



**Universidad**  
Zaragoza

JUNIO 2015

# Validación Clínica de una nueva técnica de medida de las reservas fusionales binoculares

TRABAJO FIN DE GRADO

**PILAR GRACIA AGUDO**

**DIRECTORES:**

**Jorge Ares**

**Sara Perchés**





# ÍNDICE

---

1.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	Vergencias fusionales y su clasificación .....	1
1.2	Instrumentos y técnicas para medir vergencias fusionales.....	3
1.3	Interés clínico de las vergencias fusionales .....	6
2.	HIPÓTESIS Y OBJETIVO .....	8
3.	MÉTODOS.....	9
3.1	Procedimiento.....	9
3.2	Condiciones de la prueba.....	11
4.	RESULTADOS .....	12
4.1	Análisis descriptivo de la muestra .....	12
4.2	Relación entre ambos métodos .....	12
5.	DISCUSIÓN .....	20
6.	CONCLUSIONES.....	24
7.	ANEXOS .....	25
	Anexo 1 Valores normales de vergencias a pasos .....	25
	Anexo 2 Valores normales de vergencias suaves .....	26
	Anexo 3 Punto de rotura en divergencia con objeto 1.61 grados .....	27
	Anexo 4 Divergencia: Punto de rotura según el tamaño del objeto .....	28
	Anexo 5 Punto de rotura en convergencia .....	29
	Anexo 6 Convergencia: Punto de rotura según el tamaño del objeto .....	30
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	31



## 1. INTRODUCCIÓN

### 1.1 VERGENCIAS FUSIONALES Y SU CLASIFICACIÓN

Existen numerosas evidencias que demuestran la existencia de una mejor imagen con movimientos oculares que si no los hay: la experiencia de Kelly de estabilización de la imagen retiniana<sup>1</sup>, el fenómeno Troxler<sup>1</sup>... Si nos fijamos en aspectos más cotidianos podríamos nombrar, por ejemplo, situar la imagen de un objeto de interés en la zona de nuestra retina donde obtenemos una mejor agudeza visual, conseguir ampliar nuestro campo de visión efectivo o mantener la fijación binocular... Para ello interfieren diferentes movimientos oculares, como las vergencias.

Hablamos de vergencias cuando nos referimos a aquellos movimientos binoculares y disyuntivos en los que varía el ángulo de cruce de los ejes visuales. Su objetivo es alinear las fóveas de ambos ojos sobre un objeto, favoreciendo la fusión de las dos imágenes monoculars, y si el sistema de visión binocular está en buen estado, conseguir una imagen en estereopsis<sup>1</sup>.

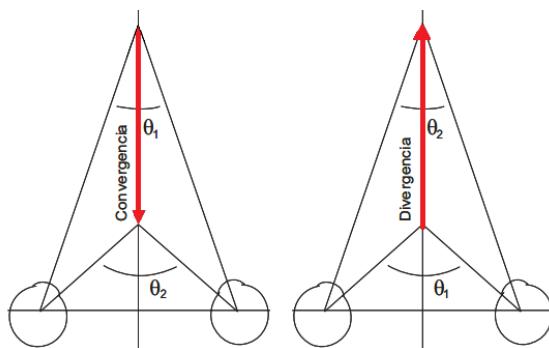


Fig. 1 Movimiento de convergencia y divergencia<sup>(2)</sup>

Existen diferentes clasificaciones de las vergencias según el punto de vista desde el que lo abordemos:

- Según la orientación del movimiento ocular podemos distinguir entre:
  - Vergencias horizontales: Convergencia y divergencia
  - Vergencias verticales: infraverbergencia y supraverbergencia
  - Ciclovergencias: inciclovergencia o exciclovergencia
- Según el estímulo necesario para que la vergencia se active (también conocida como clasificación de Maddox):
  - Vergencia tónica
  - Vergencia proximal
  - Vergencia acomodativa
  - Vergencia fusal

Si nos referimos a la clasificación según el movimiento ocular, y en concreto a las vergencias horizontales, la convergencia es el movimiento binocular que realizan los ojos para ver objetos situados en distancias próximas, aumentando el ángulo de cruce de los ejes visuales<sup>1</sup>. Está estrechamente relacionada con la acomodación. Una forma cuantitativa de relacionar ambas magnitudes es mediante la relación AC/A, que se define como el cambio que induce en las vergencias la variación de una dioptría acomodativa<sup>3</sup>. El segundo componente de las vergencias horizontales es la divergencia. Se trata de aquel movimiento binocular que realizan los ojos para percibir objetos en distancias lejanas, disminuyendo el ángulo de cruce de los ejes visuales<sup>1</sup>.

Otro componente de la primera clasificación son las vergencias verticales. Hacen referencia a la capacidad que tiene el sistema visual de realizar un movimiento disyuntivo en vertical manteniendo la imagen haplópica. A su vez las vergencias verticales se clasifican en infravergencia y supravergencia. La primera es la habilidad que tiene uno de los ojos para girar su eje visual hacia abajo (con respecto al eje visual del ojo contrario) manteniendo la fusión. Por el contrario si eje visual de un ojo gira con respecto del otro hacia posiciones superiores hablamos de supravergencia. Se miden con respecto a uno de los dos ojos ya que la infravergencia de un ojo equivale a la supravergencia del otro y viceversa.

