimulus and then ask to the patient if it sees the lines perfectly aligned.

They can give us 3 situations:

The patient observes both lines perfectly aligned, the associated phoria is equal to zero.

The patient notice the top line moved to the lower right, add TB prisms, in steps of 1 diopter prismatic, until the alignment of the lines. The minimum prismatic value to get the alignment of the stimulus is the value of the associated phoria.

The patient notice the top line moved to the lower left, add NB prisms, in steps of 1 diopter prismatic, until the alignment of the lines. The minimum prismatic value to get the alignment of the stimulus is the value of the associated Phoria.

DETERMINATION OF FIXATION DISPARITY CURVES WITH ENFORCED VERGENCES.

For the determination of the curves of disparity of fixation (DF) of enforce vergences we are going to measure the disparity of fixation and the associated phoria to a sample of 30 patients.

After the creation of the curves, we are going to analyze all the data and assess the robustness of the visual system of the sample of patients in order to get the percentage of patients who are more likely to have symptoms when they make a change of vergences.

Sample of patients:

The sample of patients is formed by 30 asymptomatic subjects, 50% are women and 50% are men.

The age is between 19 and 59, being the average age of 32 years.

Results

The results show that 63% of the patients present exodisparity, 30% present endodisparity and the remaining 7% present ortodisparity of fixation.

Preparation of curves of disparity of fixation with forced vergencias

For the preparation of the curves of fixation disparity we graphically represent all values of fixation disparity and adjust this graphic to a degree 3 polynomial.

Analysis of the fixation disparity curves

In this section we will analyze the curves of disparity of fixation according to their typology, the degree of the curve setting to the values of the sample (R^2), the slope and the robustness of the vergences.

Observing the symmetry of the curves we can see that they are distributed in the following way: the 93.33% of the sample of patient's lies within the type 1, and type 2 and 3 have an equal value of 3.33%.

With the adjustment of the curves to a polynomial of degree 3 we obtain the coefficient of determination (R^2). That indicates the degree of the curve setting to the values of the sample.

We note that all R^2 values are quite superior to 0 and are close to 1, so we can confirm that the disparity curves are reliable representations of the data that we have obtained in practice.

To assess the robustness of the vergence system we will analyze the slopes of the curves of fixation disparity. To do this we will use two methods:

The turning point method: this method is based on the calculation of the slope at the point of fixation disparity curve bend based on the polynomial degree 3 obtained in the setting of the curves.

Goss method: For the calculation of this method, Goss indicated that the slope is not calculated on adjusted function, if not, in the central portion, specifically the section spanning from the value obtained for 3 diopter prismatic NB to the value obtained for 3 TB.

To assess the relationship between both methods we will use the coefficient of linear correlation (r), this way we evaluate the linear association between two variables

The value of the coefficient of linear correlation r is 0.931. The retrieved value indicates a very strong linear relationship, therefore, both methods are reliable for the determination of the slopes.

Therefore the 75% of the sample of patients have greater robustness of the vergence system compared with the 25% who are more likely to have symptoms.

CONCLUSION

An anaglyph disparometer type Sheedy has been developed to be implemented on a Tablet of 8" with resolution of 1.15 minutes of arc and up to a value of 33.35 minutes of arc. For this, previously, the colors are spectrally calibrated to use filtered by the anaglyphic glasses and has been proven that both chromatically and photometrically are suitable for such use.

The design of the disparometer stimuli, has been made bearing in mind that the test must have a fusionable black frame as control of the vergences and the monocular stimulus cyan and red. It has been conducted with Photoshop which has made possible to control pixel to pixel the positioning of each of the elements.

It has been measured the disparity of fixation to a sample of 30 patients. Starting from the values obtained from disparity and associated phoria, it has been built the curves of disparity of each forced vergences with the purpose of observing the robustness of the vergences system.

The 63% of patients show exodisparity, the 30% endodisparity and the remaining 7% ortodisparity.

For the creation of fixation disparity curves we have adjusted the experimental data to a degree 3 polynomial, obtaining an average value of $R^2 = 0.99$. They are reliable representations of the data that we have obtained in the practice.

We classify the patients according to the typology of the curves of disparity of forced vergences. The 93.33% are type I, the 3.33% are type II and the remaining 3.33% are type III.



For the analysis of the robustness of the vergence system, it has been made a comparison between the turning point method and the Goss method.

With these two methods we calculate the slope of the adjusted curve. To value the relation that exists between both methods we have used the coefficient of linear correlation. The value obtained $r=0.931$, which shows us a very strong linear relation between both methods.

Therefore in terms of clinical relevance of the obtained values we conclude that 75% of patient sample has a good robustness of its vergence system compared with the 25% of the sample of patients who are more likely to present symptoms when they make a vergence change.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL ESTUDIO.....	1
2. MARCO TEÓRICO	2
2.1 Correspondencia retiniana	2
2.2 El horóptero	2
2.3 Área fusional de Panum	3
2.4 Disparidad de fijación.....	4
2.5 Instrumentos de medida	11
3. FABRICACIÓN DEL DISPARÓMETRO.....	15
3.1 Resolución del disparómetro.	16
3.2 Características del sistema anaglífico.	19
3.3 Selección de los colores del test.	20
3.4 Diseño del test.....	25
3.5 Funcionamiento del disparómetro	30
4. DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE DISPARIDAD DE FIJACIÓN CON VERGENCIAS FORZADAS.....	36
4.1 Muestra de pacientes.....	36
4.2 Datos experimentales.	38
4.3 Elaboración de las curvas de disparidad de fijación con vergencias forzadas	41
4.4 Análisis de las curvas de disparidad de fijación convergencias forzadas	41
5. CONCLUSIÓN.....	49
6. BIBLIOGRAFÍA	51
7. ANEXOS.....	52



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVO DEL ESTUDIO.

La visión binocular es el proceso de integración de las imágenes retinianas de cada ojo en una percepción simple tridimensional. Para que esto se produzca es necesario que exista un buen alineamiento de los ojos para que se estimulen puntos retinianos correspondientes o dentro de las áreas de Panum y que las imágenes recibidas por ambas retinas sean muy parecidas.

Es imprescindible que ambos ojos sean capaces de fijar sobre el mismo objeto y que no exista ninguna alteración de la imagen retiniana, de su transmisión y de la elaboración cortical de la percepción visual.

La diferencia de alineación de los ejes visuales en la disparidad de fijación en la gran mayoría de situaciones se produce como un efecto fisiológico no produciendo sintomatología al paciente.

Sin embargo, existen ciertas situaciones en las que la disparidad de fijación sí que produce sintomatología al paciente, produciéndose como consecuencia del estrés de los sistemas de vergencia y acomodativo con el objetivo de mantener la visión binocular.

El objetivo de este trabajo es la medida, análisis y valoración de la disparidad de fijación.

Para medir la disparidad de fijación se va a fabricar un disparómetro anaglífico en una Tablet, para ello se debe analizar las limitaciones físicas de implementar el test en la Tablet (resolución del test, influencia de la aberración cromática, problemática de las tripletas RGB del pixel, las características espectrales, cromáticas y fotométricas de los colores usados en la Tablet.)

Para el análisis se va a realizar la medida de la disparidad de fijación a una muestra de 30 pacientes para posteriormente representar las curvas de disparidad de fijación de vergencias forzadas.

Para la valoración, se analizan las curvas de disparidad de fijación de cada paciente, con el propósito de medir la robustez del sistema de visión binocular y detectar a los pacientes que tengan mayor probabilidad de presentar sintomatología a la hora de mantener la visión binocular ante un cambio de vergencias.

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Correspondencia retiniana

Es una propiedad binocular en la que está presente la relación existente entre puntos de ambas retinas. Cada punto de la retina derecha, que tiene asociada una dirección visual concreta, tiene su punto homólogo en la retina izquierda, que es aquel que tiene asociada la misma dirección visual.

A esta pareja de puntos homólogos que tienen asociada la misma dirección visual se les denomina puntos retinianos correspondientes.

2.2 El horóptero

Nuestro mundo visual está compuesto de múltiples puntos, de ahí la necesidad de desarrollar conceptos para tratar todo el espacio visual.

El horóptero es el lugar de los puntos en el espacio que estimulan los puntos retinianos correspondientes, es decir, una multitud de puntos en el espacio visual que conducen a una visión única.

Por lo tanto, para un punto de fijación dado, es el lugar geométrico de todos aquellos puntos del espacio objeto que estimulan puntos retinianos correspondientes, sin la necesidad de que se produzcan movimientos oculares de tipo fusional.

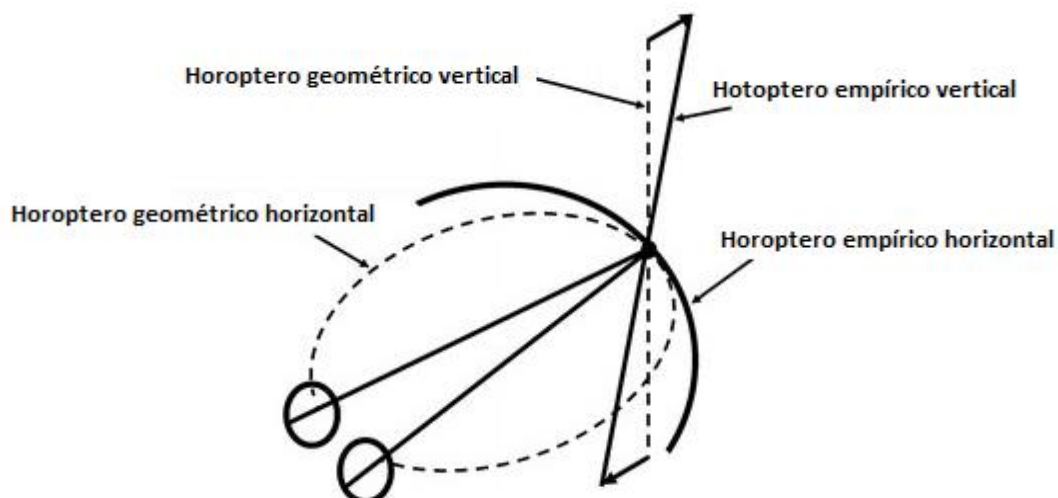


Imagen 1: Representación del Horóptero geométrico y empírico.

2.3 Área fusional de Panum

Los objetos situados por delante y por detrás del horóptero se ven dobles. Pero si se encuentran ubicados suficientemente cerca del horóptero puede ocurrir que, aun siendo puntos retinianos dispares también se vean únicos. Esto es debido a que existe por delante y por detrás del horóptero una zona en el espacio dentro de la cual todo punto objeto se ve único. Esta zona en la cual existe una tolerancia para la fusión sensorial entre áreas dispares se denomina área de fusión sensorial o espacio fusional de Panum.

Por lo tanto la definimos como el área en la retina de un ojo, cuyos puntos, al ser estimulados simultáneamente con un único punto de la retina del otro ojo, dan lugar a una percepción fusionada. Por lo tanto, cada punto de la retina de un ojo, tiene su área de Panum asociada en el otro ojo. Esto permite un rango de disparidades binoculares en la que la imagen es percibida como simple y proporcionan a la correspondencia retiniana una cierta flexibilidad para la percepción fusionada de objetos no ubicados sobre el horóptero y de esta forma no se requiere correspondencia retiniana tan precisa o estricta para la percepción de la haplopi.

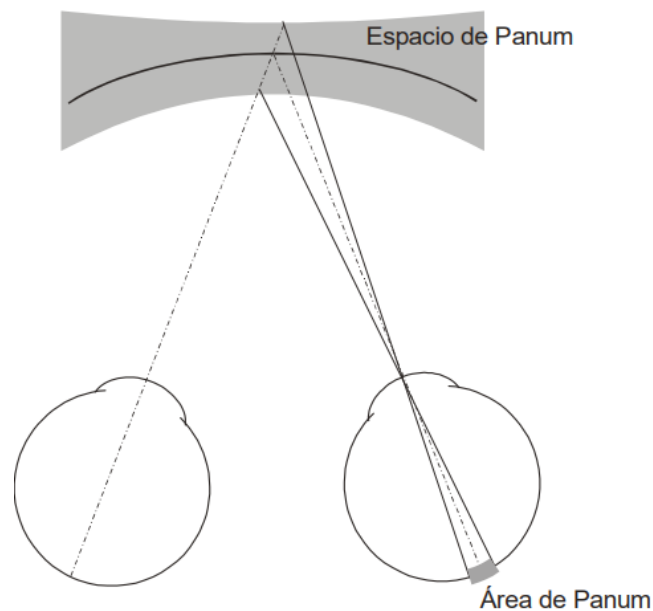


Imagen 2: relación entre el área y espacio de Panum del ojo derecho.

Las áreas de Panum se traducen al espacio objeto en forma de espacio de Panum. Se define el espacio de Panum como el espacio situado entre los límites anterior y posterior de la visión haplópica, en el que se produce la percepción fusionada de los puntos objeto que son fijados. Dichos puntos objeto forman sus imágenes sobre puntos retinianos no correspondientes pero pertenecientes a las áreas de Panum.

2.4 Disparidad de fijación

Ogle describió por primera vez en el año 1949 el concepto de Disparidad de Fijación, sugiriendo que la magnitud de la Disparidad de Fijación está relacionada con la fuerza que realizan los músculos extraoculares durante la fusión. La Disparidad de Fijación no es considerada como una desviación heterotrópica debido a que la desviación producida está dentro de las áreas de Panum.

Schor en el año 1983 describió una segunda teoría, en la cual define a la Disparidad de Fijación como la diferencia entre el ángulo que forman realmente los ejes de fijación (α real) y el ángulo que deberían formar los ejes de fijación, para que las imágenes del objeto de fijación binocular recayesen sobre ambas fóveas. (α estímulo): $DF = \alpha \text{ real} - \alpha \text{ estímulo}$

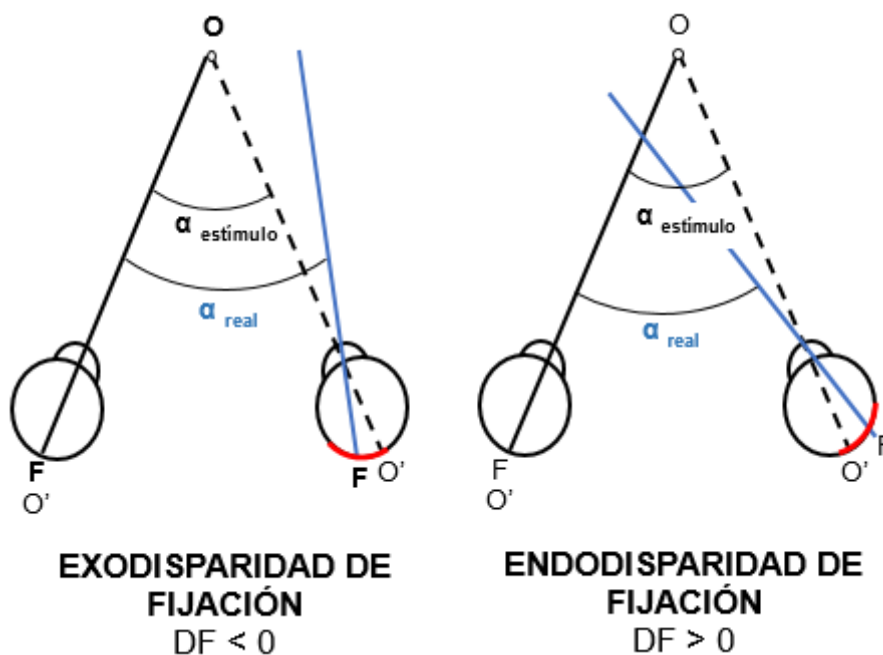


Imagen 3: esquema de la disparidad de fijación horizontal.

Se define la disparidad fijación como un ligero desalineamiento de los ejes de fijación (del orden de minutos de arco), a pesar de existir visión binocular simple y fusión sensorial central.

Este desalineamiento puede ser horizontal, vertical o torsional, sea como sea, la magnitud de la desviación tiene lugar dentro de las áreas fusionales de Panum.

El análisis clínico pocas veces contempla la disparidad de fijación torsional.

La disparidad de fijación horizontal es la que más suele presentarse en la práctica clínica. Cuando en condiciones de visión binocular los ejes visuales se cruzan por delante del objeto de interés existe Endodisparidad de Fijación, considerándose que el sujeto presenta un exceso de convergencia de los ejes visuales; si los ejes visuales se cruzan por detrás del objeto de interés decimos que existe Exodisparidad de Fijación, considerándose que el sujeto por el contrario presenta un déficit de convergencia de los ejes visuales. Por lo tanto la endodisparidad se representa con valores positivos ($DF > 0$) y la exodisparidad en valores negativos ($DF < 0$).

Por último tenemos la disparidad de fijación vertical, en esta ocasión en condiciones de visión binocular los ejes visuales presentan un desalineamiento vertical por lo tanto no se cortan nunca los ejes visuales

La diferencia de alineación de los ejes visuales en la Disparidad de Fijación en la gran mayoría de situaciones se produce como un efecto fisiológico no produciendo sintomatología al paciente.

Sin embargo, existen ciertas situaciones en las que la Disparidad de Fijación sí que produce sintomatología al paciente, produciéndose como consecuencia del estrés de los sistemas de vergencia y acomodativo con el objetivo de mantener la visión binocular.

Esta sintomatología se presenta como cefaleas, problemas de atención y problemas astenopecicos, además determinados hábitos de lectura, patologías como las migrañas y pacientes disléxicos con problemas de lectura y de aprendizaje pueden observar un incremento significativo de la disparidad de fijación.

Debido a la información que proporciona la medida de la disparidad de fijación resulta de especial interés la cuantificación de la misma en la práctica clínica.

Existen diferentes test como son el disparómetro de sheedy, la carta de Wesson entre otros que se utilizan para la medida de la disparidad de fijación.

Es posible probar la robustez de la fusión sensorial incrementando la demanda de vergencia introduciendo un prisma y, a continuación, midiendo cómo cambia la disparidad de fijación en función de la potencia y base del prisma. La representación resultante se llama curva de disparidad de fijación con vergencia forzada.

Además Ogle demostró que las curvas de disparidad de fijación pueden ser también generadas mediante lentes para estimular la vergencia forzada.

A continuación se define el efecto de las lentes y los prismas sobre la disparidad de fijación:

La lente positiva induce una EXODISPARIDAD de fijación, relaja la acomodación, y también la convergencia acomodativa.

La lente negativa induce una ENDODISPARIDAD de fijación, estimula la acomodación, y también la convergencia acomodativa.

Al anteponer un prisma delante de un ojo que se hallaba formando una imagen en su fovea, la imagen cambia de posición, y se desplaza en el sentido de la base del prisma. Para mantener la fijación del objeto, el ojo debe girar hacia la arista del prisma.

El prisma de BT induce una EXODISPARIDAD de fijación esto se debe a que al anteponer dicho prisma se produce una rotación del ojo en sentido nasal produciendo un aumento de la convergencia, la respuesta de convergencia es menor que la que plantea el estímulo debido a la existencia de las áreas de Panum, produciendo una exodisparidad de fijación.

El prisma de BN induce una ENDODISPARIAD de fijación, esto se debe a que al anteponer dicho prisma se produce una rotación del ojo en sentido temporal produciendo un aumento de la divergencia ,la respuesta de divergencia es menor que la que plantea el estímulo debido a la existencia de las áreas de Panum.(ver imagen 4)

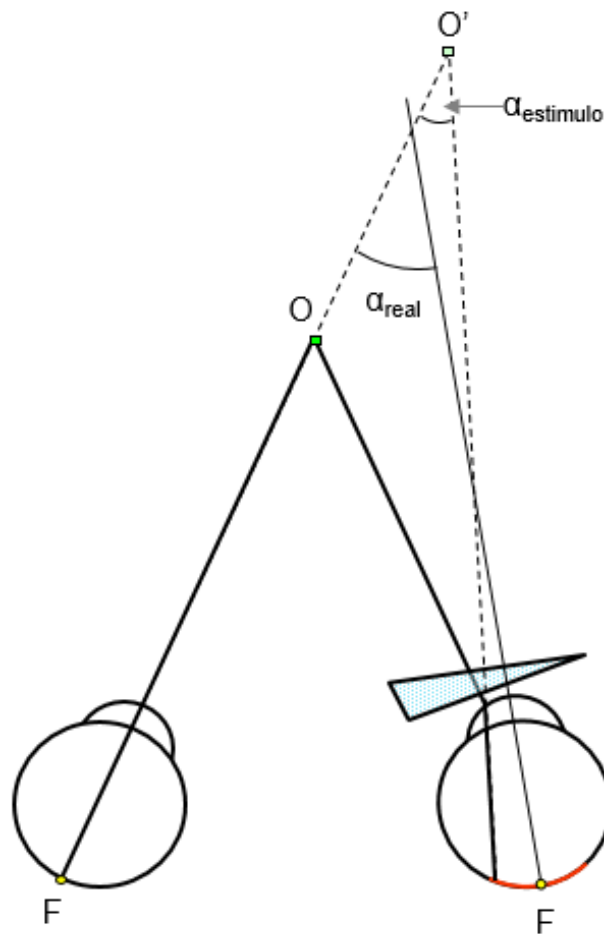


Imagen 4: esquema de endodisparidad de fijación inducida por un prisma.

Los principales componentes de diagnóstico de una curva de disparidad de fijación son la intersección en Y que representa la disparidad de fijación real medida en minutos de arco en condiciones normales de mirada; La intersección en X, también conocida como la foria asociada (la cantidad de prisma necesaria para reducir la disparidad de fijación a cero), el Tipo de curva (que tiene en cuenta la forma), la pendiente de la curva y el centro de simetría.