Por último, en cuanto a la clasificación se distinguen las ciclovergencias. Se trata de un movimiento binocular en el que uno de los ojos gira sobre su eje visual. Para el caso de la inciclovergencia el OD lo hace en sentido de las agujas del reloj y el OI en sentido contrario, manteniendo la imagen fusionada. Si por el contrario hablamos de exciclovergencia, el OD rota con respecto a su eje visual en sentido contrario a las agujas del reloj mientras que el OI lo hace a favor del movimiento de las mismas, sin perder la imagen haplópica.

La segunda clasificación realizada, hace referencia al planteamiento de Maddox, el cual parte de la premisa de que la respuesta de las vergencias viene determinada por un conjunto de vergencias subyacentes:

- Vergencia tónica: Es la que tiene nuestro sistema en ausencia de estímulos visuales, debida al tono muscular. De acuerdo con Maddox, es la componente base a partir de la cual se estructuran las demás. Si la vergencia tónica no es la adecuada, el paciente presentará forias (definimos foria como la desviación latente de los ejes visuales). Cuando es escasa, tendrá exoforia, mientras que si es excesiva, será endoforia.
- Vergencia proximal: Es la que se produce cuando el sujeto sabe que el objeto está situado a una distancia próxima. Es involuntaria y de poca magnitud. Una manera de cuantificarla sería mediante la diferencia entre el AC/A calculada y el AC/A gradiente:
  - o Definimos el AC/A calculada como cambios producidos en las vergencias como consecuencia de una variación de la acomodación al cambiar la distancia de fijación.
  - o Definimos el AC/A gradiente como cambios producidos en las vergencias como consecuencia de una variación de la acomodación con lentes (es decir, manteniendo la distancia de fijación)

Para una misma demanda acomodativa se puede observar como el AC/A calculada es ligeramente superior a la gradiente. Esa variación es consecuencia de la vergencia proximal<sup>3</sup>.

- Vergencia acomodativa: Debido a la relación que existe entre la acomodación y la convergencia (ligadas fisiológicamente junto con la miosis por estar todas ellas inervadas por el tercer par craneal<sup>4</sup>), es la que se produce de forma refleja al variar la acomodación. Para Maddox, es la más importante de todas junto con la fusional. Afirmaba que como consecuencia de la vergencia acomodativa se iniciaba la fusional. Su valor condiciona la foria del paciente en visión próxima, es decir, si al acomodar a una cierta distancia el paciente tiene una vergencia mayor a la necesaria, tendrá endoforia en visión próxima (aunque no presente forias en visión lejana). Por el

contrario, si es inferior a la necesaria, presentará una exoforia. El componente de la vergencia acomodativa en la medición de las reservas fusionales es el intervalo en el que el paciente consigue mantener una imagen haplópica, aunque borrosa ya que el sistema varía su acomodación para poder variar la vergencia asociada.

- Vergencia fusal: Cuando percibimos doble un objeto, aparece una disparidad retiniana. Para compensar dicha disparidad, actúan las vergencias fusionales. Esta vergencia es la que utiliza el sujeto para compensar su foria en el caso de que la tenga. Puede ser cuantificada mediante prismas (barra de prismas o foróptero). Cuando habitualmente medimos las reservas fusionales, la parte correspondiente a estas vergencias sería hasta que el paciente empieza a ver borroso y haplópico (salvo para la divergencia en VL, donde no se espera que el paciente perciba borrosidad)

La clasificación de Maddox nos sirve para tener una idea básica sobre el funcionamiento de las vergencias, aunque actualmente está demostrado que es un mecanismo más complejo debido a que existe una mayor interacción entre cada uno de los componentes, por lo que ha quedado un poco obsoleta<sup>3</sup>

## **1.2 INSTRUMENTOS Y TÉCNICAS PARA MEDIR VERGENTIAS FUSIONALES**

Las vergencias, al igual que otros movimientos oculares, se cuantifican por la rotación de la dirección de la mirada, y en este caso por la rotación del eje de fijación (recta que va del centro de rotación del ojo al punto de fijación). Puesto que el centro de rotación del ojo es algo complejo de obtener, se utiliza la línea de mirada (va desde el centro de la pupila de entrada al punto de fijación). Realizando esta aproximación sobreestimamos la rotación angular del sistema visual, aunque no es significativa<sup>3</sup>.

Clínicamente, las reservas fusionales se utilizan para la medida de las vergencias fusionales positivas y negativas mediante la adición de potencia prismática, que genera una disparidad de fijación y a su vez una demanda de vergencias que es lo que medimos<sup>3</sup>.

Existen diferentes métodos y técnicas de medida, que clasificaremos en técnicas objetivas y subjetivas

### Técnicas objetivas<sup>1</sup>:

Dentro de las técnicas objetivas podemos encontrar sistemas videofotográficos. La cámara recoge una serie de imágenes que después analiza mediante un software que le permite conocer los movimientos que realiza el ojo. Para detectar el movimiento, estos sistemas se basan en el movimiento de algunas estructuras oculares, como el limbo o la pupila<sup>6</sup>.