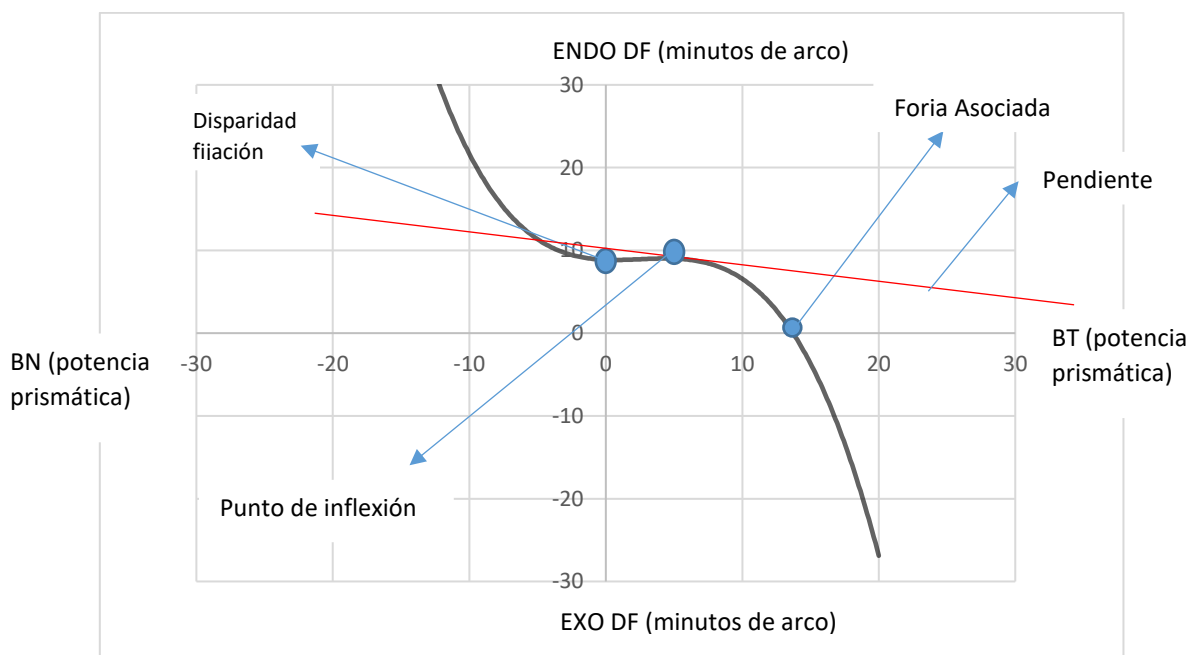


Imagen 5: curva de disparidad de fijación de vergencias forzadas

La intersección con Y es la cantidad real de disparidad de fijación medida en minutos de arco. Los valores de disparidad de fijación están representados a lo largo del eje vertical (eje Y o de ordenadas), los valores positivos representan la endodisparidad y los negativos la exodisparidad. La mayoría de las disparidades de fijación tienen menos de 6 minutos de arco, pero pueden ser tan grandes como 30 minutos de arco.

La intersecció amb X es la quantitat de prisma necessària per reduir la disparitat de fixació a zero (foria associada). Els valors de potència prismàtica estan representats a lo llarg del eix horitzontal (eix X o de abscisses), els valors positius representen potències prismàtiques de base temporal i els negatius potències prismàtiques de base nasal.

Foria associada

Es la quantitat de prisma requerit per reduir la disparitat de fixació a zero. A diferència de la foria dissociada, la foria associada es determina en condicions de visió binocular. Per a la seva valoració nunca es disocia la visió binocular.

Per a determinar el valor i tipus de foria associada hem de basarnos en l'efecte que produeixen els prismes sobre el sistema visual.

Hem descrit anteriorment que un prisma base nasal induïx una endodisparitat i un prisma base temporal una exodisparitat.

Per lo tant si volem reduir la disparitat de fixació a zero, quan estem davant d'una endodisparitat de fixació hem d'introduir potències prismàtiques de base temporal i davant d'una exodisparitat hem d'utilitzar potències prismàtiques base nasal.

Tipus de corbes de disparitat de fixació.

Existen 4 tipus de corba:

La Corba Tipus I es una corba simètrica, la més comú i es associa amb pacients asintomàtics.

Les Corbes Tipus II i III perden la simetria que es aprecia en la Corba Tipus I. La corba tipus II està associada a endofories i la tipus III associada a exofories.

La Corba Tipus IV, sin embargo, a pesar de ser simètrica es associa a problemes oculomotors.

El 60 % de la població presenta la Curva Tipo I, el 25% de la població se considera que presenta la Curva Tipo II, el 10% la Curva Tipo III y el 5% de los casos están asociados a la Curva Tipo IV.

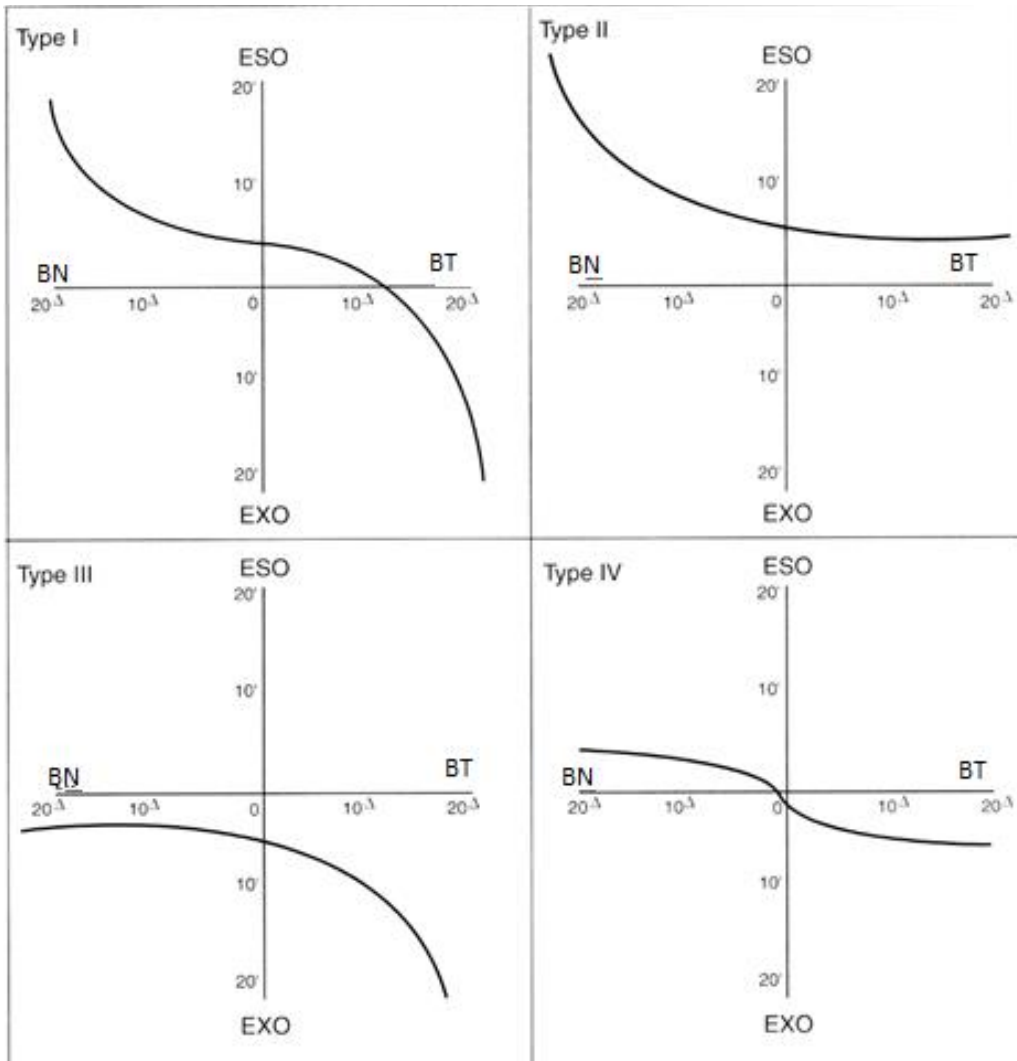


Imagen 6: tipos de curva de disparidades fijación de vergencias forzadas.

Punto de inflexión.

Es el punto de la curva donde la pendiente es más cercana a cero. Se ubica en la región central más plana de la curva de disparidad de fijación. Si la curva de disparidad de fijación tiene una porción que es horizontal, es el punto en el segmento plano de la curva donde el prisma inducido es el menor.

Pendiente de la curva en el punto de inflexión:

Esta es una medida de cómo varía la disparidad de fijación para un cambio dado en la base o potencia prismática. Una pendiente pronunciada indica un pobre equilibrio oculomotor. La disparidad de fijación cambia bruscamente con los cambios de prisma, una pendiente plana indica un buen equilibrio oculomotor.

La pendiente de la curva de disparidad de fijación es el mejor indicador de la sintomatología del paciente.

Cabe destacar también la zona de la llanura central, donde la pendiente es más constante, cuanto más ancha sea esta zona más robusto será el sistema visual.

2.5 Instrumentos de medida

Existen diferentes instrumentos para la medida de la foria asociada y la determinación o medida de la disparidad de fijación.

Por un lado existen instrumentos que miden la disparidad de fijación y la foria asociada, como son el disparómetro de Sheedy y la tarjeta de Wesson.

Disparómetro de Sheedy.

Está compuesto por un test calibrado para 40cm y unas gafas polarizadas.

El test se presenta sobre un soporte que debe colocarse en la barra del foróptero.

El test contiene un par de líneas polarizadas de separación angular variable (vistas monocularmente) en un contexto de letras que son vistas binocularmente. A través de una pequeña ventana de observación se pueden mostrar líneas polarizadas de distinta

separación angular para conseguir que el paciente observe una correcta alineación de las miras y así determinar el valor de la disparidad de fijación.

Para determinar los valores de disparidad de fijación con vergencias forzadas se anteponen prismas sueltos y se determina la posición en la que se perciben las líneas perfectamente alineadas.

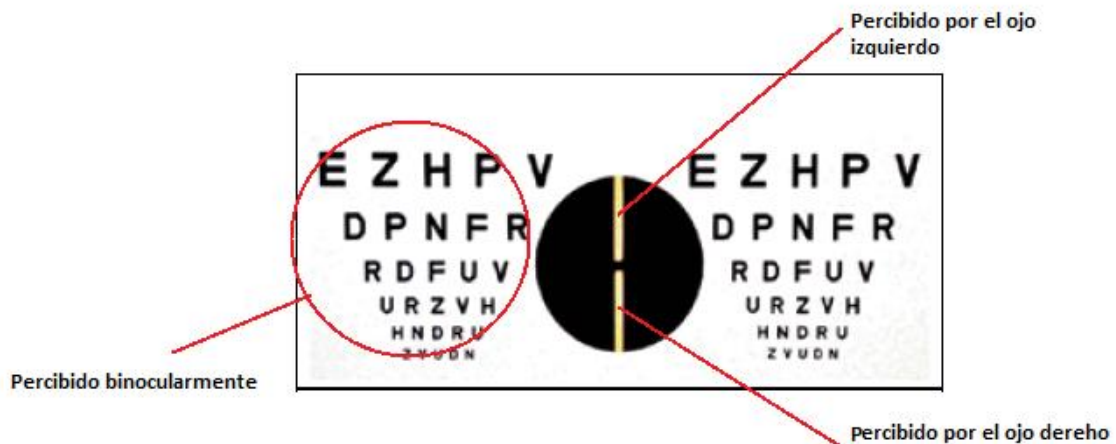


Imagen 7: esquema del disparómetro de sheedy.



Imagen 8: Vista frontal del disparómetro de sheedy.

Tarjeta de Wesson.

El test está diseñado para ser presentado en la barra del foróptero y esta calibrado para ser observado a una distancia de 40cm o 25cm.

Está compuesto por un estímulo (flecha) en la parte inferior, situada en el centro de la tarjeta y una serie de miras verticales con separación angular controlada en la parte superior del test.

El estímulo y las miras verticales son vistas monocularmente por medio de unas gafas polarizas.

Cuando el paciente mira el test, el estímulo inferior se alinea con una de las miras superiores, la separación angular existente nos da el valor de la disparidad de fijación.

Para el cálculo de la foria asociada se anteponen prismas hasta conseguir que el estímulo inferior quede centrado con la mira superior que está ubicada en el centro del test.

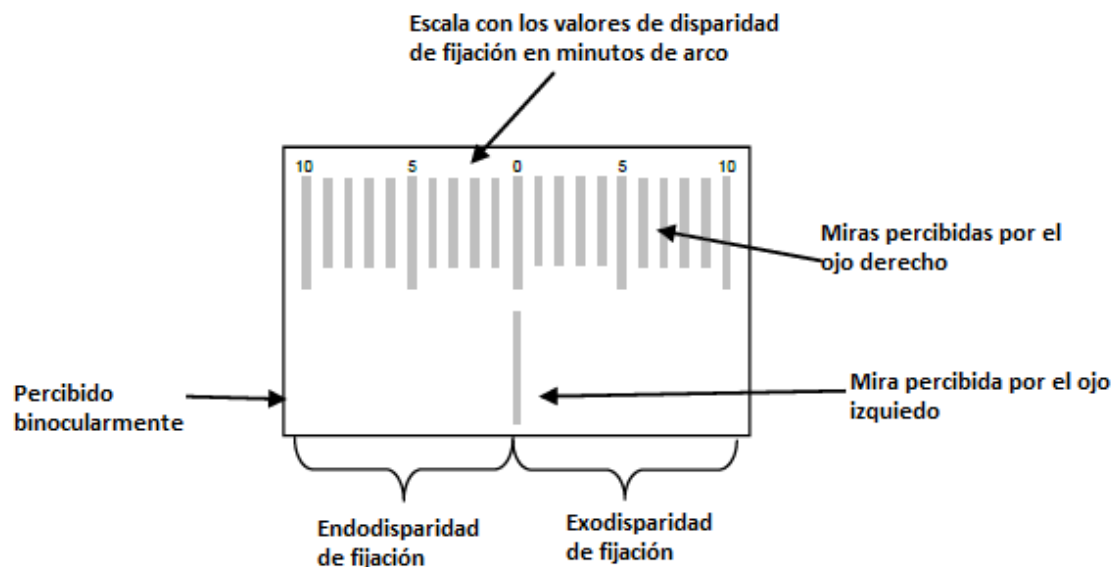


Imagen 9: Esquema de la carta de Wesson.

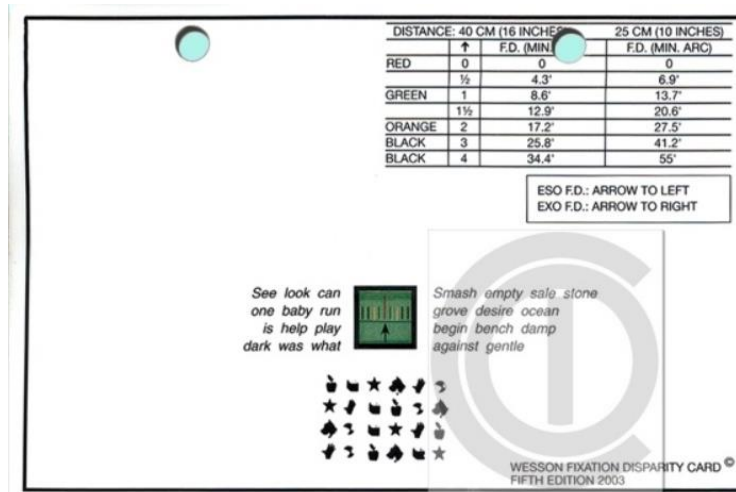


Imagen 10: Tarjeta de Wesson.

Por otro lado encontramos instrumentos que determinan la existencia de la disparidad de fijación y miden la foria asociada, como la unidad de Mallet y la linterna de Bernell.

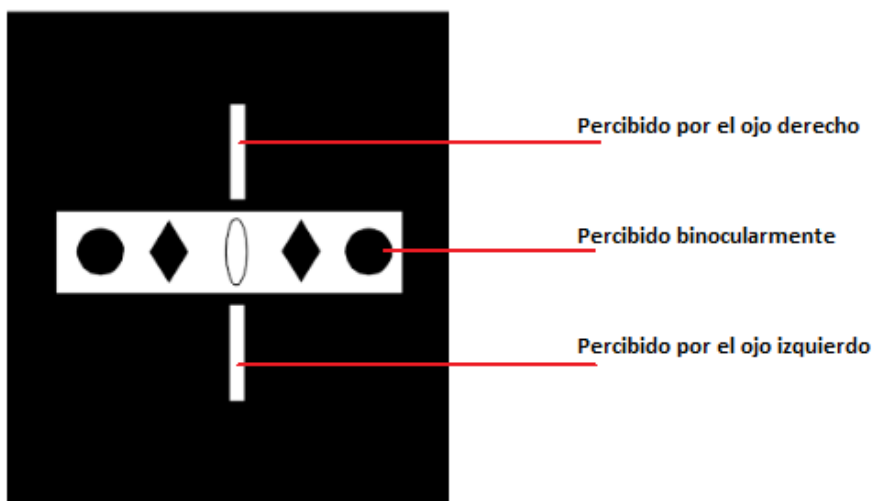


Imagen 11: Esquema de la linterna de Bernell.

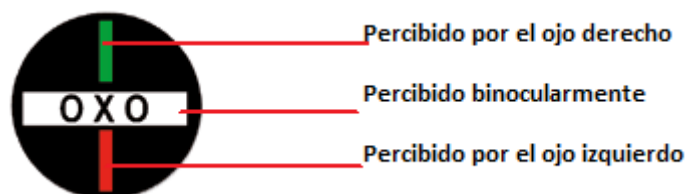


Imagen 12: Esquema de la unidad de Mallet.

3. FABRICACIÓN DEL DISPARÓMETRO.

Una vez definida la disparidad de fijación y los distintos instrumentos de medida, vamos a proceder a la fabricación de nuestro propio disparómetro.

El método que vamos a emplear es similar al de Sheedy, en el cual vamos a presentar varios estímulos que son vistos monocularmente, la diferencia con el método de sheedy es el sistema disociador que en vez de unas gafas polarizadas vamos a utilizar un filtro anaglífico (rojo-cian) y para la presentación del test se ha optado por representarlo en una Tablet en lugar de la versión impresa para mejorar la reproducción cromática.

El test se va a diseñar para presentarlo a una distancia de 40 cm, en el que el paciente va a observar dos estímulos verticales (uno de color rojo y otro cian) vistos monocularmente a través del filtro anaglífico.

Para poder controlar las vergencias, los estímulos están ubicados dentro de un marco negro, denominado en inglés fusion lock (bloqueador de la fusión).

Se ha optado por elaborar estímulos con desplazamiento píxel a píxel a fin de dotar el disparómetro de la máxima resolución posible.

Nuestro disparómetro mide la disparidad de fijación horizontal mediante la separación angular de las líneas verticales vistas monocularmente.

Para el diseño del test tenemos una serie de limitaciones físicas a la hora de implementarlo en la Tablet, como son la resolución de la Tablet (disparidad mínima que podemos medir), las características del sistema anaglífico, la influencia de la aberración cromática y la problemática de las tripletas RGB de la Tablet (tanto por los colores del test, como por la posición de los píxeles en la Tablet).

3.1 Resolución del disparómetro.

Para la fabricación del disparómetro contamos con una Tablet marca Amazon Fire HD 8, cuya resolución es de 800 x 1280 pixels.

Para el diseño del test vamos a utilizar Photoshop, con el que podemos crear un lienzo con una cantidad de píxeles igual al de la Tablet, de esta forma el desplazamiento de un píxel en Photoshop equivale al mismo desplazamiento en la Tablet.

Se ha optado por elaborar estímulos con desplazamiento píxel a píxel a fin de dotar el disparómetro de la máxima resolución posible.

Para calcular el desplazamiento mínimo que podemos medir en la Tablet debemos calcular el tamaño del píxel de nuestro dispositivo.

Con las especificaciones del fabricante sabemos que la pantalla tiene una densidad de 189 PPI, esto nos indica el número de píxeles que hay por pulgada, como queremos obtener el tamaño de 1 píxel realizamos la conversión, teniendo en cuenta que 1 pulgada equivale a 25.4mm, el tamaño de un píxel es de 0.134mm.

Por lo tanto como el desplazamiento mínimo que hemos decidido calcular es de 1 píxel y la medida de dicho píxel es de 0.134mm, el valor mínimo de disparidad de fijación que podemos calcular a una distancia de 40 cm es de 1.15 minutos de arco.

Para elegir la posición en la que presentamos el test en la Tablet, tenemos que tener en cuenta la influencia de las tripletas RGB, que nos obligan a orientar la Tablet en una dirección concreta para que se produzcan desplazamientos idénticos en el rojo y el cian.

Los píxeles están compuesto por 3 subpíxeles RGB (Rojo, verde, azul), como vamos a utilizar un sistema anaglífico rojo-cian, esta orientación es muy importante porque de ello depende que los desplazamientos en la Tablet se produzcan de 1 píxel o de 1 píxel más 1/3 píxel. Los píxeles son cuadrados, y necesitamos desplazamientos de píxeles enteros por lo tanto la orientación que tenga la Tablet es muy importante.

Para la observación de los pixeles hemos utilizado un microscopio de la marca zeiss modelo AXIO imager M2m.



Imagen 13: microscopio Zeiss modelo AXIO imager M2m

Si observamos la imagen 14, la Tablet se encuentra posicionada verticalmente, el color rojo solo estaría en una casilla del pixel y el cian en dos, por lo que la alineación nunca sería cero, cada vez que realizamos un desplazamiento de un pixel estaríamos desplazando 1 pixel y $\frac{1}{3}$ de pixel, por lo tanto este desplazamiento nos influiría en la toma de medidas.

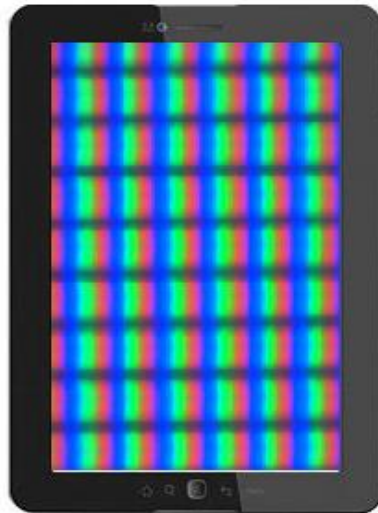


Imagen 14: vista de los pixeles en posición vertical de la Tablet

Para que no nos influya decidimos presentar la Tablet en posición horizontal (imagen 15), de esta forma la posición de los colores del pixel no influye en el desplazamiento que estamos realizando, cuando las miras están alineadas estamos seguros que estamos ante una disparidad de fijación igual a cero.

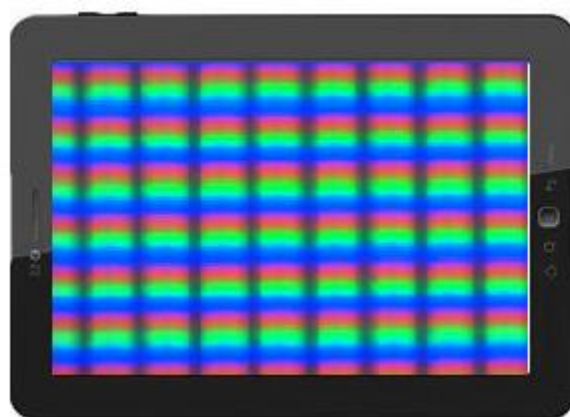


Imagen 15: vista de los pixeles en posición horizontal de la Tablet.

3.2 Características del sistema anaglífico.

Para la fabricación del disparómetro hemos optado por un sistema disociador anaglífico compuesto por un filtro color rojo y un filtro color cian.

Estos filtros tienen unas transmitancias complementarias, hay poca intersección entre ellos por lo tanto nos va a permitir poder observar cada estímulo de forma monocular.

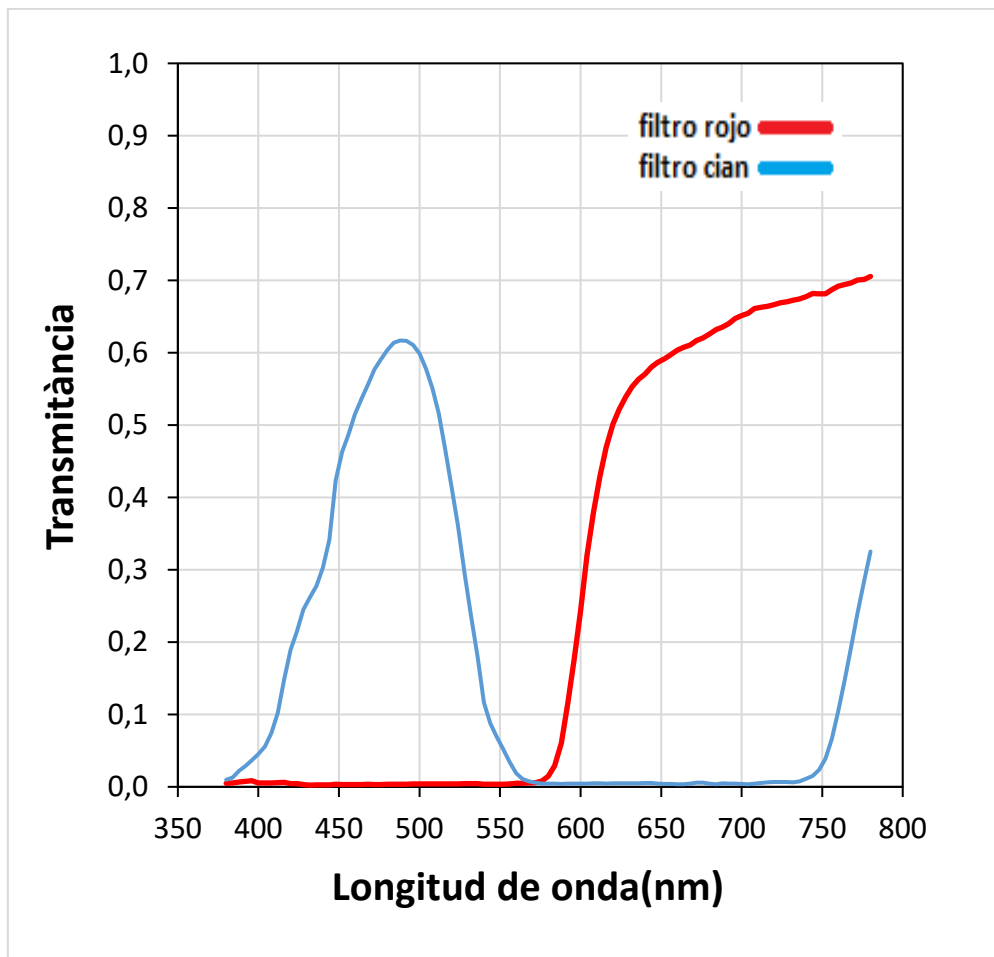


Gráfico 1: transmitancia filtros rojo-cian.

La medida de las transmitancias de los filtros se ha obtenido mediante el espectroradiometro PR-715 Photo research.



Imagen 16: espectroradiometro.

Como no podemos variar la transmitancia del filtro anaglífico dissociador, para conseguir una percepción monocular de las dos miras debemos de igualar las luminancias de los colores de la Tablet, para así poder percibir una imagen homogénea.

3.3 Selección de los colores del test.

Otra limitación que nos presenta la implementación del test en la Tablet es la selección de los colores.

La finalidad de esta selección es poder observar los estímulos de fijación monocularmente, de tal forma que cuando miremos a través del filtro de color rojo se observe únicamente el estímulo de color cian y con el filtro cian solo percibamos el estímulo rojo y no se produzca la percepción de una imagen fantasma.

Para disminuir o hacer desaparecer el efecto de la imagen fantasma debemos modificar el contraste de los estímulos en el test, ya que la transmitancia de los filtros no podemos

variarla, de esta forma conseguiremos que la observación de los estímulos sea más homogénea.

Para ello debemos de igualar las luminancias del fondo blanco a través del filtro cian y el fondo cian a través del filtro cian, al igual que con el fondo blanco y rojo a través del filtro rojo.

Para la selección de los colores del test hemos realizado una serie de pruebas con diferentes tonalidades de rojos, cian y grises junto con el filtro anaglífico.

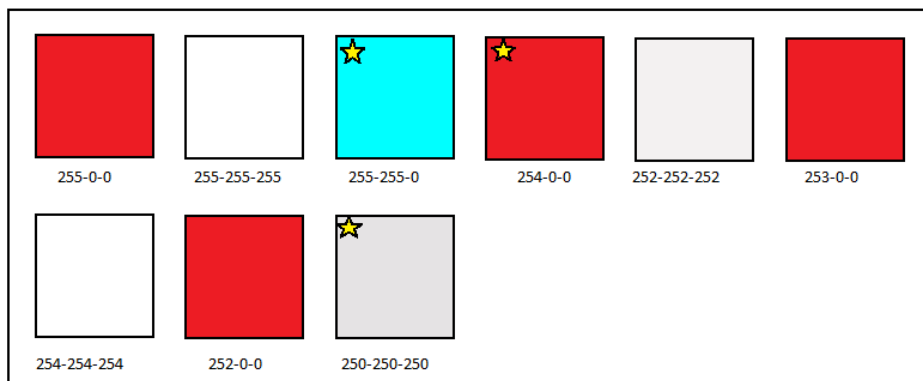


Imagen 17: Prueba de colores en la Tablet vistos a través del filtro anaglífico.

Tras la realización de las pruebas con los colores de la imagen 17, determinamos que los colores que producen una visión más homogénea de los estímulos a través de los filtros son los siguientes:

- Rojo: 254-0-0
- Cian: 255-255-0
- Blanco (gris) : 250-250-250

Con el objetivo de observar el comportamiento espectral, cromático y fotométrico, observamos los colores del test a través del filtro pero esta vez por medio del espectroradiometro.

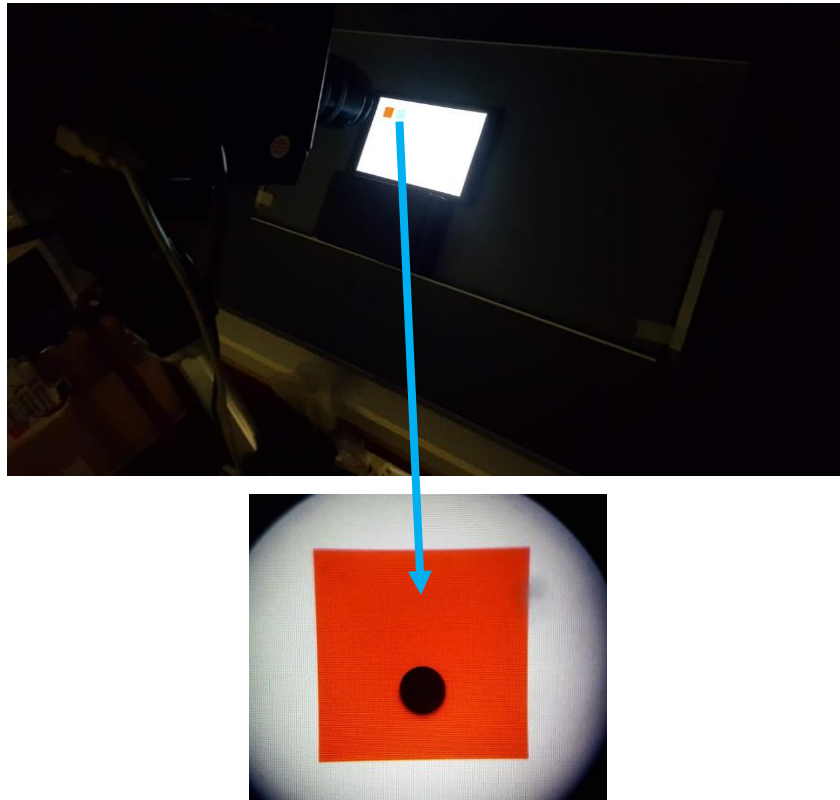


Imagen 18: Toma de medidas de los colores seleccionados. El punto negro sobre el fondo rojo nos indica la muestra de color que es medida por el espectroradiometro.

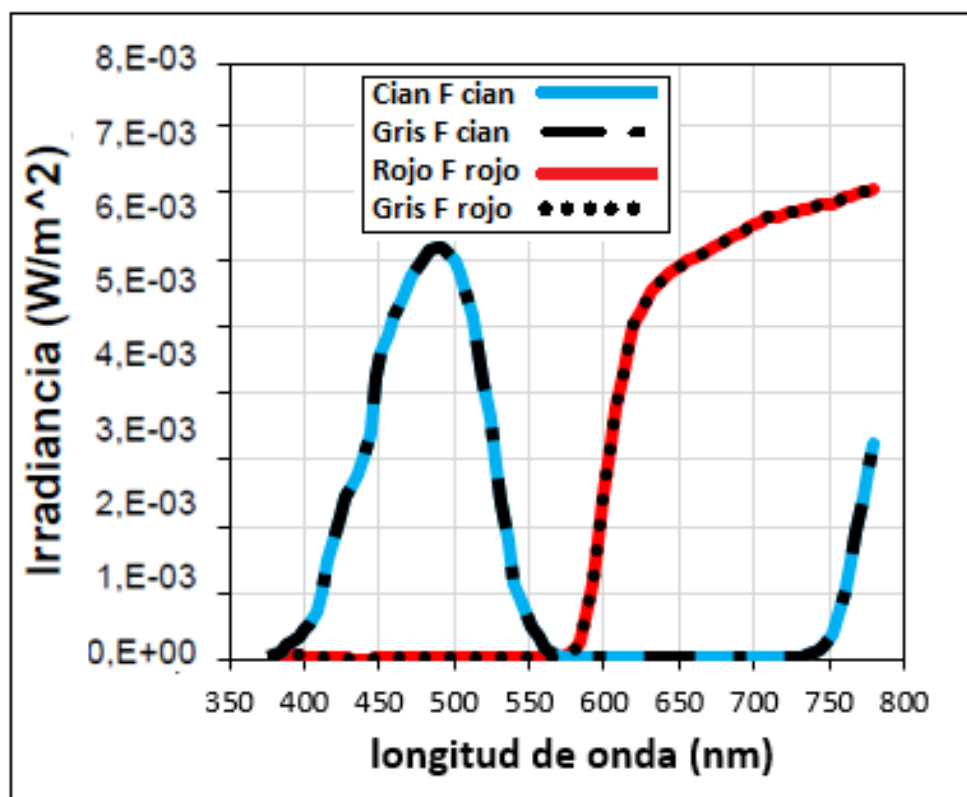
En la gráfica 2, podemos observar la comparativa del fondo gris 250-250-250 y fondo cian 255-255-0 a través del filtro cian y el fondo de color gris 250-250-250 y fondo rojo 254-0-0 a través del filtro rojo.

Con esta gráfica demostramos la similitud del espectro luminoso en ambos casos.

En cuanto a los valores de intensidad luminosa, sí que existe alguna variación, para el caso fondo gris- filtro cian obtenemos un valor de 33.2 cd/m^2 , y para el caso de fondo cian - filtro cian el valor es de 33.92 cd/m^2 , siendo más luminoso el fondo cian con el filtro cian, pero la diferencia de intensidad luminosa es inapreciable.

Por otro lado los valores para el filtro rojo nos dan más similares, siendo el fondo gris con el filtro rojo más luminoso con un valor de 6.07 cd/m^2 , pero no por mucha diferencia ya que el fondo rojo con el filtro rojo tiene en valor de 5.67 cd/m^2 , por lo tanto la diferencia es menor que en el caso del filtro cian, siendo aún menos apreciable.

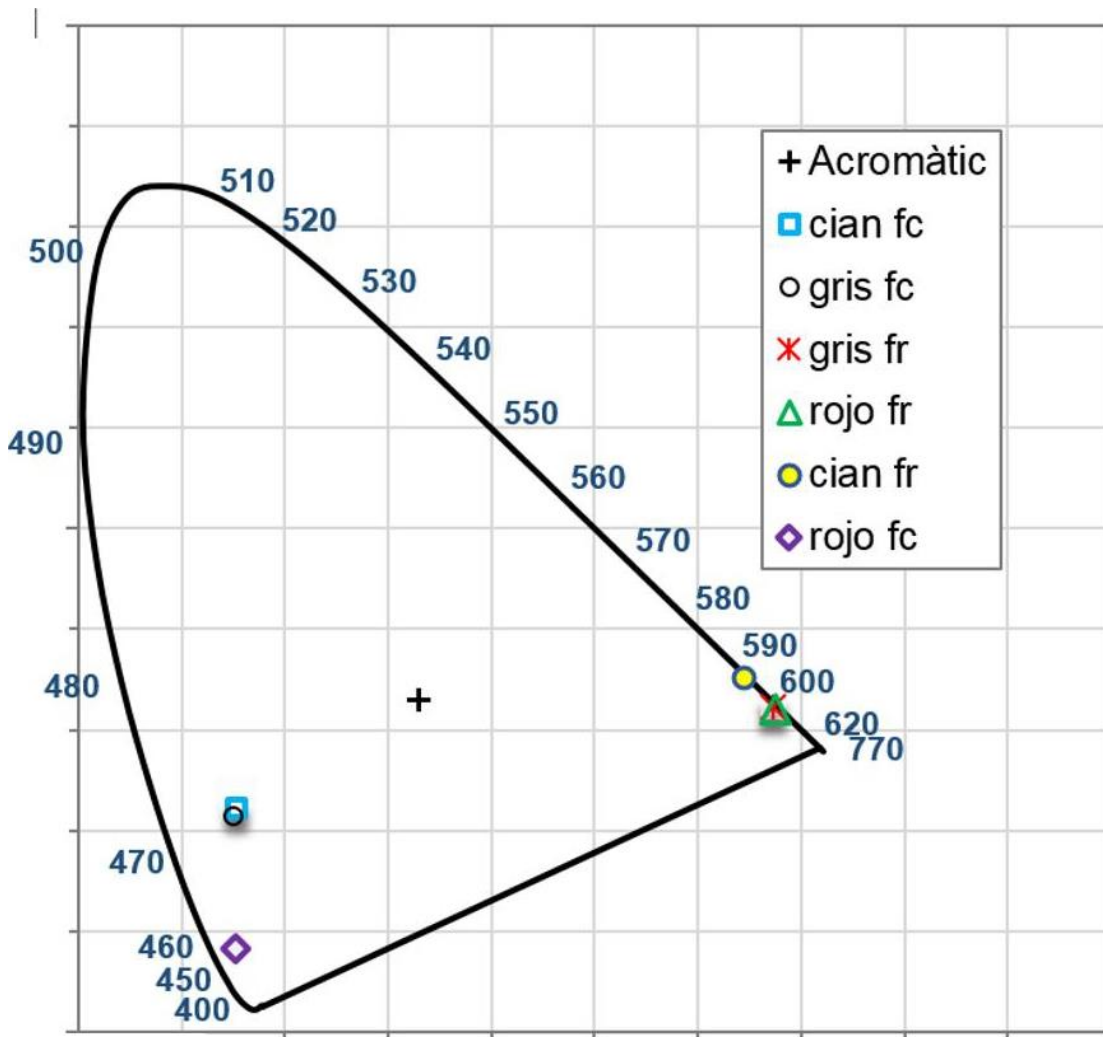
De tal forma que en ninguno de los dos casos observamos una imagen fantasma.



Grafica 2: Comparación gráfica del espectro visible del fondo color cian a través del filtro color cian y el fondo de color gris a través del filtro color cian, y la comparativa del espectro del fondo de color rojo a través del filtro de color rojo y el fondo gris a través del filtro rojo.

A continuació en la gràfica 3 se representa la curva obtenida al representar las coordenadas de cromaticidad de los colores del espectro visible. Observamos que las coordenadas del filtro rojo con el fondo rojo (rojo fr) y el filtro rojo con el fondo gris (gris fr) se localizan superpuestas, esto indica que los colores obtenidos son idénticos al igual que los colores obtenidos del filtro cian con el fondo cian (cian fc) y el filtro cian con el fondo gris (gris fc).

El color obtenido del filtro rojo con el fondo cian (cian fr) se encuentran en coordenadas de los rojos más oscuros y el color obtenido del filtro cian con el fondo rojo (rojo fc) se encuentran en coordenadas cromáticas de los azules oscuros.



Gràfica 3: Representación cromática de los colores utilizados.

Para poder conseguir ver igual las dos líneas verticales (rojo-cian) del test, tenemos que tener en cuenta la aberración cromática producida por no llevar correctamente refinada la potencia esférica del paciente, basándonos en que la focalización de los rayos de luz sobre la retina depende de la longitud de onda en la que se emiten.

Para evitar esta aberración debemos de realizar un examen subjetivo a todos los pacientes en visión próxima y refinar la esfera mediante el test duocromo.

Con este examen tenemos la certeza que antes de realizar las medidas de las disparidad de fijación todos los pacientes van a percibir los estímulos con la misma nitidez.

3.4 Diseño del test.

Una vez decidido los colores que vamos a utilizar, y el desplazamiento mínimo que vamos a realizar vamos a proceder al diseño del test.

Para el diseño del test vamos a utilizar un ordenador de la marca ASUS y con la ayuda del programa gráfico Photoshop, podemos crear un lienzo con una cantidad de pixeles igual al de la Tablet, de esta forma el desplazamiento de un pixel en Photoshop equivale al mismo desplazamiento en la Tablet.

El tamaño del test viene definido por las dimensiones de la Tablet (800 x 1280 pixels).

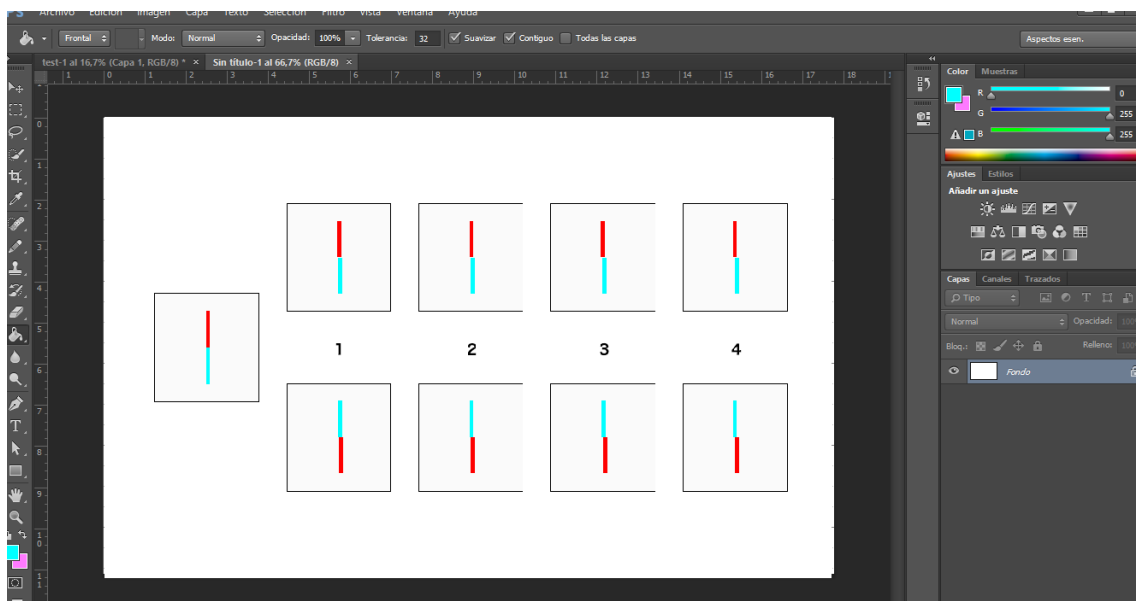


Imagen 19: Diseño del test en Photoshop.