Para ambos casos podríamos distinguir entre dos grupos de sistemas de seguimiento:

- Aquellos que utilizan la señal de video adquirida por una cámara, a partir de la cual tratan de encontrar el iris y su centro. Se consiguen rangos de movimientos de  $\pm 15$  grados con resoluciones de 0.1 grados.
- Aquellos que utilizan fotocélulas para observar zonas específicas del ojo, técnicas conocidas como Oculografía de Infrarrojo. La posición del iris se establece a partir de la diferencia de iluminación medida en las zonas seleccionadas, elegidas según el movimiento a estudiar. Se siguen consiguiendo rangos de movimientos de  $\pm 15$  grados,

pero en este caso la precisión aumenta al conseguir resoluciones desde pocos grados hasta  $2.8 \times 10^{-3}$  grados (aproximadamente 10 segundos de arco)

Una tercera variante de los métodos videofotográficos sería la basada en las imágenes de Purkinje<sup>6</sup>. Esta técnica consiste en medir la diferencia entre la primera y la cuarta imagen de Purkinje (el reflejo de la cara anterior de la córnea y posterior del cristalino respectivamente), distancia que cambia al moverse el ojo.

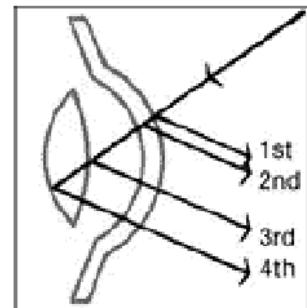


Fig. 2 Reflexiones de Purkinje<sup>(6)</sup>

Otra manera de medir objetivamente vergencias es mediante el uso de lentes de contacto<sup>6</sup>. Para ello, se colocan en el paciente unas lentes de contacto especiales, que se dividen en dos tipos:

- Lentes de contacto con uno o varios microespejos, de forma que se envía luz infrarroja que es reflejada y luego recogida por una cámara de vídeo que registra el movimiento y a partir de esa información calcula la posición de los ojos.
- Lentes de contacto con una microbobina: mediante un casco especial se crea un campo electromagnético y una señal eléctrica en la bobina que se amplifica y se registra. La señal se descompone en sus componentes vertical y horizontal indicando los movimientos en esas direcciones.

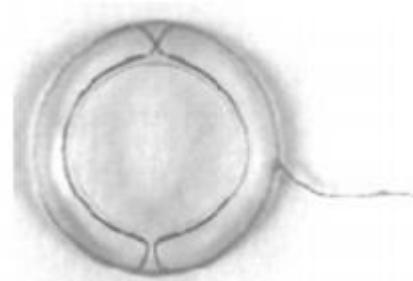


Fig. 3. Lente de contacto con filamentos<sup>(6)</sup>

Es un método muy invasivo y molesto de manera que no se puede utilizar más de 20-30 minutos seguidos.

Entre la córnea y la esclera existe una diferencia de potencial de 20Mv. A partir de esta idea surgen dos técnicas de medición objetiva, la electro-oculografía y los dispositivos de campo magnético:

En el primer caso, parte de la idea de que esa diferencia de potencial genera un dipolo. Al colocar electrodos en los laterales del ojo y de los párpados, podemos registrar los cambios del potencial eléctrico que se genera por la variación de ángulo entre dichos electrodos. En función de la variación de potencial se deducen los movimientos que han realizado los ojos. Su principal ventaja es la independencia de los resultados con los movimientos de la cabeza, y su mayor inconveniente es la influencia que tienen los campos eléctricos del entorno sobre la prueba.

En el segundo caso, mediante dispositivos de campo magnético, se basa en la idea de que asociado a esta diferencia de potencial se genera también un campo magnético que

puede registrarse fácilmente. Como ventajas destacan la precisión del sistema y la independencia con los movimientos de la cabeza, mientras que como desventaja está el parpadeo que puede modificar la posición de la espira que realiza la medida.

Otro método objetivos que existen actualmente es el uso de una cápsula de succión. Mediante una ventosa se fija un espejo en el ojo y se envía luz para que se refleje en el mismo. Cuenta con el parpadeo como principal inconveniente.

Finalmente tendríamos la observación directa como método directo. Se basa en la observación del movimiento por parte del examinador. Su principal desventaja es que se trata de un método cualitativo. Además, es muy difícil detectar movimientos de pequeña amplitud.

#### Técnicas subjetivas

Podemos medir las vergencias de manera subjetiva mediante el uso de barra de prismas (vergencias a pasos). Para ello, se coloca un optotipo equivalente a la máxima AV del sujeto, se sitúa la barra de prismas delante de uno de los ojos sus ojos y se va variando progresivamente la potencia del prisma hasta conseguir los puntos de rotura y recobro. Una de las ventajas que nos da es que podemos ver los ojos del sujeto mientras realizamos la prueba.



Fig. 6 Medición mediante  
barra de prismas <sup>(20)</sup>

Otra técnica subjetiva utilizada en clínica es la medida mediante foróptero (vergencias suaves). Es el mismo procedimiento que el anterior, con la diferencia de que en vez de la barra de prismas utilizamos los prismas del Risley del foróptero. A diferencia de la barra de prismas, en este caso también podemos obtener el punto de borrosidad, pero no se pueden ver los ojos del sujeto mientras se realiza la prueba.

Finalmente, la aplicación *Vergence Trainer* en Android es una aplicación desarrollada por Smart Things for visión para la medida de las vergencias fusionales de manera subjetiva. Da información de las reservas fusionales horizontales del paciente. Además puede ser útil en el entrenamiento de las vergencias en pacientes de terapia visual, que pueden realizar ejercicios en la consulta y en su casa desde cualquier dispositivo Android. Está basada en anáglifos rojo-verde, con y sin puntos aleatorios. Presenta una disparidad variable de la imagen, por lo que el paciente al utilizar su gafa rojo-verde le exigirá cierta demanda de vergencias (debido a la disparidad que se crea) manteniendo el plano de acomodación a una distancia constante.