El test está compuesto por dos filas en las que aparecen los estímulos rojo-cian dentro de un marco negro (fusión lock).

El primer estímulo que nos aparece en el test es de desplazamiento cero, y a medida que aumentamos los estímulos, se producen desplazamientos de 1 pixel, hasta alcanzar el valor máximo de 29 pixels.

Los estímulos están enumerados, en función del número de pixeles que se han desplazado.

Cada pixel desplazado equivale a una disparidad de 1.15 min de arco, por lo tanto nuestro test tiene una resolución de 1.15 hasta 33.35 min de arco.

Para entender la disposición de los colores en el test, hay que analizar lo que observamos a través de cada filtro.

Cuando observamos a través del filtro cian colocado en el ojo derecho observamos el estímulo vertical de color rojo y el marco negro (fusion lock), y cuando observamos a través del filtro de color rojo colocado en el ojo izquierdo observamos el estímulo de color cian y el marco negro (fusion lock). La separación angular que se produce entre los dos estímulos vistos monocularmente es el valor de la disparidad de fijación que estamos midiendo.

El test está compuesto por un estímulo principal de desplazamiento cero, en dicho estímulo la línea vertical superior es de color rojo y la inferior de color cian.

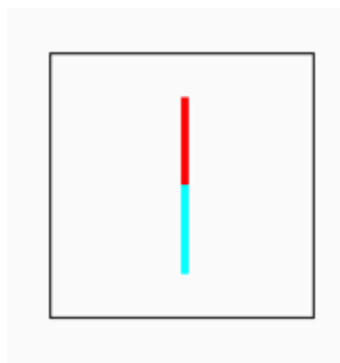


Imagen 20: Estímulo principal (desalineamiento 0)

A partir del estímul principal creamos dos filas, en la fila superior la disposición de los colores es igual que en el caso del estímulo principal (rojo parte superior y cian parte inferior), vamos desplazando un pixel a medida que aumentamos de estímulo, este desplazamiento se hace de la línea vertical roja hacia la izquierda con respecto la línea cian.

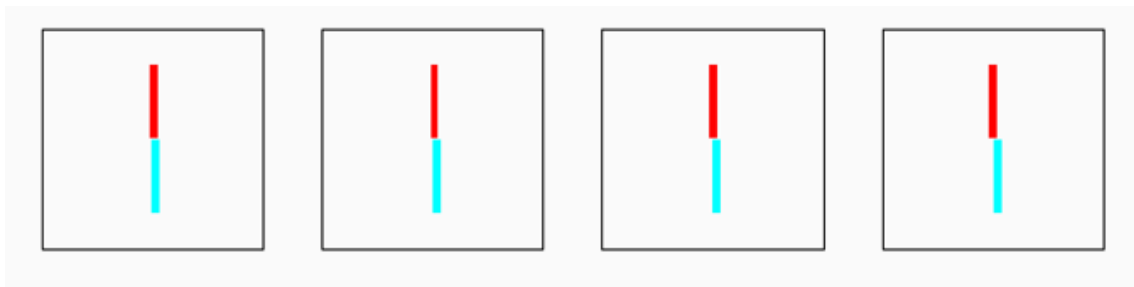


Imagen 21: línea superior del test

En el caso de la fila inferior la disposición de los colores sería al contrario, la línea superior es de color cian y la inferior es de color roja, y los desplazamientos de un pixel se producen de la línea vertical roja hacia la derecha con respecto a la línea cian.

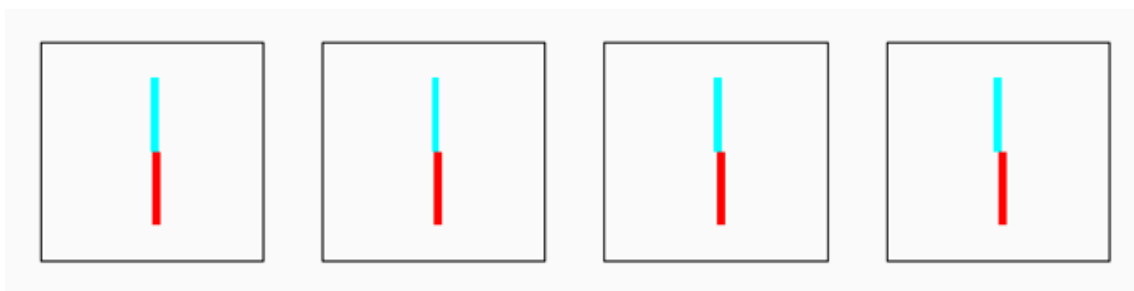


Imagen 22: línea inferior del test.

Este cambio en la distribución de los colores y desplazamiento de los estímulos se debe a que cada fila está diseñada para determinar un valor de disparidad de fijación diferente.

La fila superior está diseñada para medir la endodisparidad de fijación y la fila inferior la exodisparidad de fijación.

Esto es debido a que al observar el estímulo principal si se produce un desalineamiento de las dos líneas del estímulo, en función de hacia donde se produzca dicho desalineamiento el valor de la disparidad será uno y otro.

Se toma como referencia la línea vertical roja. Si tras la observación del estímulo principal la línea vertical superior (roja) se encuentra desplazada a la derecha respecto a la línea vertical inferior (cian) estamos ante una endodisparidad de fijación (los ejes visuales se cortan por delante de estímulo de fijación), por lo tanto para determinar el valor de dicha disparidad debemos observar la fila superior del test debido a que los desplazamientos están realizados en sentido contrario, es decir, la línea vertical está ubicada hacia la izquierda con respecto a la cian.

Por lo tanto si observamos los estímulos de la línea superior debemos de encontrar un estímulo que compense la disparidad y veamos las dos líneas totalmente alineadas, la separación angular de las dos líneas del estímulo será el valor de nuestra disparidad de fijación.

Lo mismo ocurre para el caso contrario, si cuando observamos el estímulo principal, la línea vertical superior (roja) se encuentra desplaza hacia la izquierda respecto a la línea inferior (cian), estamos ante una exodisparidad de fijación (los ejes visuales se cortan por detrás del estímulo de fijación) por lo que debemos observar la fila inferior para compensar dicho desplazamiento.

Para obtener el valor de la disparidad de fijación, cada estímulo lleva asociado un número que nos indica el número de píxeles que hemos desplazado entre ambas líneas verticales. Cada desplazamiento de 1 píxel equivale a 1,15 min de arco

Las dimensiones de los estímulos vienen detalladas en las imágenes 23 y 24.

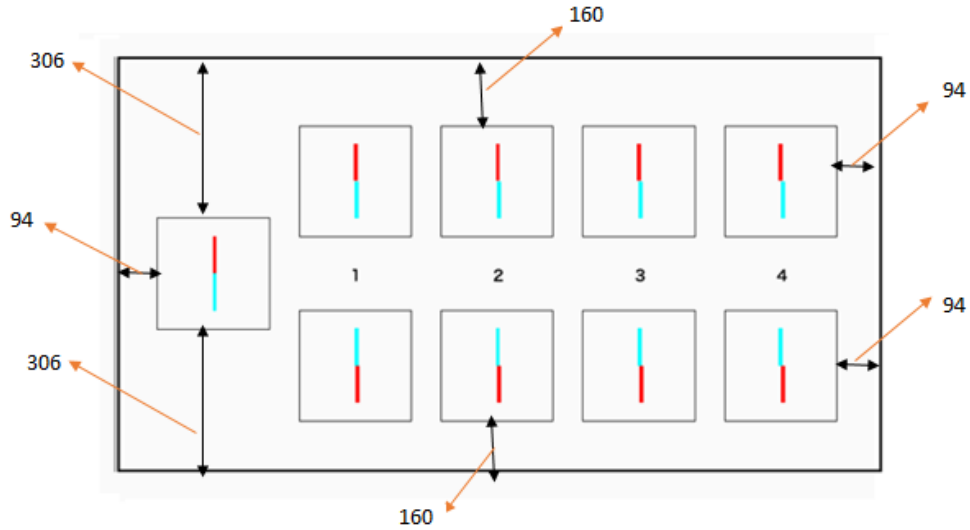


Imagen 23: medidas en pixeles de los estímulos del test.

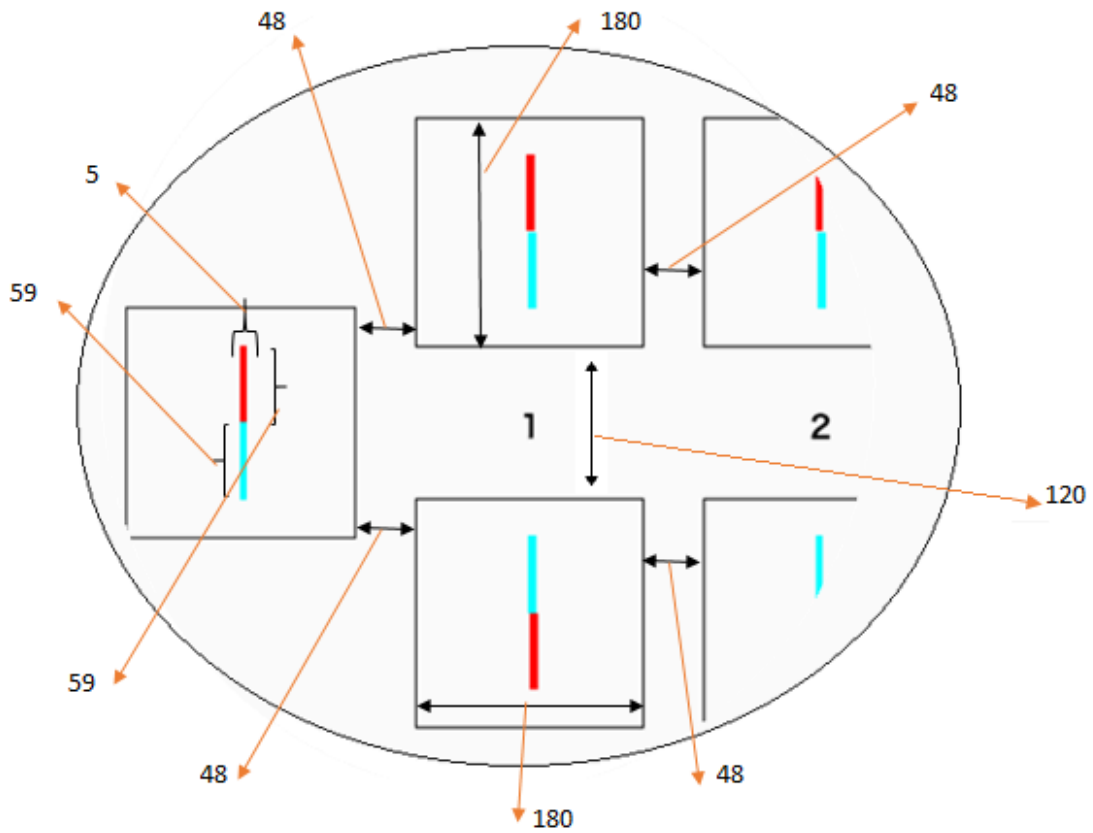


Imagen 24: medidas en pixeles de los estímulos del test.

3.5 Funcionamiento del disparómetro

Una vez que tenemos el test diseñado, la Tablet para implementar el test, y el filtro anaglífico como sistema disociador podemos comenzar a utilizar el disparómetro.

Para utilizar el disparómetro se ha diseñado un soporte con una mentonera para posicionar al paciente y un sistema de sujeción para la Tablet a una distancia de 40 cm. (ver imagen 21 y 22)

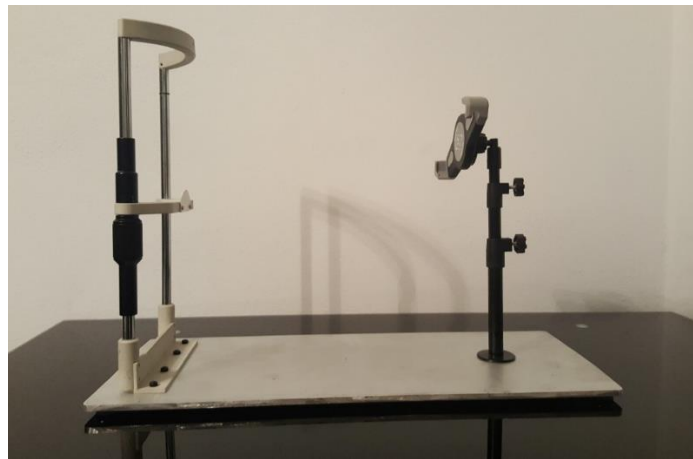


Imagen 25: soporte para tomar las medidas en el disparómetro.

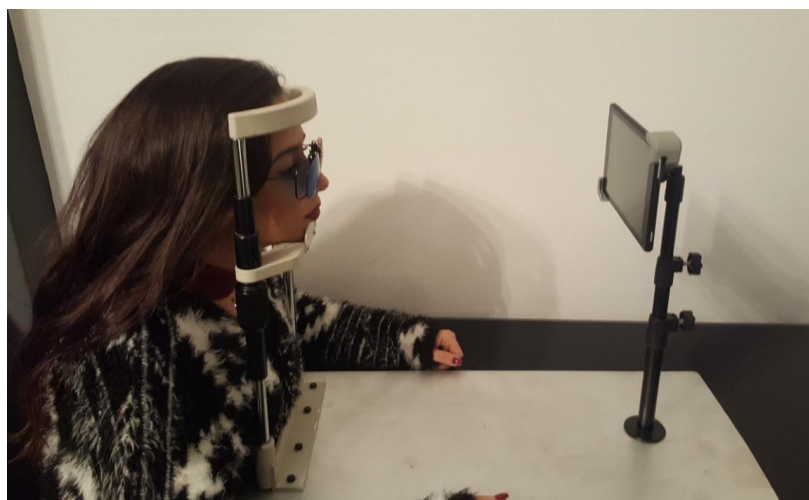


Imagen 26: paciente realizando la prueba.

El disparómetro está diseñado para la medida de la disparidad de fijación horizontal y la foria asociada.

El método empleado es el siguiente:

Situamos al paciente en la mentonera y el test en el soporte que se encuentra a la distancia de fijación de 40cm.

El examen se realiza con el resultado del subjetivo en visión próxima y la esfera refinada mediante el test duocromo para eliminar la aberración cromática.

El paciente debe de utilizar el filtro anaglífico, de forma que la línea superior (roja) sea vista únicamente por el ojo derecho y la línea inferior (cian) por el ojo izquierdo. (Imagen 27)

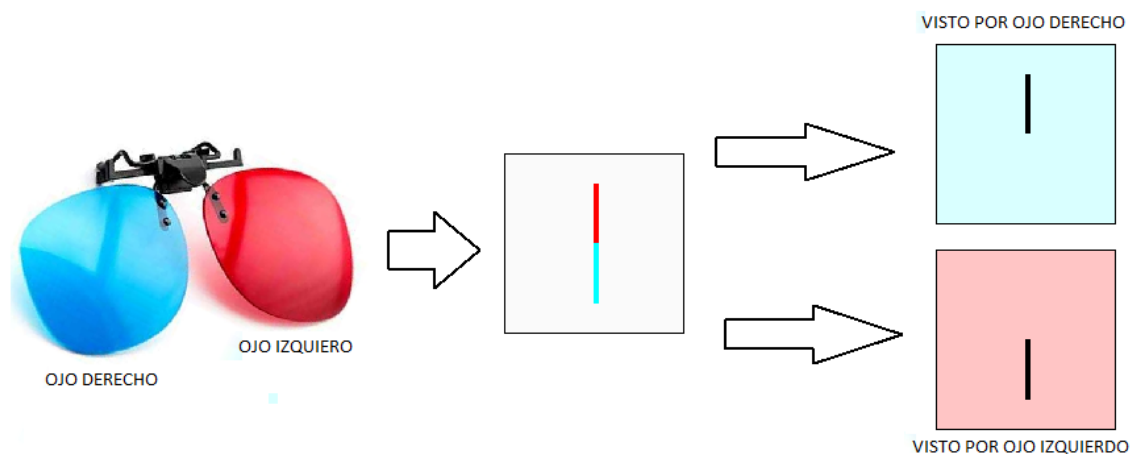


Imagen 27: visión monocular de los estímulos del test a través del filtro anaglífico.

Medida de la disparidad.

Indicar al paciente que observe el estímulo principal, y preguntar si ve las líneas perfectamente alineadas.

Nos pueden dar 3 situaciones:

El paciente observa ambas líneas perfectamente alineadas, estamos ante una ortodisparidad de fijación, o disparidad de fijación igual a cero. (Ver imagen 28)

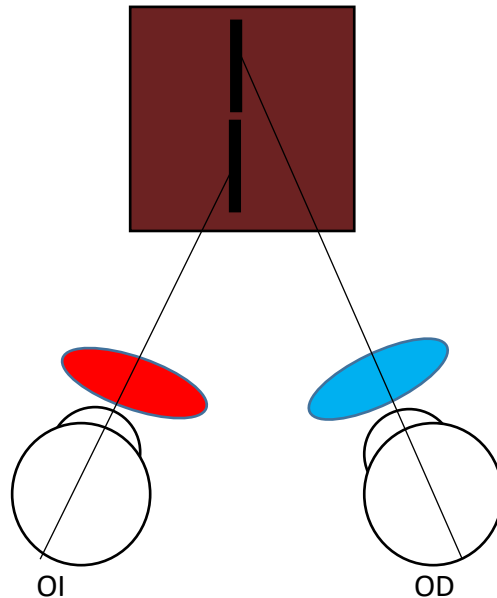


Imagen 28: esquema de la observación del estímulo para un paciente con ortodisparidad de fijación.

Que el paciente observe la línea superior desplazada a la derecha de la inferior, existe una endodisparidad de fijación, para medir esa disparidad debemos indicar al paciente que observe los estímulos de la fila superior del test hasta encontrar un estímulo en el que las dos líneas estén alineadas. El número asociado a ese estímulo multiplicado por el valor del desplazamiento mínimo (1.15 min arco) nos da el valor de la endodisparidad de fijación. (Ver imagen 29)

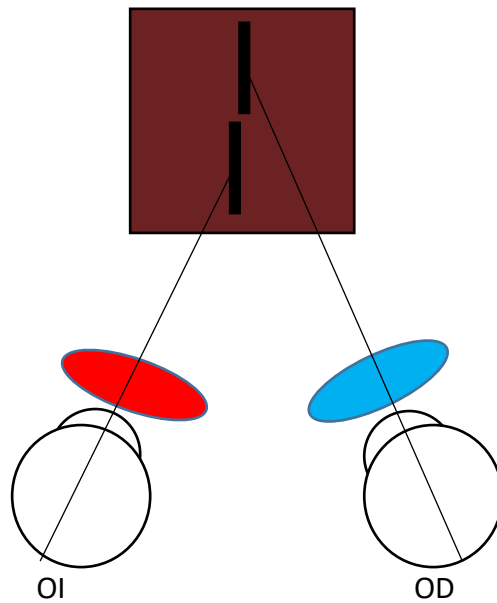


Imagen 29: esquema de la observación del estímulo para un paciente con endodisparidad de fijación.

Que el paciente observe la línea superior desplazada a la izquierda de la inferior, existe una exodisparidad de fijación, para medir esa disparidad debemos indicar al paciente que observe los estímulos de la fila inferior del test hasta encontrar un estímulo en el que las dos miras estén alineadas. El número asociado a ese estímulo multiplicado por el valor del desplazamiento mínimo (1.15 min arco) nos da el valor de la exodisparidad de fijación. (Ver imagen 30)

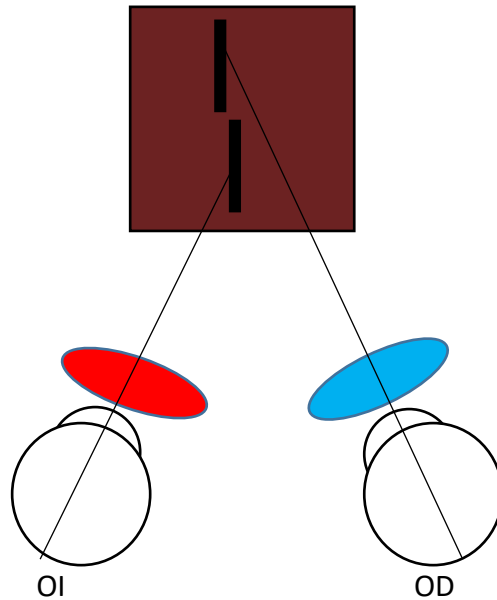


Imagen 30: esquema de la observación del estímulo para un paciente con exodisparidad de fijación.

Medida de la foria asociada.

Indicar al paciente que observe el estímulo principal, y preguntar al paciente si ve las líneas perfectamente alineadas

Nos pueden dar 3 situaciones:

El paciente observa ambas líneas perfectamente alineadas, la foria asociada es igual a cero.

Que el paciente observe la línea superior desplazada a la derecha de la inferior, adicionamos prismas BT, en pasos de 1 dioptría prismática, hasta conseguir la alineación de las líneas. El valor prismático mínimo para conseguir la alineación del estímulo es el valor de la foria asociada.

Que el paciente observe la línea superior desplazada a la izquierda de la inferior, adicionamos prismas BN, en pasos de 1 dioptría prismática, hasta conseguir la alineación de las líneas. El valor prismático mínimo para conseguir la alineación del estímulo es el valor de la foria asociada.

Determinación de la curva de disparidad de fijación de vergencias forzadas.

Para la determinación de las curvas de disparidad de fijación debemos de anteponer prismas sueltos delante del ojo derecho del paciente y realizar los mismos pasos que para la medida de la disparidad de fijación.

Se comienza el examen con un prisma de 3 dioptrías prismáticas BN y se continúa alternando potencias prismáticas en paso de 3 dioptrías prismáticas. (3BN, 3BT, 6 BN, 6BT, 9 BN, 9BT,...), hasta que se produzca la diplopía del test.

Con los valores de disparidad obtenidos asociados a cada potencia prismática se realiza una gráfica para obtener la curva de disparidad de vergencias forzadas.

4. DETERMINACIÓN DE LAS CURVAS DE DISPARIDAD DE FIJACIÓN CON VERGENCIAS FORZADAS.

Para la determinación de las curvas de disparidad de fijación de vergencias forzadas vamos a medir la disparidad de fijación y la foria asociada a una muestra de 30 pacientes.

Tras la creación de las curvas vamos a analizar todos los datos obtenidos y valorar la robustez del sistema visual de la muestra de pacientes, con el propósito de obtener el porcentaje de pacientes que tengan mayor probabilidad de presentar sintomatología cuando realiza un cambio de vergencias.

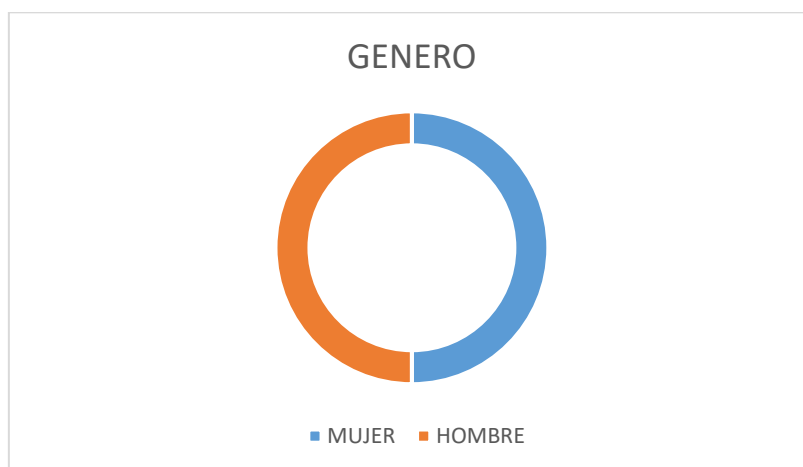
El análisis de la robustez del sistema visual vamos a realizarlo a través del estudio de la pendiente que presentan las curvas de disparidad de fijación.

Este estudio se realiza mediante dos métodos. El primer método utilizado calcula la pendiente de la curva en el punto de inflexión y para el segundo método (método de Goss) se calcula la pendiente en el tramo central de la curva (tramo comprendido entre 3 dioptrías prismáticas base nasal y 3 dioptrías prismáticas base temporal).

Para ver la relación existente entre ambos métodos se representan gráficamente y se determina el coeficiente de correlación lineal (r).

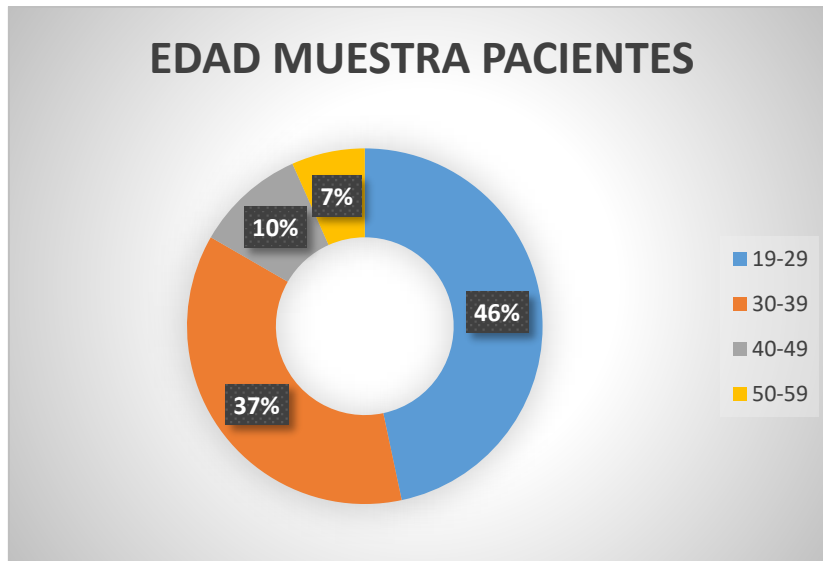
4.1 Muestra de pacientes:

La muestra de pacientes está formada por 30 sujetos, el 50 % son mujeres y el 50% son hombres.



Grafica 4: género de la muestra de paciente.

La edad está comprendida entre 19 y 59 años, siendo la edad media de 32 años.



Grafica 5: porcentaje sobre la distribución de edad de la muestra de pacientes.

Nº PACIENTE	SEXO	EDAD	Nº PACIENTE	SEXO	EDAD
1	MUJER	30	16	HOMBRE	32
2	MUJER	28	17	MUJER	33
3	MUJER	33	18	HOMBRE	35
4	MUJER	22	19	HOMBRE	39
5	MUJER	27	20	HOMBRE	45
6	MUJER	33	21	HOMBRE	32
7	HOMBRE	29	22	HOMBRE	19
8	MUJER	23	23	HOMBRE	28
9	HOMBRE	38	24	MUJER	19
10	HOMBRE	35	25	MUJER	28
11	HOMBRE	19	26	MUJER	51
12	HOMBRE	21	27	MUJER	19
13	HOMBRE	54	28	MUJER	26
14	HOMBRE	52	29	MUJER	37
15	HOMBRE	29	30	MUJER	43

Tabla 1: muestra de pacientes por sexo y edad.

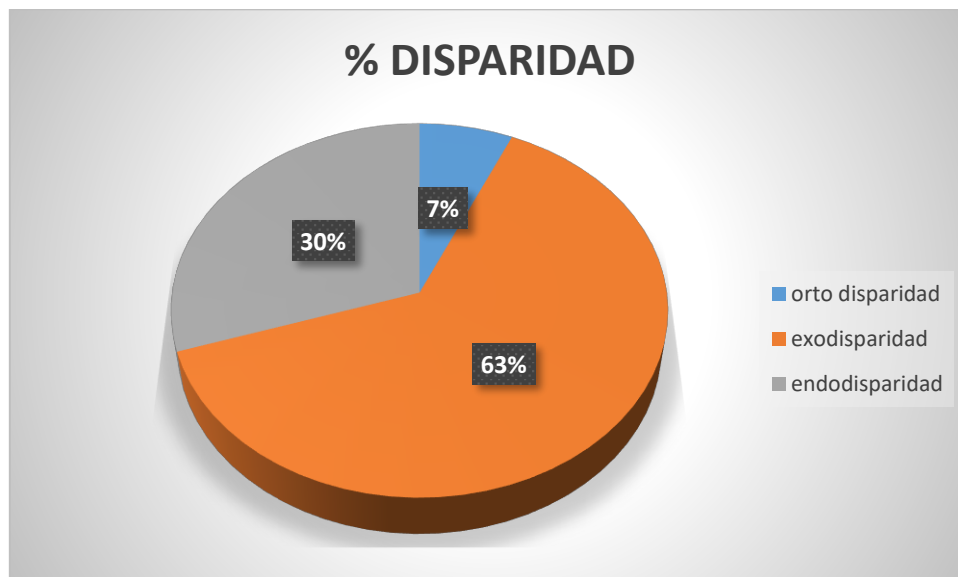
4.2 DATOS EXPERIMENTALES

nº	BN				0	BT					
	-12	-9	-6	-3		3	6	9	12	15	
1	9,2	5,75	1,15	0	-1,15	-3,45	-6,9	-8,05	-9,2	-12,65	
2	11,5	5,75	1,15	0	-3,45	-6,9	-8,05	-9,2	-19,55	-25,3	
3			17,25	9,2	2,3	1,15	-3,45	-9,2			
4		14,95	4,6	1,15	0	-2,3	-5,75	-14,95			
5			6,9	1,15	-1,15	-2,3	-4,6	-6,9	-9,2		
6	14,95	8,05	1,15	0	-2,3	-3,45	-5,75	-8,05			
7		13,8	9,2	3,45	-1,15	-3,45	-8,05	-10,35	-13,8	-19,55	
8	10,35	6,9	3,45	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15		
9			6,9	5,75	3,45	0	-2,3	-6,9	-11,5		
10			5,75	3,45	2,3	-1,15	-4,6	-9,2			
11		9,2	4,6	0	-2,3	-3,45	-4,6	-10,35			
12		3,45	1,15	-1,15	-2,3	-6,9	-9,2				
13	9,2	5,75	2,3	0	-2,3	-3,45	-8,05	-11,5			
14			5,75	2,3	1,15	0	-2,3	-5,75	-8,05		
15		-1,15	-1,15	-1,15	-1,15	-5,75	-9,2	-13,8			
16			6,9	5,75	3,45	0	-2,3	-4,6	-9,2	-11,5	
17		3,45	0	-1,15	-4,6	-9,2	-11,5				
18	8,05	5,75	1,15	0	-2,3	-6,9	-9,2	-12,65			
19			4,6	1,15	0	-1,15	-3,45	-5,75			
20			5,75	2,3	-1,15	-4,6	-9,2				
21		4,6	1,15	-1,15	-2,3	-5,75	-10,35	-12,65	-14,95		
22		5,75	4,6	3,45	2,3	0	-1,15	-6,9			
23			2,3	0	-3,45	-9,2	-18,4				
24	10,35	9,2	6,9	3,45	-1,15	-5,75	-10,35	-17,25	-23		
25		3,45	1,15	-1,15	-2,3	-4,6	-5,75	-8,05	-16,1		
26			8,05	5,75	3,45	0	-1,15	-3,45	-8,05		
27		3,45	1,15	-1,15	-5,75	-8,05	-11,5	-12,65	-14,95		
28	5,75	3,45	1,15	0	-2,3	-5,75	-10,35	-16,1			
29		6,9	4,6	3,45	1,15	-1,15	-6,9	-10,35			
30		4,6	2,3	0	-1,15	-1,15	-5,75	-9,2			

Tabla 2: datos de la disparidad de fijación con vergencias forzadas en minutos de arco.

Nº	DF	Nº	DF
1	-1,15	16	3,45
2	-3,45	17	-4,6
3	2,3	18	-2,3
4	0	19	0
5	-1,15	20	-1,15
6	-2,3	21	-2,3
7	-1,15	22	2,3
8	1,15	23	-3,45
9	3,45	24	-1,15
10	2,3	25	-2,3
11	-2,3	26	3,45
12	-2,3	27	-5,75
13	-2,3	28	-2,3
14	1,15	29	1,15
15	-1,15	30	-1,15

Tabla 3: valores de disparidad de fijación en minutos de arco.



Grafica 6: porcentaje sobre el tipo de disparidad de la muestra de pacientes.

Nº	FORIA ASOCIADA	Nº	FORIA ASOCIADA
1	-3	16	3
2	-3	17	-6
3	4	18	-3
4	0	19	0
5	-2	20	-1
6	-3	21	-4
7	-1	22	3
8	*****	23	-3
9	3	24	-1
10	2	25	-4
11	-3	26	3
12	-4	27	-5
13	-3	28	-3
14	3	29	2
15	*****	30	-3

Tabla 4: valores de foria asociada, los valores negativos representan la exoforia y los positivos la endoforia asociada.

**** Los pacientes 8 y 15, no presentan valores de foria asociada, ya que no existe ningún valor de potencia prismática que consiga hacer que la disparidad de fijación sea cero.

4.3. Elaboración de las curvas de disparidad de fijación con vergencias forzadas

Para la elaboración de las curvas de disparidad de fijación representamos los datos de la tabla 2 en una gráfica de dispersión y ajustamos la curva obtenida a un polinomio de grado 3, con esto obtenemos la curva ajustada.

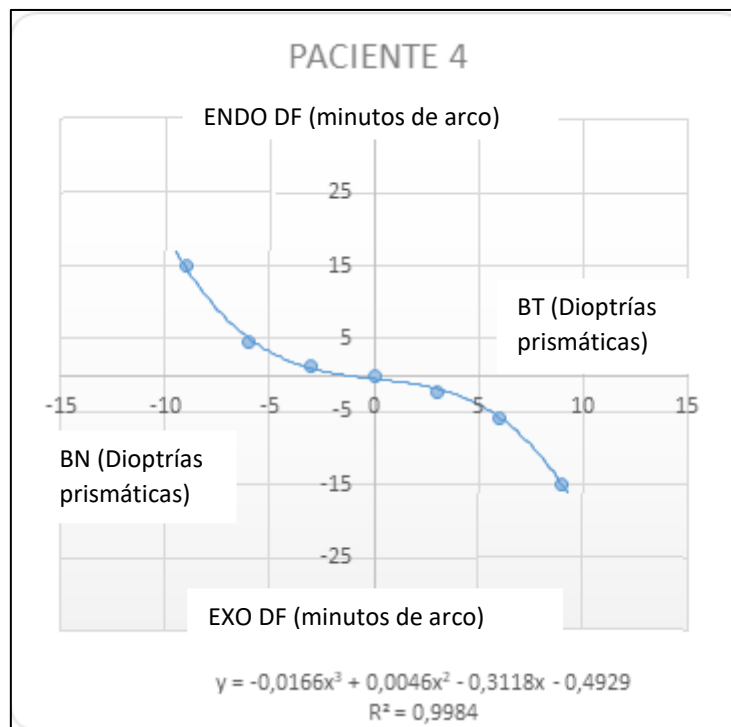


Imagen 32: curva de disparidad de fijación de vergencias forzadas

4.4 Análisis de las curvas de disparidad de fijación:

En este apartado vamos a analizar las curvas de disparidad de fijación en función de su tipología, el grado de ajuste de la curva a los valores de la muestra (R^2), y la robustez del sistema de vergencias mediante el cálculo de las pendientes de las curvas de disparidad de fijación.

Observando la simetría de las curvas (ver todas las gráficas en el anexo 6.7), podemos clasificarlas en función de su tipología.

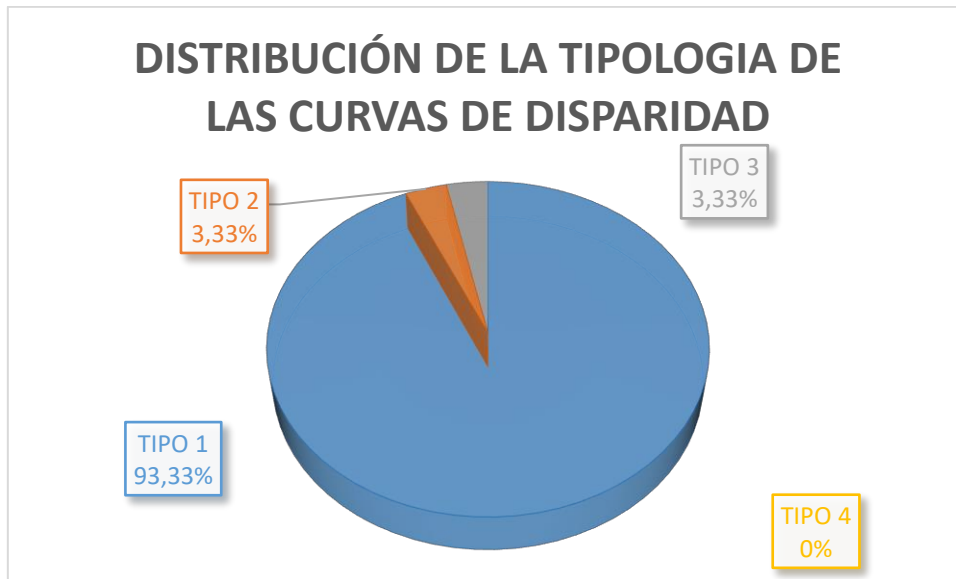


Gráfico 7: porcentajes de los tipos de curva de disparidad de nuestro estudio.

La clasificación de las curvas de disparidad de fijación nos indica que el 93.33% de la muestra de pacientes se encuentra dentro del tipo 1.

El tipo 2 y 3 están representados con el mismo valor porcentual, el 3.33% de la muestra de paciente.

En cuanto al tipo 4, está ausente en la muestra de pacientes del estudio.

Con el ajuste de las curvas a un polinomio de grado 3 obtenemos las ecuaciones y el coeficiente de determinación.

El coeficiente de determinación (R^2), nos indica el grado de ajuste de la curva a los valores de la muestra.

Las características de este coeficiente nos muestra que R^2 es una cantidad adimensional que solo puede tomar valores en $[0, 1]$, cuando el ajuste es bueno el valor de R^2 tomara valores cercanos a 1, por el contrario cuando el ajuste es malo tomara valores cercanos a 0.

PACIENTE	R2	PACIENTE	R2
1	0,9888	16	0,9944
2	0,9894	17	0,9895
3	0,9931	18	0,9997
4	0,9984	19	0,9934
5	0,991	20	0,9998
6	0,9935	21	0,9893
7	0,9963	22	0,9861
8	0,9894	23	1
9	0,9965	24	0,999
10	0,9966	25	0,9851
11	0,9884	26	0,9905
12	0,9851	27	0,9951
13	0,9953	28	0,9989
14	0,9875	29	0,9878
15	0,9795	30	0,9813

Tabla 5: coeficiente R2 de las curvas de disparidad de la muestra de pacientes.

Observamos que todos los valores de R2 son bastante superiores a 0 y están próximos a 1, por lo que podemos afirmar que las curvas de disparidad son representaciones fiables de los datos que hemos obtenido en la práctica.

Para valorar la robustez del sistema de vergencias vamos a analizar las pendientes de las curvas de disparidad de fijación. Para ello vamos a emplear dos métodos.

Método del punto de inflexión:

Este método se basa en el cálculo de la pendiente en el punto de inflexión de la curva de disparidad de fijación, basándonos en el polinomio grado 3 obtenido en el ajuste de la curvas.

El procedimiento sería el siguiente:

PASO 1: Cálculo $f'(x)$

PASO 2: Cálculo $f''(x)$

PASO 3: Obtención de $f''(x)=0$

PASO 4: Sustitución del valor de x en el paso 3, en el paso 1.

Ejemplo:

Ecuación: $y = -0,001x^3 + 0,0124x^2 - 0,6409x - 2,1681$

PASO 1: $f'(x) = -0,003x^2 + 0,0248x - 0,6409$

PASO 2: $f''(x) = 0,006x + 0,0248$

PASO 3: $0,006x + 0,0248 = 0$; $x = 4.13$

PASO 4: $f'(4.13) = -0,003x^2 + 0,0248x - 0,6409$; $f'(4.13) = -0.59$

La pendiente es igual a -0.59.

Método de Goss:

Para el cálculo de este método, Goss indica que la pendiente no se calcula sobre la función ajustada, sino en la porción central, concretamente el tramo que abarca desde el valor obtenido para 3 dioptrías prismáticas BN hasta el obtenido para 3 BT.

Para ellos debemos de realizar los siguientes pasos:

Debemos calcular en primer lugar los puntos $(x_1; f(x_1))$ y $(x_2; f(x_2))$, y en segundo lugar la pendiente que existe entre esos dos puntos.

Siendo $x_1: -3$ (valor del prisma 3 bn) y $x_2 = 3$ (valor del prisma 3 bt)

Calculo de $f(x_1)$

Calculo de $f(x_2)$

Calculo de la pendiente entre dos puntos $(x_1 ; f(x_1))$ y $(x_2 ; f(x_2))$ de la siguiente forma

$$F(x_2) - f(x_1) / x_2 - x_1$$

Ejemplo:

Ecuación: $y = -0,001x^3 + 0,0124x^2 - 0,6409x - 2,1681$

$$F(-3) = -0,1068$$

$$F(3) = -4,0062$$

$$(-3; -0.1068) \text{ y } (3; -4.0062) \quad (-4.0062 - (-0.1068)) / (3 - (-3)) = -0.6499$$

Pendiente es igual a -0.6499.

Podemos observar que siguiendo el mismo ejemplo los resultados no son iguales, es decir, aunque la pendiente nos de valores similares existe variación en función del método que utilizemos.

MÉTODO DEL PUNTO DE INFLEXIÓN	MÉTODO DE GOSS	MEDIA PENDIENTE
0,3	0,38	0,35
0,31	0,41	0,37
0,37	0,44	0,39
0,37	0,44	0,41
0,4	0,49	0,45
0,41	0,51	0,46
0,42	0,58	0,49
0,44	0,6	0,58
0,49	0,65	0,61
0,55	0,73	0,62
0,56	0,75	0,67
0,59	0,78	0,68
0,59	0,81	0,71
0,65	0,81	0,73
0,69	0,83	0,74
0,7	0,85	0,77
0,74	0,88	0,78
0,74	0,9	0,79
0,82	0,91	0,87
0,91	0,93	0,93
1	0,95	0,96
1,06	1,09	1,08
1,08	1,1	1,12
1,09	1,15	1,12
1,13	1,23	1,14
1,18	1,31	1,28
1,25	1,5	1,34
1,28	1,53	1,41

Tabla 6: valores de la pendiente de las curvas de disparidad.