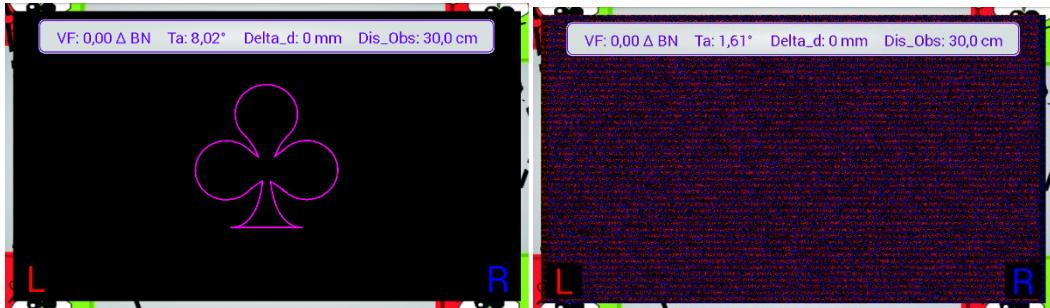


Fig. 4 Aplicación Vergence Trainer. Test de anaglifos

Fig. 5 Aplicación Vergence Trainer. Test de puntos aleatorios

A nivel clínico, las técnicas que más se utilizan son el foróptero o la barra de prismas. Para ambos casos, mediante la adición de prismas (Base temporal, BT, para convergencia y Base nasal, BN, para divergencia) se obtiene el punto de borrosidad, rotura y recobro. Como para algunos pacientes es difícil definir la borrosidad, nos centraremos exclusivamente en los puntos de rotura y recobro, midiendo la totalidad de las reservas fusionales sin hacer distinciones.

Estudios demuestran que tanto las vergencias suaves como a pasos tienen una buena repetitividad, aunque no se pueden intercambiar ambos métodos, ya que los valores normales son más altos para las vergencias suaves que para las vergencias a pasos<sup>7</sup> (*Valores normales en anexos 1 y 2*). En la prueba se utilizará la barra de prismas como referencia de las técnicas convencionales para comparar los resultados con los obtenidos con la aplicación.

A la hora de medir las reservas fusionales es importante medir primero las negativas y continuar con las positivas para evitar que haya un falseamiento de los datos. Un estudio llevado a cabo por *Hadassah Academic College (Department of Optometry)*<sup>5</sup> trató de cuantificar cómo variaban los resultados si las reservas se medían en un sentido o en otro. Los resultados obtenidos mostraron que los valores de las vergencias fusionales negativas medidas después de las positivas eran inferiores en promedio que cuando se medían antes de las positivas, tanto en la ruptura como en el recobro. Por otra parte, las positivas apenas sufrían variación si se medían las primeras o las segundas.

Esto es debido a que las características psicológicas y neurológicas son diferentes. Cuando hay una alta demanda de convergencia, la respuesta del sistema visual no finaliza un instante después de que desaparezca el estímulo sino que cesa de forma gradual debido a la acomodación. Por ello, se recomienda que si por algún motivo se miden primero las positivas, esperar un rato hasta medir las negativas o realizar intercaladas entre éstas las verticales u otra medida que no requieran de convergencia para minimizar el error lo máximo posible.

### 1.3 INTERÉS CLÍNICO DE LAS VERGENCIAS FUSIONALES

Las vergencias fusionales son un parámetro interesante de estudiar, teniendo en cuenta que son las encargadas de compensar forias y cualquier otra disparidad retiniana. Es por ello por lo que se convierten en una importante y útil medida en varios aspectos: el estudio del estado binocular, en terapia visual y en el descentramiento de lentes oftálmicas.

Son fundamentales para estudio binocular antes y después de la terapia visual. Las vergencias juegan un papel esencial en el estado binocular del paciente, tanto su amplitud, como su flexibilidad y dinámica, y todas ellas han de estudiarse en conjunto para establecer un diagnóstico válido y completo, tal y como observó Grisham<sup>10</sup>, que encontró una relación entre la dinámica de las vergencias y algunos de los síntomas que presentaban los sujetos de su estudio.

El análisis del estado binocular del paciente, no solo es útil para caracterizar problemas binoculares no estrábicos y hacer un diagnóstico diferencial entre varios que presenten una sintomatología similar, sino que también es importante para evaluar la evolución de un paciente tras un tratamiento de terapia visual o durante el mismo.

Se pueden someter a análisis con varios criterios que sirvan como guía para determinar si el paciente tiene una visión binocular cómoda o no en lo que a vergencias se refiere:

- Criterio de Sheard: Establece que la reserva de vergencia fusional tiene que ser como mínimo el doble de la demandada (foria). Actualmente se utiliza de forma orientativa para calcular el prisma que debería prescribirse o el aumento de reserva de vergencia fusional que habría que conseguir con entrenamiento visual<sup>11</sup>.
- Criterio de Percival: Parte de la base de que el punto de demanda 0 debería estar en el tercio medio del rango de fusión total, sin considerar la foria. Actualmente, se utiliza con poca frecuencia, sobre todo porque el razonamiento para prescribir el prisma sin considerar la foria es cuestionable<sup>12</sup>.