En la tabla 6 están representados los datos de la pendiente según los métodos del punto de inflexión y el método de Goss, así como la media entre ellas, ordenadas por la robustez del sistema de visión binocular.

Los colores que aparecen en la tabla son verde para valores de pendiente más próximas a cero lo que implica mayor robustez y rojos para valores más próximos a 1 lo que implica menor robustez.

Si analizamos los dos métodos, el 48% de la muestra analizada por el método del punto de inflexión presentan valores por debajo de 0.6, frente al 25% del método de Goss.

Si ampliamos el intervalo a $[0, 1]$, el porcentaje de la muestra es el mismo para los dos métodos. El 75 % está dentro de dicho intervalo.

En cuanto a la variación entre métodos, los valores obtenidos mediante el método de Goss presentan un 17% de incremento frente al método del punto de inflexión.

Como para el análisis de la robustez del sistema de visión binocular nos basamos en el intervalo $[0, 1]$, podemos indicar que ambos métodos son similares ya ese intervalo presenta el mismo porcentaje.

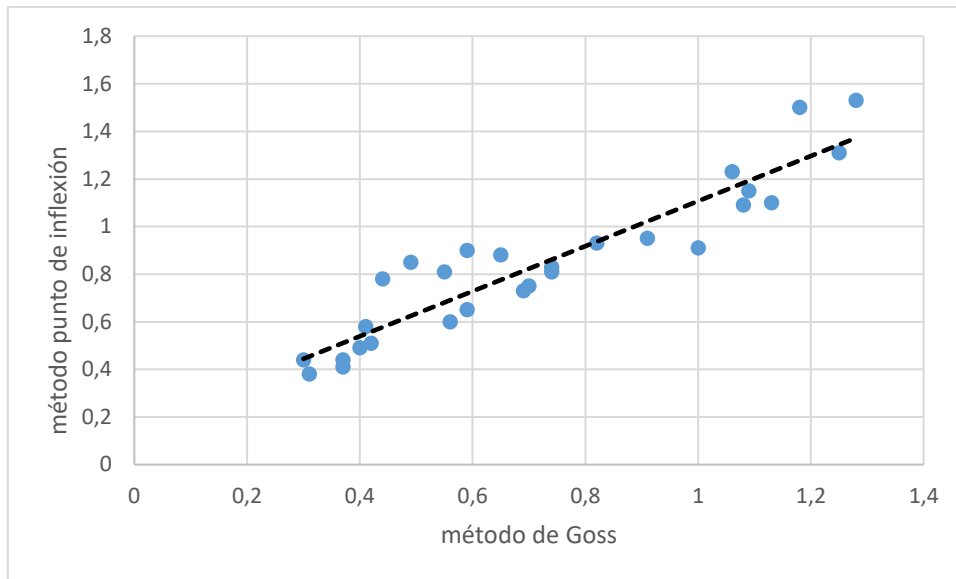
Para valorar la relación que existe entre ambos métodos vamos a utilizar el coeficiente de correlación lineal (r), de esta forma evaluamos la asociación lineal entre las dos variables.

El coeficiente de correlación lineal carece de unidades de medida.

Toma valores comprendidos entre $[-1, 1]$.

Cuando r toma valores próximos a 1 en valor absoluto (los valores negativos nos indican que la recta es decreciente y los positivos que la recta es creciente) existe una relación muy fuerte entre las variables.

Cuando r toma valores próximos a cero, no existe relación lineal entre ambas variables. En este caso se dice que las variables son incorreladas.



Gràfica: correlació lineal entre los dos métodos de cálculo de pendientes.

El valor del coeficiente de correlación lineal r es 0.931.

El valor obtenido nos indica una relación lineal muy fuerte, por lo tanto ambos métodos son fiables para la determinación de las pendientes.

Teniendo en cuenta la relación existente entre los dos métodos podemos analizar la robustez del sistema visual ante un cambio de vergencias.

Una pendiente pronunciada (superior a 1) indica un pobre equilibrio oculomotor. La disparidad de fijación cambia bruscamente con los cambios de vergencias, una pendiente plana (próxima a 0) indica un buen equilibrio oculomotor y una mayor robustez del sistema visual del paciente.

En función de los datos analizados de la muestra de pacientes del estudio el 75% presentan una mayor robustez del sistema de visión binocular y el 25% restante presenta un pobre equilibrio oculomotor y tienen mayor probabilidad de presentar sintomatología al realizar un cambio de vergencias.

5. CONCLUSIÓN

Se ha desarrollado un disparómetro anaglífico tipo Sheedy para ser implementado en una Tablet de 8" con resolución de 1.15 minutos de arco y hasta un valor de DF de 33.35 minutos de arco. Para ello, previamente, se han calibrado espectralmente los colores a utilizar filtrados por la gafa anaglífica y se ha comprobado que tanto cromáticamente, como fotométricamente son adecuados para tal uso.

El diseño de los estímulos del disparómetro, se ha efectuado teniendo presente que el test tiene que tener un marco fusionable de color negro como control de las vergencias y los estímulos monoculares cian y rojo, se ha llevado a cabo con el programa Photoshop que ha permitido controlar píxel a píxel el posicionado de cada uno de los elementos.

Se ha medido la disparidad de fijación a una muestra de 30 pacientes, a partir de los valores obtenidos de disparidad y foria asociada se ha construido las curvas de disparidad de vergencias forzadas de cada uno de ellos con el propósito de observar la robustez del sistema de vergencias.

El 63% de los pacientes muestran exodisparidad, el 30% endodisparidad y el 7% restante ortodisparidad.

Para la creación de las curvas de disparidad de fijación se han ajustado los datos experimentales a un polinomio grado 3, obteniendo un valor medio de $R^2 = 0.99$, indicando que las gráficas son representaciones fiables de los datos que hemos obtenido en la práctica.

Clasificamos a los pacientes en función la tipología de las curvas de disparidad de vergencias forzadas. El 93.33% son tipo I, el 3.33 son de tipo II y el 3.33 restante son del tipo III.

Para el análisis de la robustez del sistema de vergencias, se ha llevado la medida de la pendiente de la curva de disparidad mediante dos métodos: el método del punto de inflexión y el método de Goss.



Para valorar la relación que existe entre ambos métodos hemos utilizado el coeficiente de correlación lineal. El valor obtenido es de $r=0.931$, el cual nos muestra una relación lineal muy fuerte entre ambos métodos.

Por lo tanto en cuanto a la importancia clínica de los valores obtenidos concluimos que el 75% de la muestra de paciente tiene una buena robustez de su sistema de vergencias frente el 25% de la muestra de pacientes que tienen una mayor probabilidad de presentar sintomatología cuando realizan un cambio de vergencias.

6. BIBLIOGRAFÍA

Álvaro M. Pons Moreno, Francisco M. Martínez Verdú, "Fundamentos de visión binocular". Edición 2004

Ángels Ferrero Rosanas, artículo sobre "Adaptaciones sensoriales en alteraciones de la visión binocular". 2014.

David A. GOSS, "Ocular accommodation, convergence, and fixation disparity: a manual of clinical analysis" edición 1995

Hamed Momeni Moghadam, David A Goss, Abbas A Yekta, and Marzieh Ehsani. Evaluation of Fixation Disparity Curve Parameters With the Modified Near Mallett Unit in Symptomatic and Asymptomatic University Students 2013

Jaschinski W Individual objective versus subjective fixation disparity as a function of forced vergence. 2018

Jaschinski W, Jainta S, Kloke WB. Objective vs subjective measures of fixation disparity for short and long fixation periods. Ophthal Physiol Opt. 2010

Jaschinski W. Fixation disparity and accommodation for stimuli closer and more distant than oculomotor tonic positions. Vision Res. 2001

Jaschinski W, Peter Bröde, Barbara Griefahn. Fixation disparity and nonius bias. Institut für Arbeitsphysiologie, Universität, Ardeystraße 67, D-44139, Dortmund, Germany 1999.

Javier Tomás Juan, David P. Piñero Llorens, La disparidad de fijación: concepto y manejo clínico. Artículo científico. La gaceta. 2015.

Joanna M. N. Otto & Miriam Kromeier & Michael Bach & Guntram Kommerell. Arch Clin Exp Ophthalmol (2008)

Kolb H, Fernandez E, Nelson R, editors "Webvision: The Organization of the Retina and Visual System" 1995.

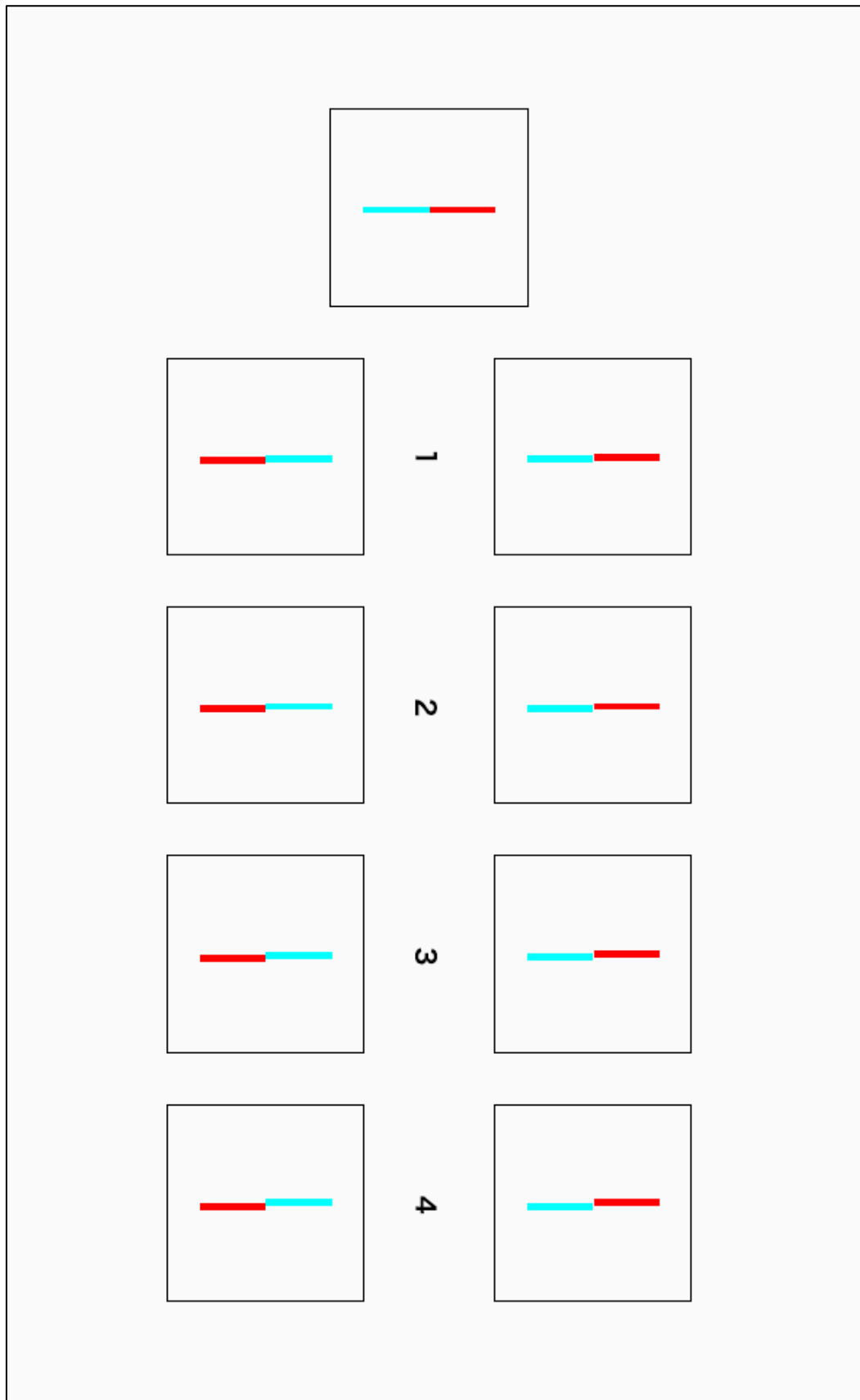
M. Rosa Borrás García, Juan Carlos Ondategui Parra, Mireia Pacheco, Elvira Peris, Eulalia Sánchez, Consuelo Varon (1993). "Optometria. Manual de exámenes clínicos".

Ogle KN, Martens TG, Dyer JA. Oculomotor imbalance in binocular vision and fixation disparity Philadelphia, PA: Lea & Febiger; 1967. May.

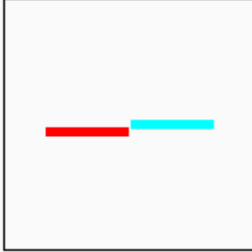
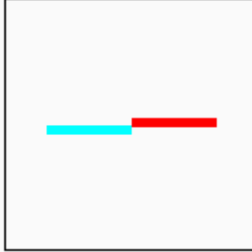
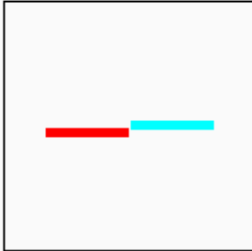
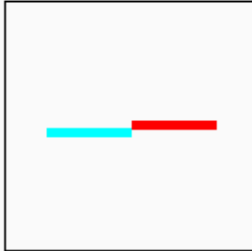
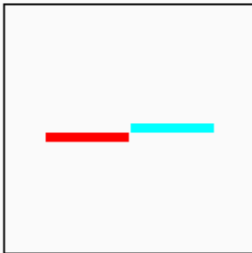
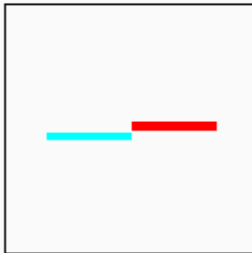
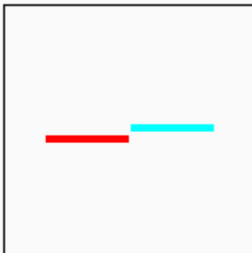
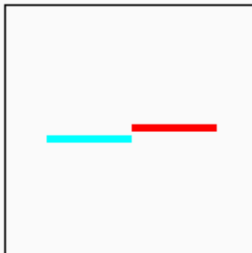
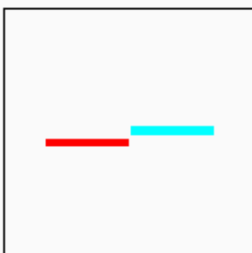
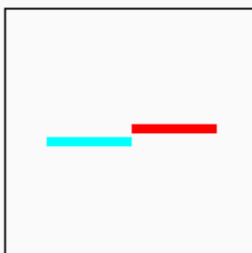
Schor C. Fixation of disparity: a steady state error of disparity-induced vergence. Am J Optom Physiol Opt. 1980

7. ANEXOS.

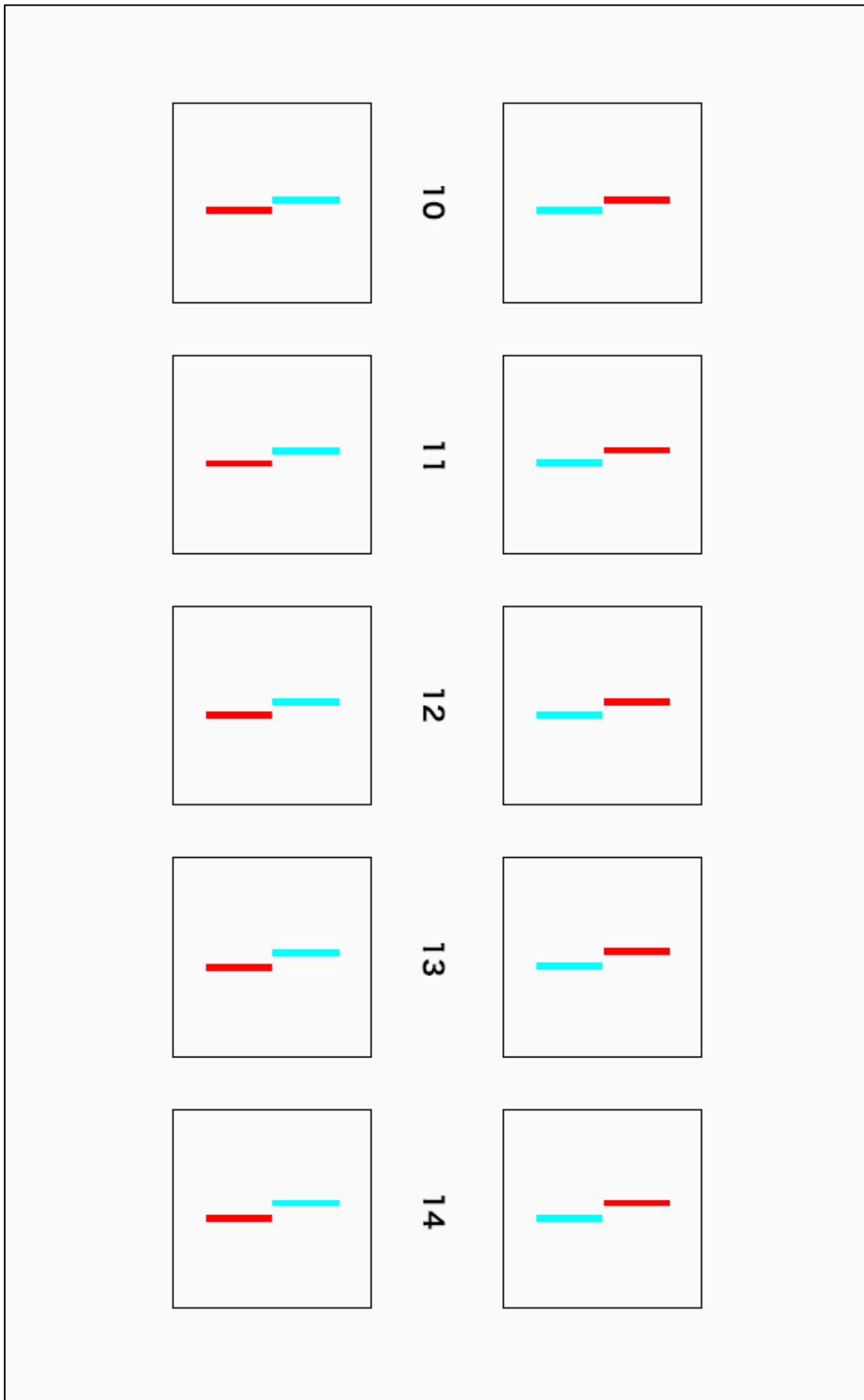
ANEXO 7.1 TEST Nº 1



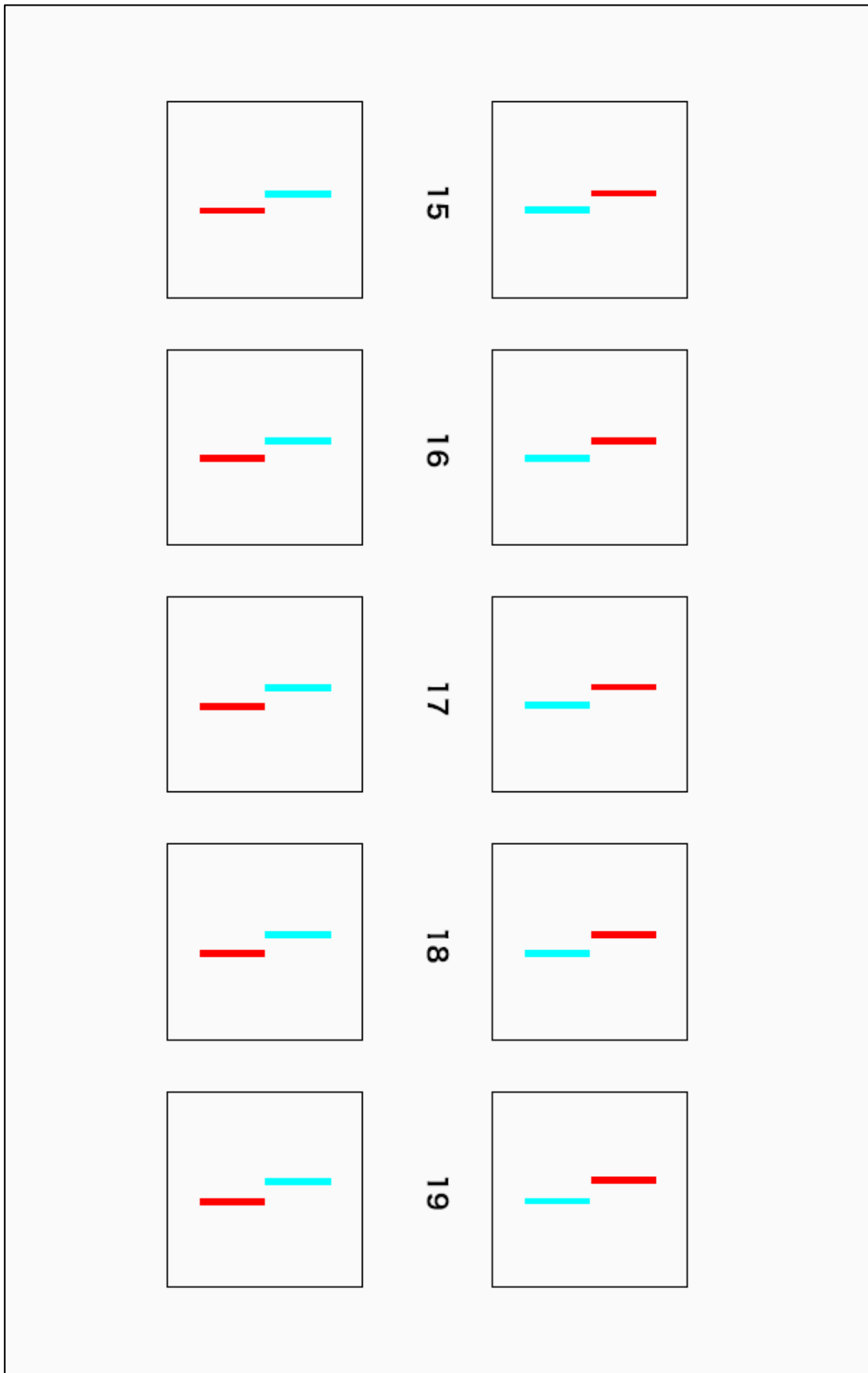
ANEXO 7.2 TEST Nº 2

	5	
	6	
	7	
	8	
	9	

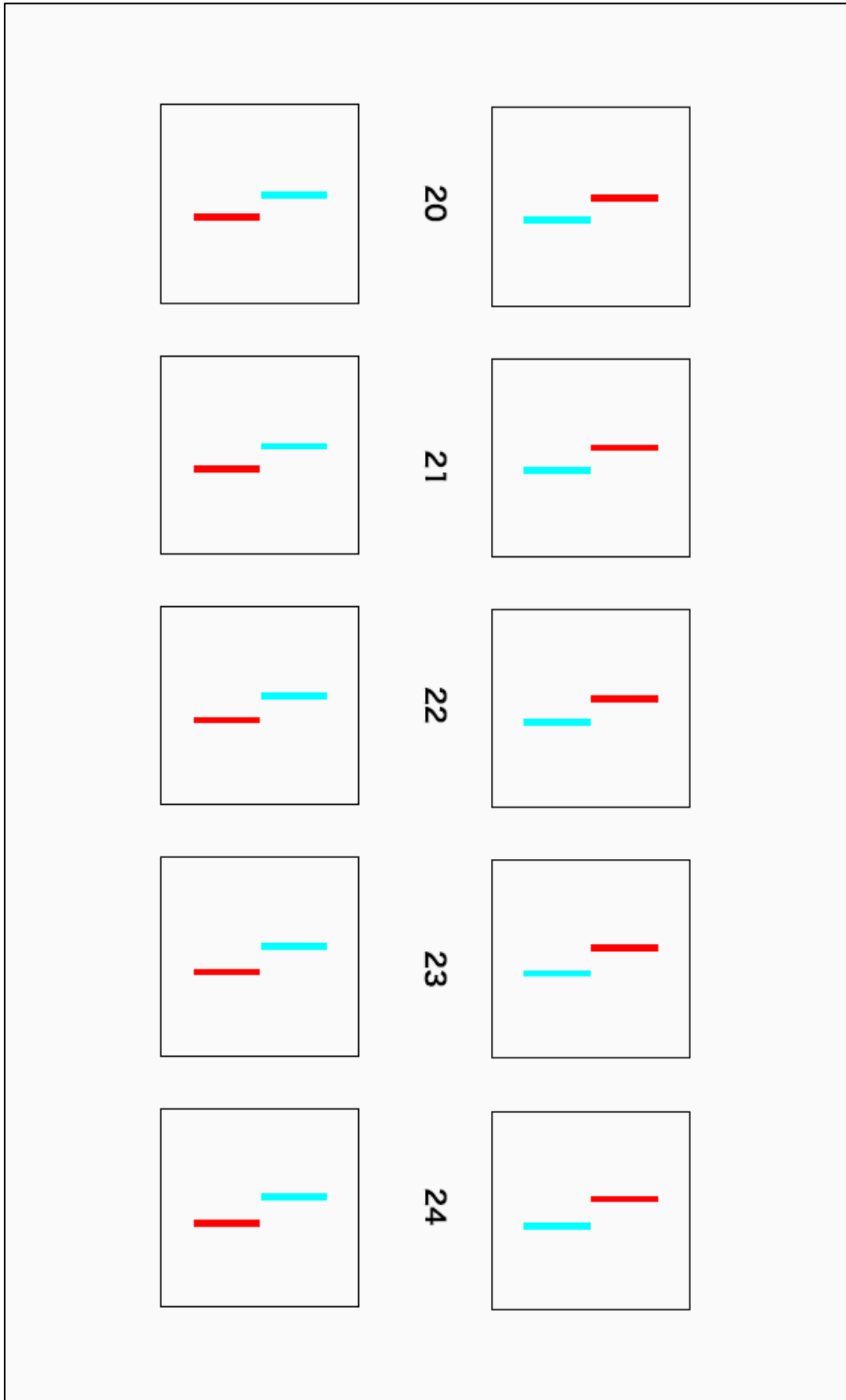
ANEXO 7.3. TEST Nº 3



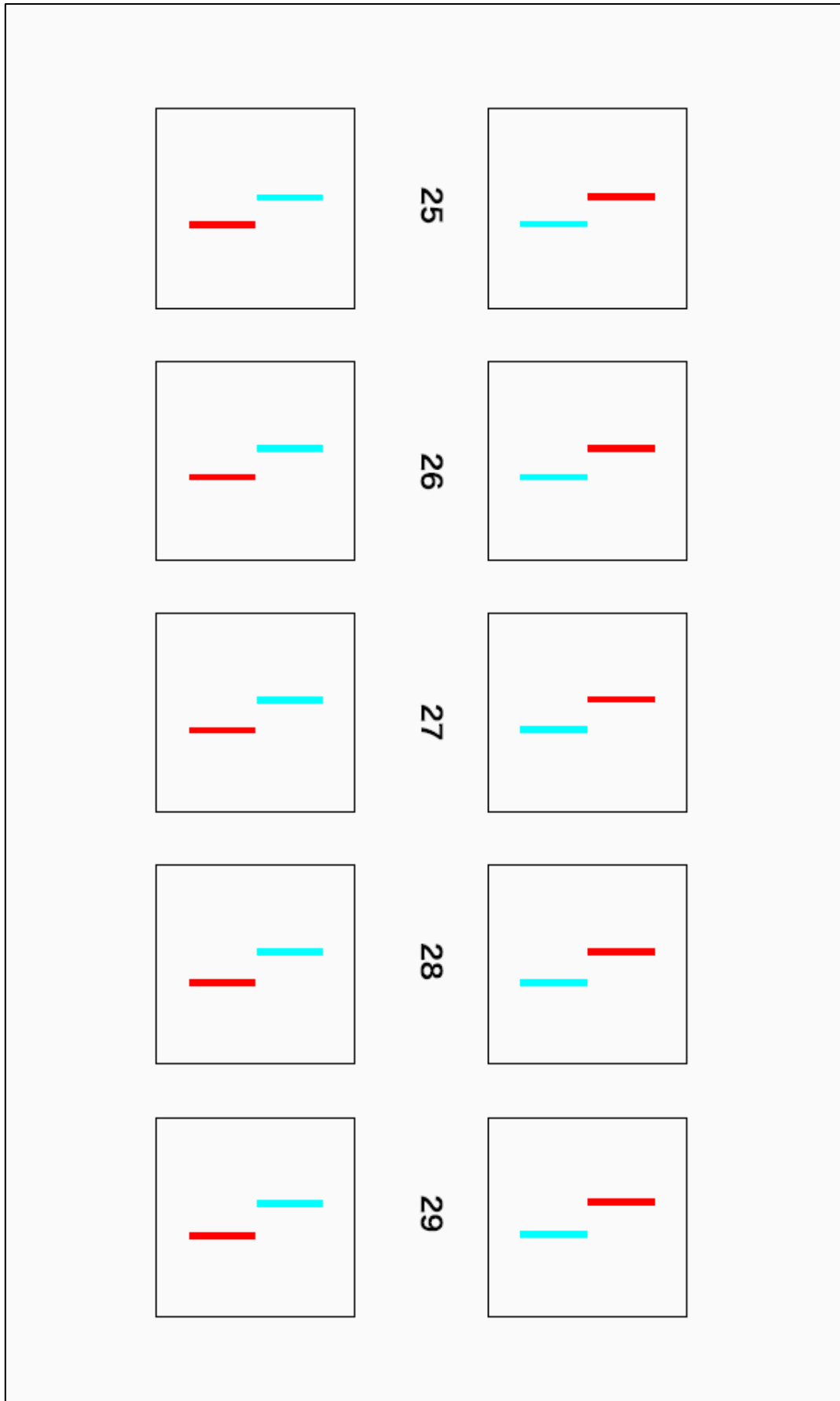
ANEXO 7.4 TEST Nº 4



ANEXO 7.5 TEST Nº 5



ANEXO 7.6 TEST Nº 6



ANEXO 6.7: GRAFICAS DISPARIDAD DE FIJACIÓN

A continuación vienen representadas las 30 gráficas de disparidad de fijación de la muestra de pacientes.

En el eje de abscisas (x) se representan las potencias prismáticas:

- valores negativos equivalen a potencia prismática base nasal.
- Valores positivos equivalen a potencia prismática base temporal.

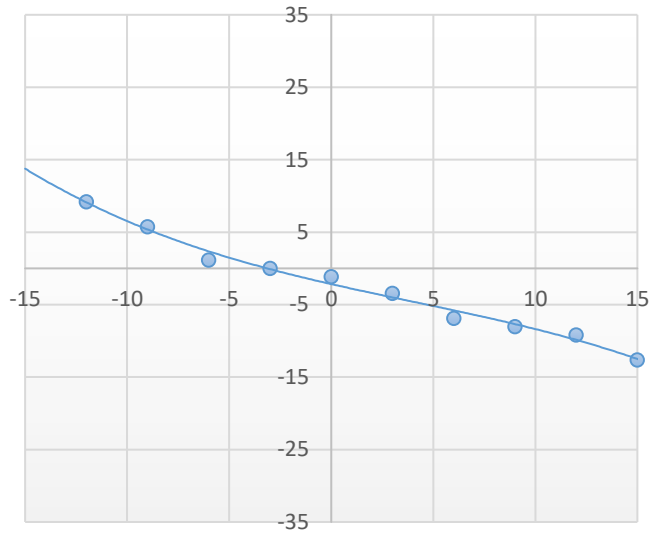
En el eje de ordenadas (Y) está representado la disparidad de fijación:

- Valores negativos equivalen a exo disparidad de fijación en minutos de arco.
- Valores positivos equivalen a endo disparidad de fijación en minutos de arco.

La curva de disparidad de fijación objeto de estudio es la que está comprendida entre los puntos experimentales, los tramos de la gráfica que sobresalen del dominio experimental solo aparecen como referencia para realizar la curva ajustada completa.

Al pie de cada gráfica está representada la ecuación polinómica de grado 3 de la curva ajustada y el coeficiente de determinación R^2 .

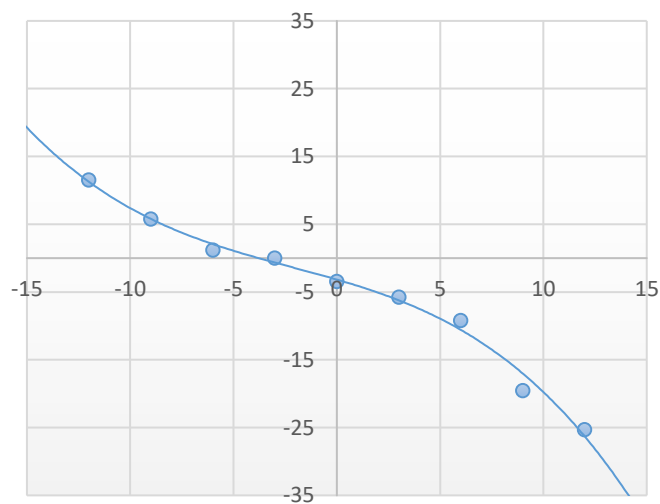
PACIENTE 1



$$y = -0,001x^3 + 0,0124x^2 - 0,6409x - 2,1681$$

$$R^2 = 0,9888$$

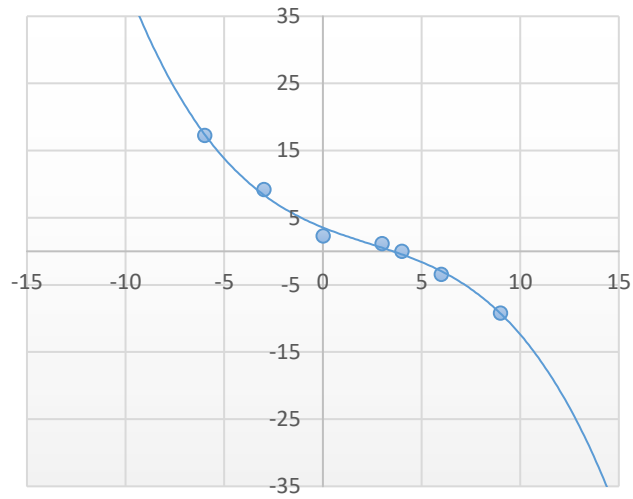
PACIENTE 2



$$y = -0,0047x^3 - 0,0303x^2 - 0,8838x - 3,1662$$

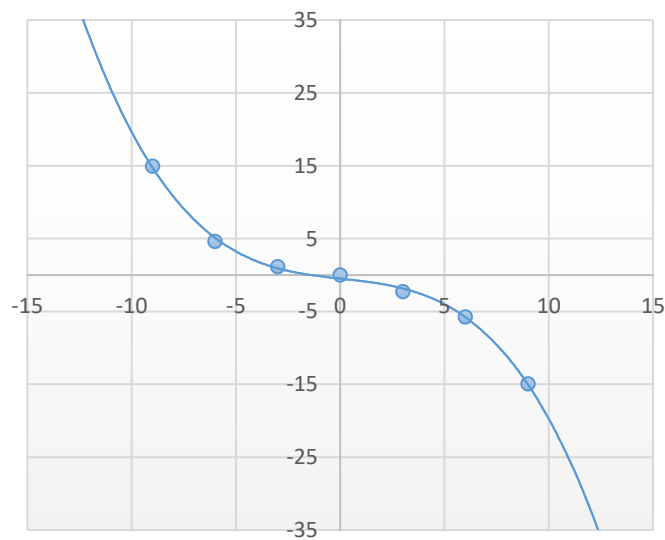
$$R^2 = 0,99$$

PACIENTE 3



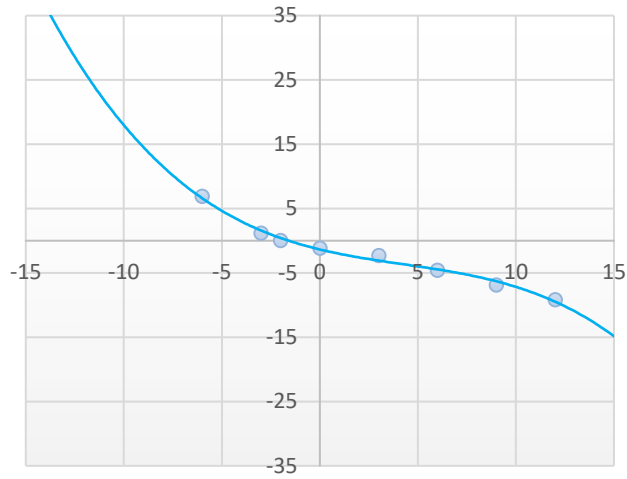
$$y = -0,0144x^3 + 0,1027x^2 - 1,1826x + 3,5455$$
$$R^2 = 0,9931$$

PACIENTE 4



$$y = -0,0166x^3 + 0,0046x^2 - 0,3118x - 0,4929$$
$$R^2 = 0,9984$$

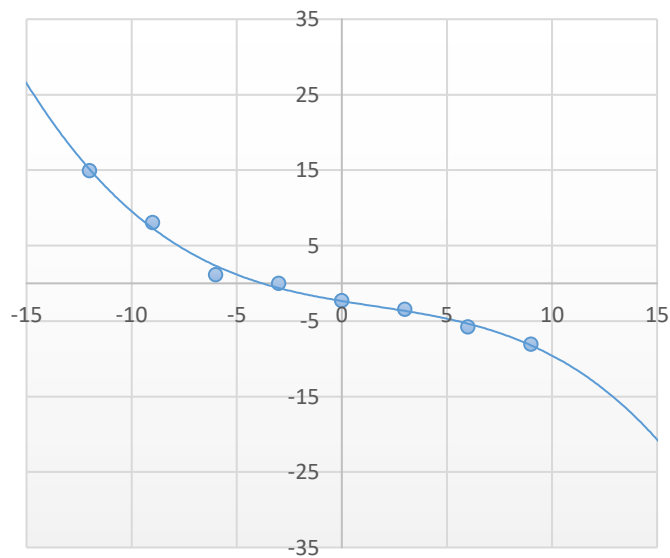
PACIENTE 5



$$y = -0,0052x^3 + 0,0676x^2 - 0,7336x - 1,3618$$

$$R^2 = 0,991$$

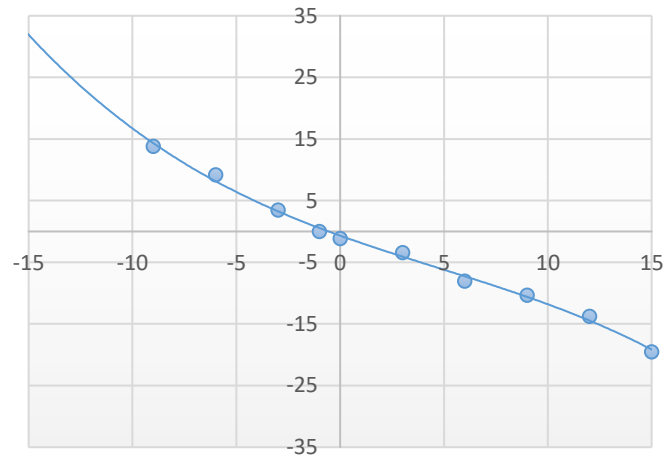
PACIENTE 6



$$y = -0,0049x^3 + 0,0234x^2 - 0,4612x - 2,3423$$

$$R^2 = 0,9935$$

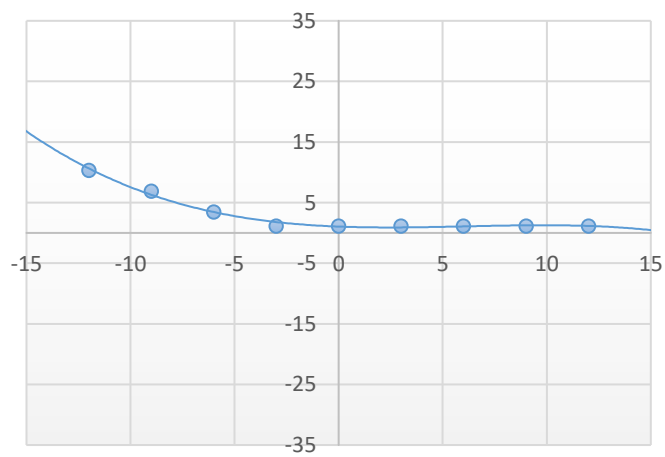
PACIENTE 7



$$y = -0,0022x^3 + 0,0313x^2 - 1,2065x - 0,6778$$

$$R^2 = 0,9963$$

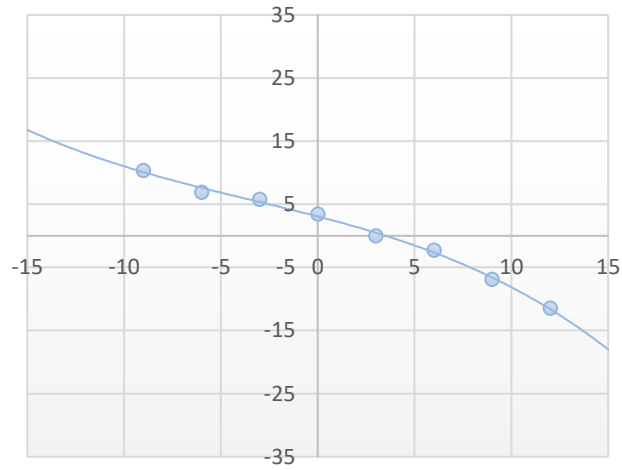
PACIENTE 8



$$y = -0,0018x^3 + 0,0336x^2 - 0,1316x + 1,0504$$

$$R^2 = 0,9894$$

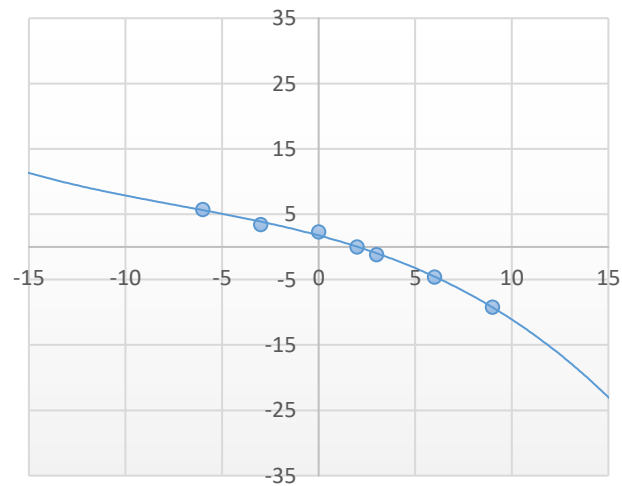
PACIENTE 9



$$y = -0,0016x^3 - 0,0163x^2 - 0,7961x + 3,0692$$

$$R^2 = 0,9965$$

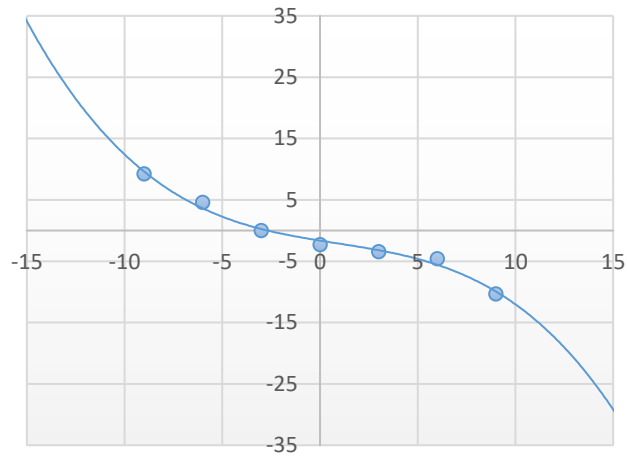
PACIENTE 10



$$y = -0,0016x^3 - 0,0338x^2 - 0,7919x + 1,7607$$

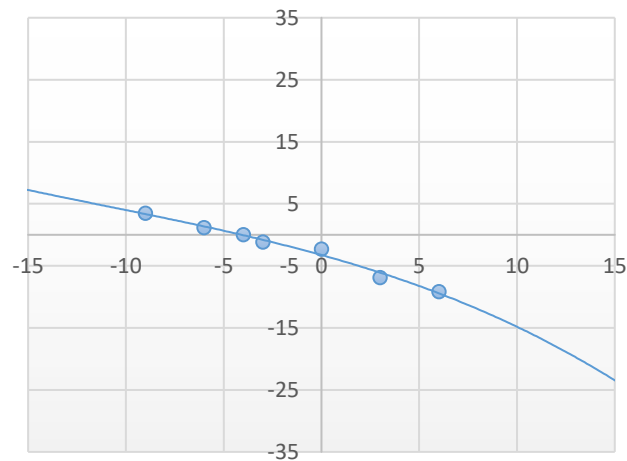
$$R^2 = 0,9966$$

PACIENTE 11



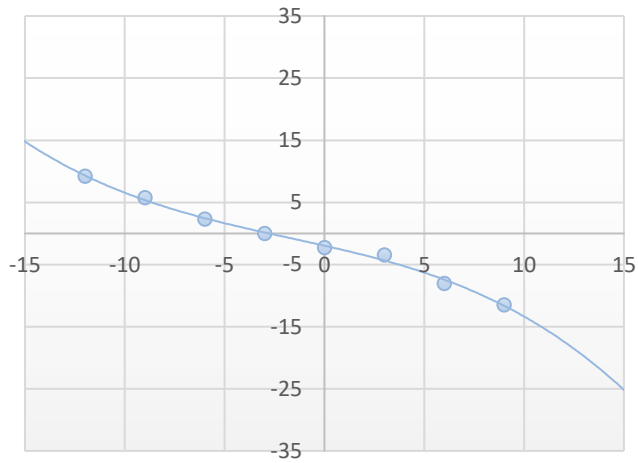
$$y = -0,0071x^3 + 0,0183x^2 - 0,5111x - 1,6429$$
$$R^2 = 0,9884$$