Cuando se realiza un estudio de la visión binocular, para caracterizar las reservas fusionales de un paciente se miden tres parámetros<sup>10</sup>:

- Emborronamiento: Punto en el que se ha estimulado al máximo la vergencia fusional. A partir de aquí entra también en juego la vergencia acomodativa con el fin de mantener una imagen binocular y haplópica aunque borrosa.
- Rotura: Punto a partir del cual el paciente ya no dispone de vergencia acomodativa para utilizar y no es capaz de compensar la disparidad. En el punto de rotura el paciente verá doble.
- Recobro: Este punto nos da información sobre la habilidad que tiene nuestro paciente para recuperar la visión binocular después de que se produjese una situación de diplopía.

Otro punto en el que las vergencias cobran importancia es en terapia visual. Se ha visto que los movimientos vergenciales tienden a tener anomalías funcionales y son bastante comunes en la población clínica. Las que son objeto de estudio y tratamiento en terapia visual son aquellas que presentan sintomatología y no tienen una patología subyacente asociada a dichos síntomas. No detectarlas a tiempo puede tener consecuencias para la visión binocular del paciente.

De acuerdo con la clasificación de Wick<sup>8</sup> las podemos clasificar según el valor de AC/A que esperamos tener:

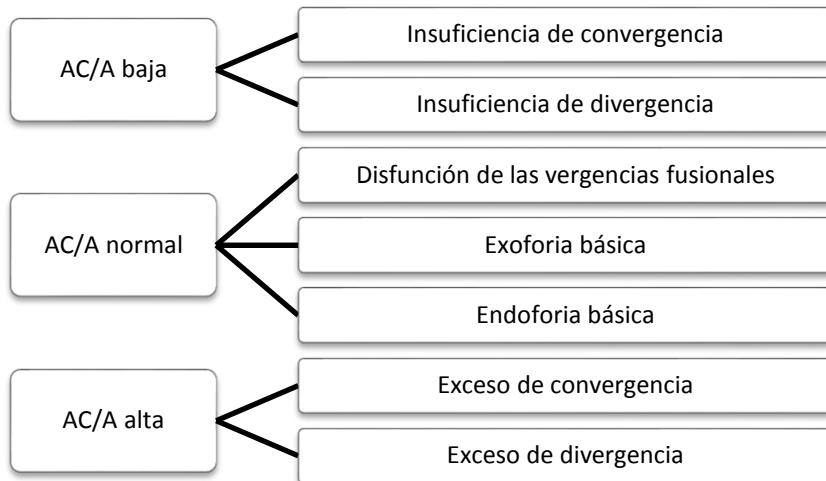


Fig. 7 Clasificación de Wick según el AC/A<sup>(20)</sup>

Con respecto a la prevalencia de estas disfunciones, las más frecuentes son la insuficiencia de convergencia (7% en niños y adultos) seguida muy de cerca del exceso de convergencia (5.9-7.1%) y de la disfunción de las vergencias fusionales<sup>9</sup>

La terapia visual orientada a problemas de vergencias y acomodativos está basada en una elevada estimulación secuencial y específica a nivel sensorial y motor, tanto voluntaria como involuntaria. Para ello se manipula la disparidad, la borrosidad y la proximidad aparente del objeto para equilibrar ambos sistemas y las relaciones entre ellos. Todo ello tiene como fin último conseguir una óptima visión binocular, no solo de forma aislada sino también de forma cotidiana y eliminar los síntomas (si los hubiese).

La tasa de mejoría es muy elevada (70-100%), que junto a las anomalías acomodativas, muestran una gran plasticidad oculomotora, con una reducción marcada de los síntomas<sup>9</sup>.

Un último factor donde se muestra la importancia de las vergencias es en el taller de montaje de gafas. En ocasiones, puede resultar útil descentrar lentes oftálmicas en el montaje de gafas para conseguir un diámetro más pequeño con el fin de reducir espesores o abaratar el coste. Otras veces, simplemente se produce un descentramiento involuntario al cambiar la distancia de fijación a la que están diseñadas las gafas (por ejemplo, leer con unas gafas para VL). Un descentramiento, por leve que sea induce un efecto prismático sobre la imagen y la tolerancia del paciente a la desviación que se produce dependerá en gran medida de la capacidad que tenga para compensar ese efecto prismático mediante las vergencias fusionales.<sup>13, 14</sup>

## 2. HIPÓTESIS Y OBJETIVO

La técnica de la barra de prismas nos permite obtener los valores de las vergencias fusionales horizontales. La herramienta Vergence Trainer, al igual que las técnicas convencionales, también obtiene resultados sobre dichas vergencias, por lo que se espera que los resultados obtenidos con ambos métodos guarden relación.

Como consecuencia, el objetivo principal de este trabajo es validar la herramienta Vergence Trainer en el estudio de las reservas fusionales: por un lado comprobar de manera experimental que los valores obtenidos con la aplicación Vergence Trainer son intercambiables o guardan relación con los obtenidos con las técnicas convencionales y por otro lado, averiguar experimentalmente la cantidad de dioptrías prismáticas necesarias para volver a fusionar una imagen una vez disociada, y si dicho valor difiere entre ambos métodos.

### **3. MÉTODOS**

La muestra elegida constará de un grupo heterogéneo de personas, a partir de 7 años y sin límite de edad que se presenten voluntarias entre el 1 de enero de 2015 y el 31 de marzo del mismo año, periodo en el que se realizarán las medidas. Han sido un total de 42 pacientes, de los cuales 24 eran mujeres y 18 hombres.