PACIENTE 12



$$y = -0,0007x^3 - 0,0216x^2 - 0,8748x - 3,2571$$
$$R^2 = 0,9851$$

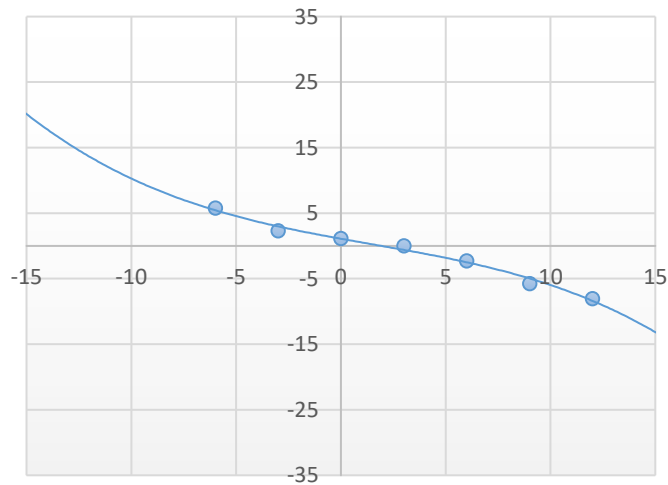
PACIENTE 13



$$y = -0,0027x^3 - 0,0144x^2 - 0,7275x - 1,9665$$

$$R^2 = 0,9953$$

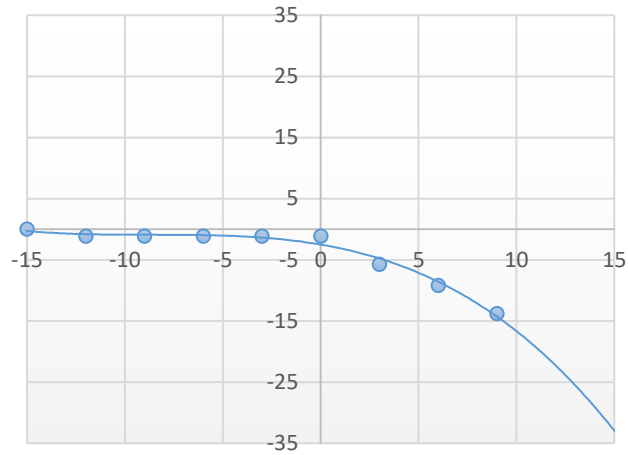
PACIENTE 14



$$y = -0,0024x^3 + 0,0106x^2 - 0,5765x + 1,0952$$

$$R^2 = 0,9875$$

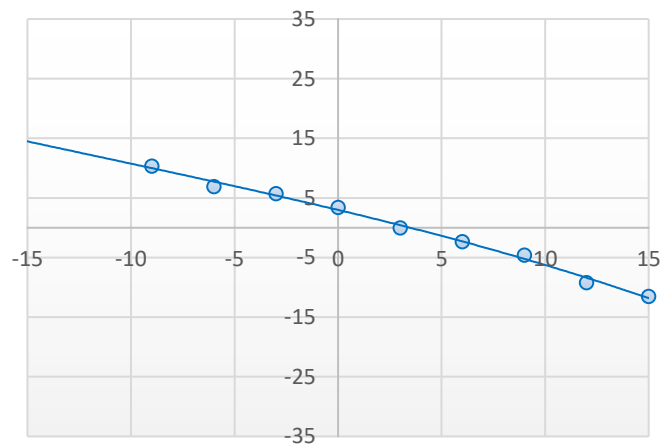
PACIENTE 15



$$y = -0,0024x^3 - 0,0627x^2 - 0,5481x - 2,5141$$

$$R^2 = 0,9795$$

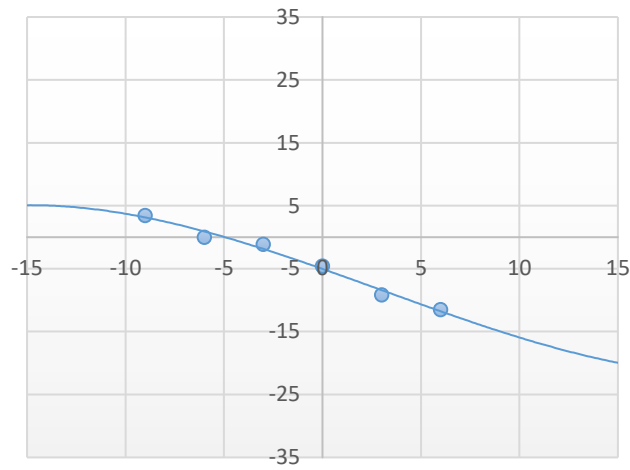
PACIENTE 16



$$y = -0,0002x^3 - 0,0073x^2 - 0,8282x + 2,9845$$

$$R^2 = 0,9944$$

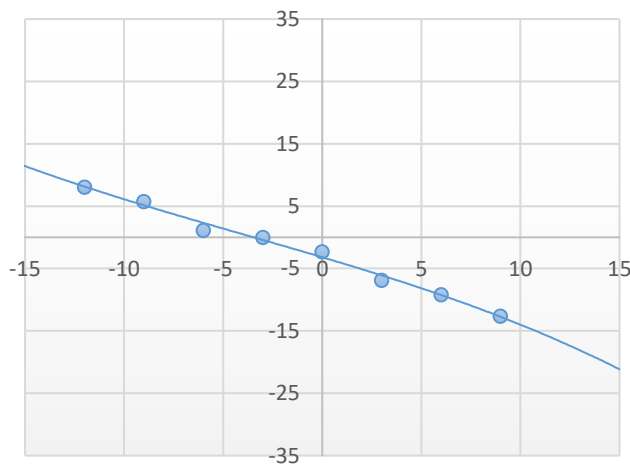
PACIENTE 17



$$y = 0,0012x^3 - 0,0106x^2 - 1,1013x - 5,0381$$

$$R^2 = 0,9855$$

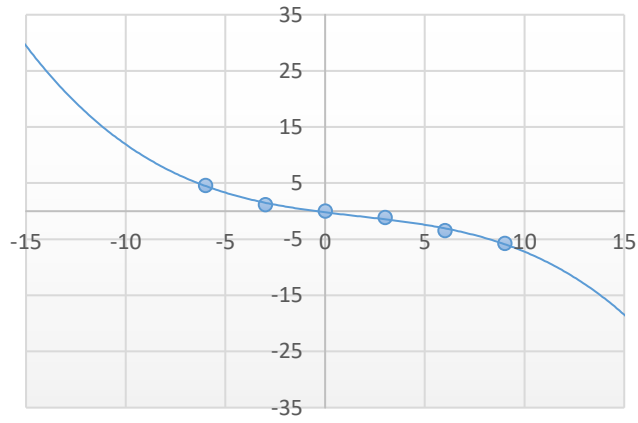
PACIENTE 18



$$y = -0,0006x^3 - 0,0075x^2 - 0,9409x - 3,1936$$

$$R^2 = 0,9907$$

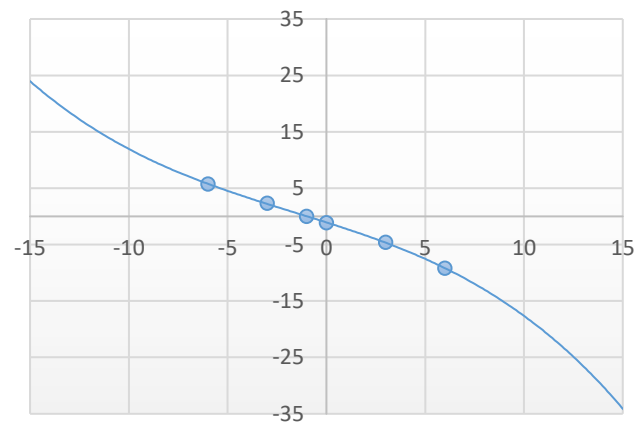
PACIENTE 19



$$y = -0,0051x^3 + 0,0254x^2 - 0,4437x - 0,2008$$

$$R^2 = 0,9934$$

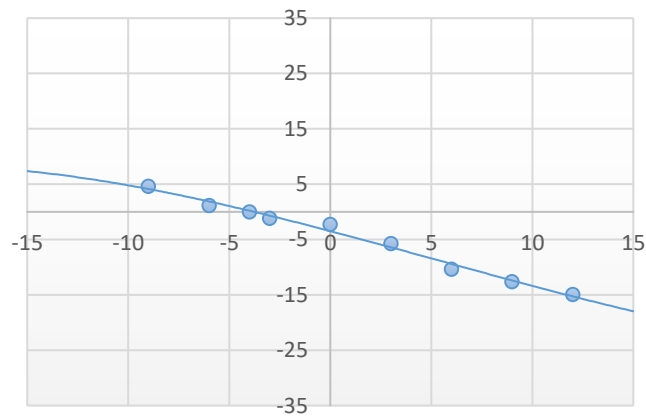
PACIENTE 20



$$y = -0,0036x^3 - 0,0178x^2 - 1,1148x - 1,0672$$

$$R^2 = 0,9998$$

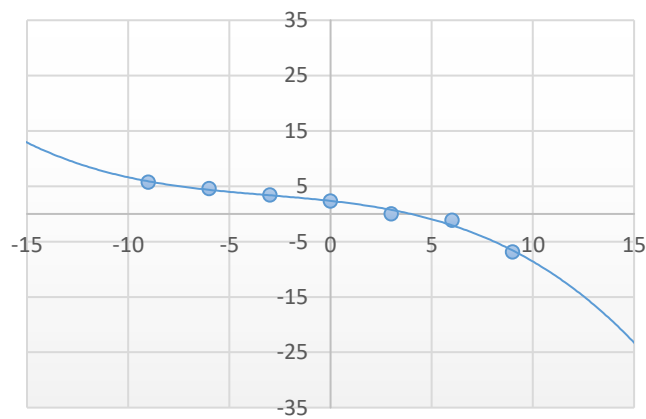
PACIENTE 21



$$y = 0,0005x^3 - 0,0081x^2 - 0,9586x - 3,4701$$

$$R^2 = 0,9893$$

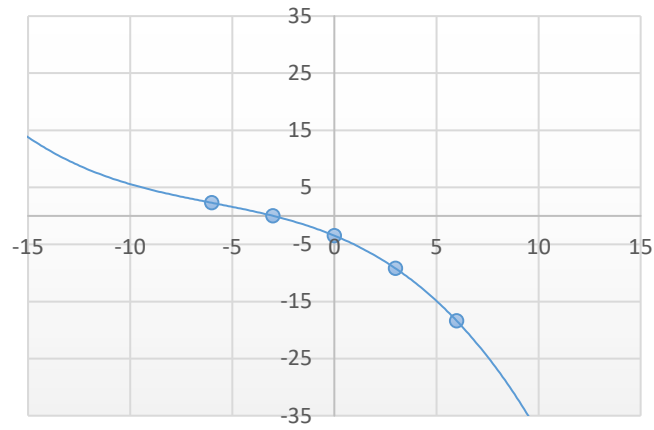
PACIENTE 22



$$y = -0,0035x^3 - 0,0335x^2 - 0,4062x + 2,3548$$

$$R^2 = 0,9861$$

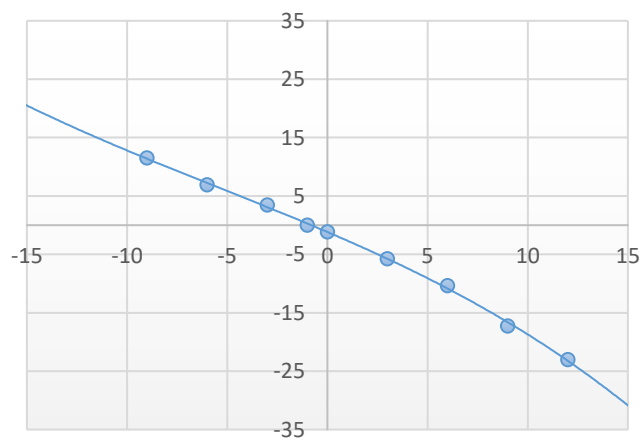
PACIENTE 23



$$y = -0,0071x^3 - 0,1278x^2 - 1,4694x - 3,45$$

$$R^2 = 1$$

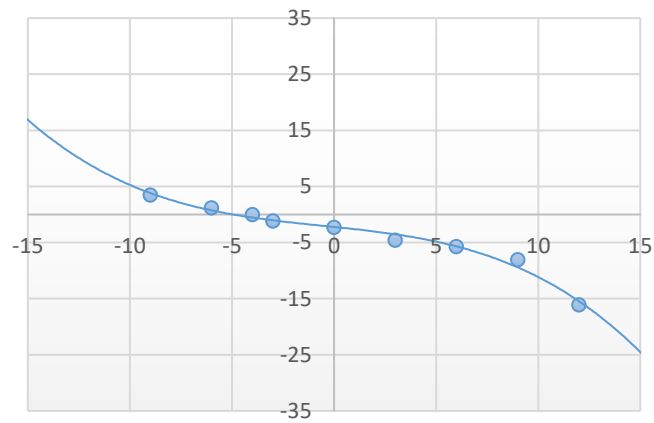
PACIENTE 24



$$y = -0,0011x^3 - 0,0178x^2 - 1,4665x - 1,1727$$

$$R^2 = 0,999$$

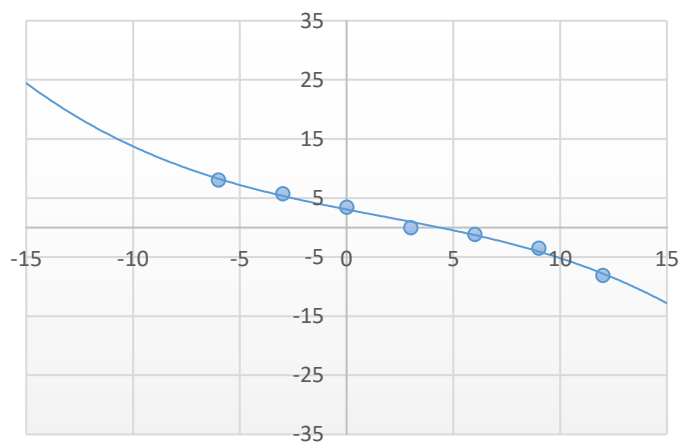
PACIENTE 25



$$y = -0,0045x^3 - 0,0072x^2 - 0,3737x - 2,2175$$

$$R^2 = 0,9851$$

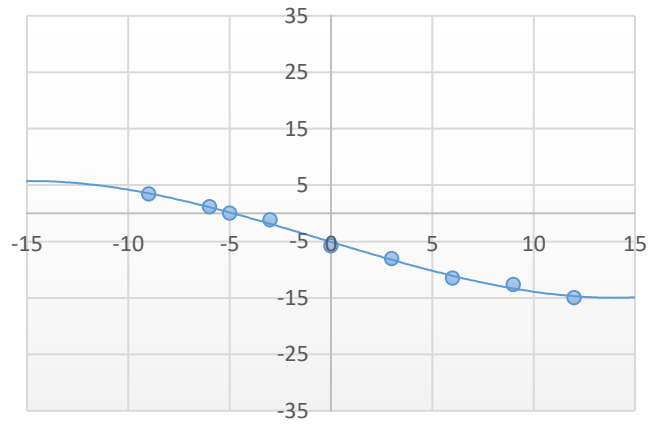
PACIENTE 26



$$y = -0,0024x^3 + 0,0122x^2 - 0,7089x + 3,0667$$

$$R^2 = 0,9905$$

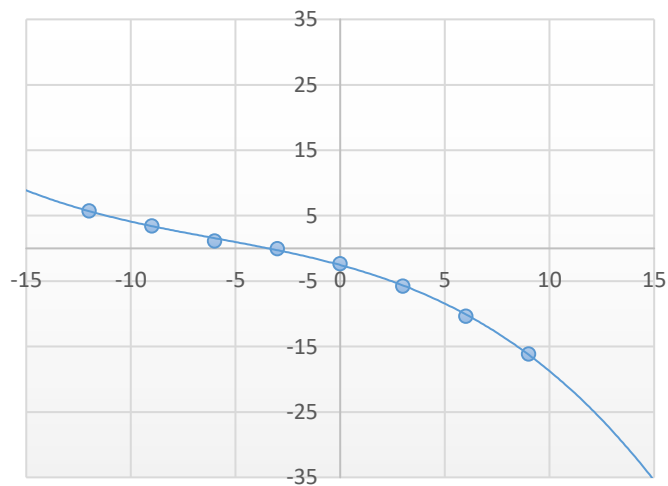
PACIENTE 27



$$y = 0,0017x^3 + 0,0021x^2 - 1,0769x - 5,0659$$

$$R^2 = 0,9951$$

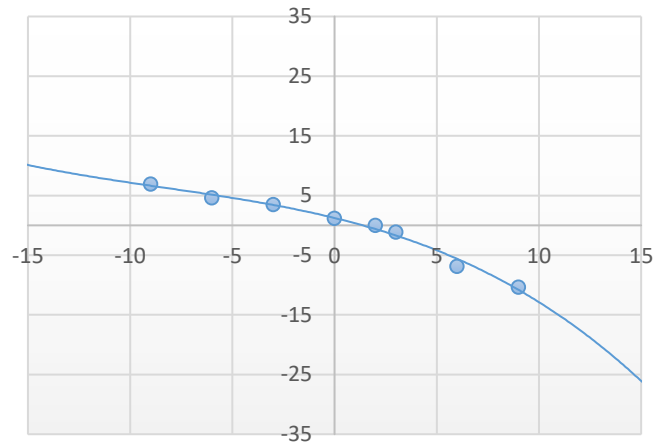
PACIENTE 28



$$y = -0,0027x^3 - 0,0478x^2 - 0,8736x - 2,5415$$

$$R^2 = 0,9989$$

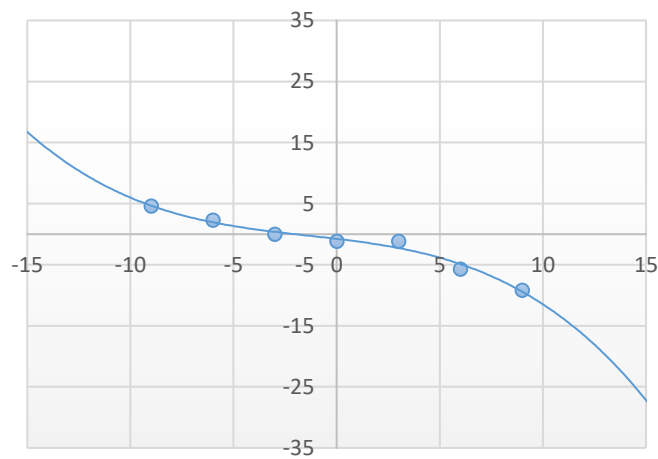
PACIENTE 29



$$y = -0,0016x^3 - 0,0409x^2 - 0,8361x + 1,2329$$

$$R^2 = 0,9878$$

PACIENTE 30



$$y = -0,0047x^3 - 0,0198x^2 - 0,4001x - 0,7667$$

$$R^2 = 0,9813$$