Antes de iniciar las medidas es necesario analizar las tres fuentes de error más importantes y que más variabilidad nos pueden producir en los resultados, para tratar de minimizar dichos errores<sup>15</sup>:

- Variabilidad en el sujeto de estudio: variabilidad de una medida a otra debido a cambios fisiológicos del sujeto. Para tratar de reducirla, realizaremos dos medidas y tomaremos el valor medio entre ambas.
- Variabilidad debida al instrumento o procedimiento de medición: en este caso, trataremos de simular las mismas condiciones para todos los pacientes (en cuanto a iluminación, objeto sobre el que van a fijar, forma de dar las instrucciones...)
- Variabilidad que se atribuye al examinador: puede haber variaciones si la prueba es realizada por diferentes personas. En este caso solo va a haber un examinador, por lo que el error se reduce a su experiencia realizando la prueba y a la manera de dar las instrucciones (se buscará que la explicación sea la misma en cada situación)

#### **3.1 PROCEDIMIENTO**

Cada sujeto realizará todo el procedimiento dividido de la siguiente manera:

1. Recogida de datos de los pacientes: habrá un registro de cada paciente con la edad, sexo y el tipo de corrección que utiliza, así como una breve noción de su historia médica y ocular.
2. “Periodo de aprendizaje”: Antes de empezar con la prueba se empleará un pequeño periodo de tiempo (1-3min) para que el paciente se familiarice con las pruebas y minimizar el efecto aprendizaje durante la toma de medidas.
3. Medida de la divergencia: Las medidas que se van a llevar a cabo son con objetos que a 30cm subtienen un ángulo de 8.02 grados y 1.61 grados. Se realizarán dos medidas con barra de prismas, con anáglifos rojo –verde y con anáglifos rojo-verde de puntos aleatorios para cada uno de los tamaños y se hallará la media para reducir el error en la medida... Se realizará una primera ronda con todas las medidas de forma aleatoria y a continuación una segunda ronda igualmente aleatoria para evitar condicionar los resultados al orden de realización de las pruebas. Entre cada medida se dejará unos 15 segundos para que el paciente descansen.

4. Media de la convergencia: seguiremos el mismo protocolo que para la divergencia realizando igualmente dos medidas.

Se medirá primero la divergencia y luego la convergencia: iremos aumentando la potencia de la base hasta que el paciente nos indique que ve doble o que la imagen se le mueve. Para cualquiera de los dos casos, anotaremos el número de dioptrías prismáticas con las que ha ocurrido. Si el paciente ve doble, iremos disminuyendo la potencia de la base hasta que vuelva a ver una única imagen. Si por el contrario, la imagen se movía, le pediremos que nos diga hacia qué lado se mueve para identificar el ojo que suprime.

Las instrucciones que se van a dar son las siguientes:

1. Con barra de prismas: "*Fíjate bien en la figura. Voy a ir moviendo la barra para aumentar la potencia. Cuando veas dos figuras me avisas. [...] Ahora voy a mover la barra en sentido contrario. Cuando veas que vuelve una única figura me avisas*".



Fig. 8 Test con barra de prismas

2. Con anáglifos: Con una demanda prismática de  $0\Delta$ , le preguntaremos qué ve. Si no hay ningún problema nos dirá que ve una figura de cierto color (según la percepción del paciente, el color ha variado de blanco a rosa, pasando por plateado o con zonas azules y rojas si su fusión era más débil). A continuación moveremos un paso para generar un poco de demanda y le volveremos a preguntar qué ve. Puede haber variedad de respuestas:

- Ve una única imagen del mismo color que la veía antes. "*Muy bien, trata de mantener todo el rato la misma imagen que tienes ahora. Cada vez será un poco más difícil. Avísame cuando veas dos imágenes o la imagen cambie de color*". Si el paciente ve en algún momento doble le animaremos a que trate de hacer una única imagen como tenía al principio. Si lo consigue y no es por supresión, continuaremos con la prueba.
- Ve una imagen del mismo color que la que veía antes y otra muy tenue: la imagen la ve en estereopsis pero debido a la fuente de iluminación que se utilice la gafa no filtra bien. "*Muy bien, quiero que te fijes en la imagen que ves más brillante, la de color blanco y trates de mantenerla como la tienes ahora. Cada vez será un poco más difícil. Avísame cuando cambie de color o veas las dos imágenes igual de brillantes*".

Una vez conseguido el punto de rotura, le indicaremos al paciente que nos avise cuando vea que ambas imágenes se vuelven a juntar, asegurándonos de que es fusión y no supresión, para ello le preguntaremos por el color de la imagen final.

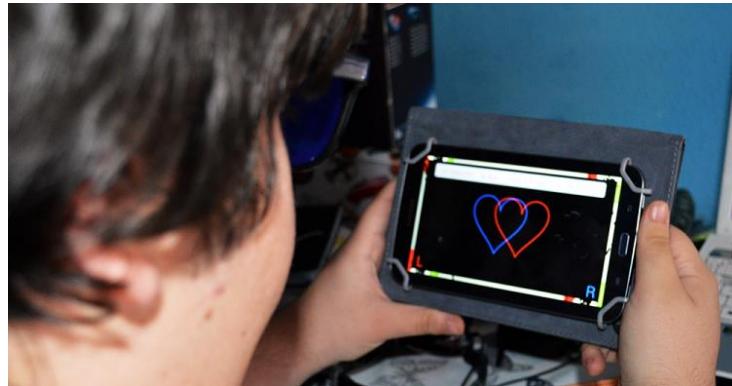


Fig. 9 Test con anáglifos

3. Con anáglifos de puntos: trataremos que el estímulo sea algo con punta en la parte superior o inferior, para que sea más fácil para el paciente identificar si ve o no doble. “*¿Ves la figura? Quiero que le prestes atención. Fíjate en la parte superior o inferior (en la que esté la parte puntaaguda) y avísame cuando veas dos o dejes de percibir la figura*”. Una vez más, le pediremos que nos avise cuando ambas puntas se hayan vuelto a unir, o la figura haya vuelto a aparecer sobre la pantalla.

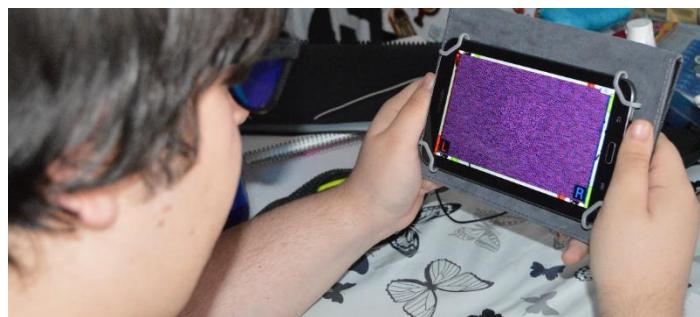


Fig. 10 Test con puntos aleatorios

### 3.2 CONDICIONES DE LA PRUEBA

Como la prueba no se va a realizar en el mismo sitio con todos los pacientes, este apartado se va a dedicar a unificar las condiciones de realización de la prueba:

1. Buena iluminación de la sala, sin que el foco dé directamente sobre la Tablet, con el fin de eliminar reflejos.
2. El paciente sujetara la Tablet a la altura de sus ojos a una distancia de 30 cm para conseguir que los prismas estén perpendiculares al eje visual en todo momento. Aunque para los anáglifos esta posición ya no sería necesaria, la seguiremos utilizando para simular las mismas condiciones en todas las pruebas.
3. Durante la toma de medidas con barra de prismas, el examinador se situará en frente del paciente para asegurarse de que no hay supresión durante la prueba.
4. La Tablet estará con el brillo al máximo durante toda la prueba.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 ANÁLISIS DESCRIPTIVO DE LA MUESTRA

En primer lugar se van a analizar los parámetros cualitativos más importantes que caracterizan la muestra.

EDAD	
<20	6
20 y 40	29
40 y 60	6
>60	1

Tabla 1. Edad de la muestra

SEXO	
Hombre	18
Mujer	24

Tabla 2. Sexo de la muestra

En cuanto a la edad (tabla 1), de toda la muestra que se presentó voluntaria, la mayor parte tiene una edad comprendida entre 20 y 40 años (casi un 70%)

Más de la mitad de la muestra han sido mujeres (57%), aunque la distribución está bastante igualada (tabla 2).

#### CORRECCIÓN ÓPTICA

Visión lejana (VL)	25
Visión Próxima (VP)	6
VL Y VP	1
Sin corrección (SC)	10

Tabla 3. Corrección óptica de la muestra

#### CORRECCIÓN OPTICA VL EN AMBOS OJOS (AO)

Miopía	7
Miopía y astigmatismo	10
Hipermetropía	4
Hipermetropía y astigmatismo	2
Astigmatismo	1
Hipermetropía y miopía	1

Tabla 4. Corrección óptica en AO que utilizan

Del 100%, tres cuartas partes de la muestra utilizan algún tipo de corrección (bien para lejos o bien para cerca), de los cuales la mayor parte (más de la mitad) corresponde a personas que utilizan corrección para lejos (tabla 3). Del 62% que utilizan corrección para lejos, casi un 70% tienen miopía (con o sin componente cilíndrico), frente al 20% aproximadamente que tiene un componente hipermetrópico (tabla 4).

### 4.2 RELACIÓN ENTRE AMBOS MÉTODOS

Se busca comparar los resultados obtenidos para cada tamaño del test en convergencia y divergencia en cada una de las pruebas. De toda la muestra, vamos a dividirla en dos grupos: convergencia y divergencia. En cada grupo se hará una selección de que pacientes se van a tener en cuenta aplicando los siguientes criterios:

- En divergencia, para un tamaño angular del objeto de 8.02 grados, se han descartado todos aquellos pacientes que en el test de anáglifos o de puntos aleatorios hayan obtenido  $>35.02\Delta$  y para un tamaño angular de 1.61 grados todos los que sean

$>43.99\Delta$ , ya con el tamaño de la Tablet con la que se realizaron las medidas es el valor máximo que se puede obtener de demanda para ese tamaño angular.

- Del mismo modo, en el grupo convergencia, se han descartado los que para un tamaño de objeto de 8.02 grados hayan superado el valor de  $34.93\Delta$  en las pruebas descritas, y  $43.91\Delta$  si el tamaño es 1.61 grados.
- En cada grupo, se han descartado a todos los pacientes que hayan tenido supresión en esa parte. Tampoco entrarán en la muestra de cada grupo aquellos que no hayan sido capaces de localizar la imagen en los anáglifos de puntos aleatorios cuando la demanda era  $0\Delta$  para descartar posibles supresiones.

Por tanto, para los resultados de convergencia la muestra final va a constar de 32 personas y para divergencia 40 personas.

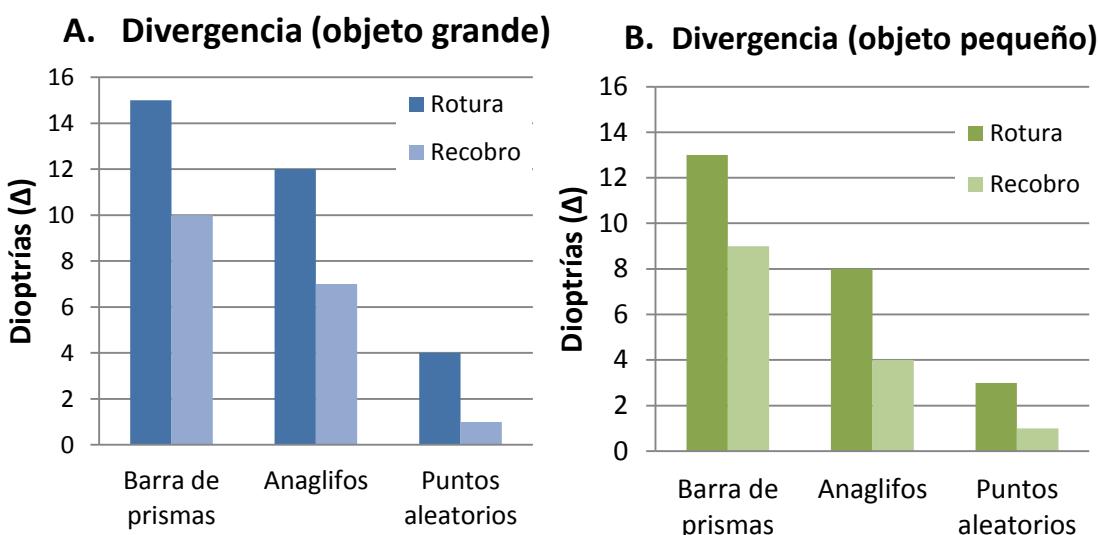


Fig. 11 Valores medios de rotura y recobro en divergencia para objeto grande (A) y para objeto pequeño (B)

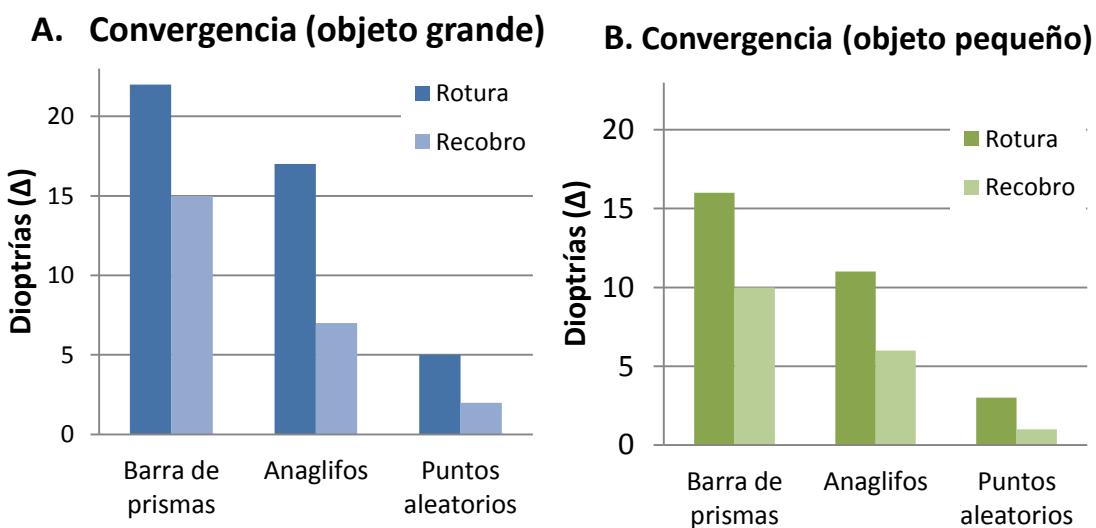


Fig. 12 Valores medios de rotura y recobro en convergencia para objeto grande (A) y para objeto pequeño (B)

Los valores medios obtenidos en divergencia para este estudio (figura 11) han sido 15/10 para barra de prismas en objetos de tamaño 8.02 grados ( fusión periférica), y 13/9 si el objeto se percibía exclusivamente en fóvea (tamaño angular aproximado: 2 grados). Cuando la medida era con anáglifos los resultados han sido 12/7 y 8/4 respectivamente. En lo que respecta a los puntos aleatorios, los resultados han sido inferiores, 4/1 cuando el objeto era grande y 3/1 cuando era más pequeño. Puede verse como la variación de los resultados en divergencia con respecto al tamaño angular de la imagen apenas sufren variaciones. En cuanto a los valores de convergencia (figura 12), para los mismos tamaños, han sido 22/15 cuando el tamaño era 8.02 grados y 16/10 cuando era 1.61grados para barra de prismas, 17/7 y 11/6 cuando se realiza la prueba con anáglifos y 5/2 y 3/1 cuando son puntos aleatorios.

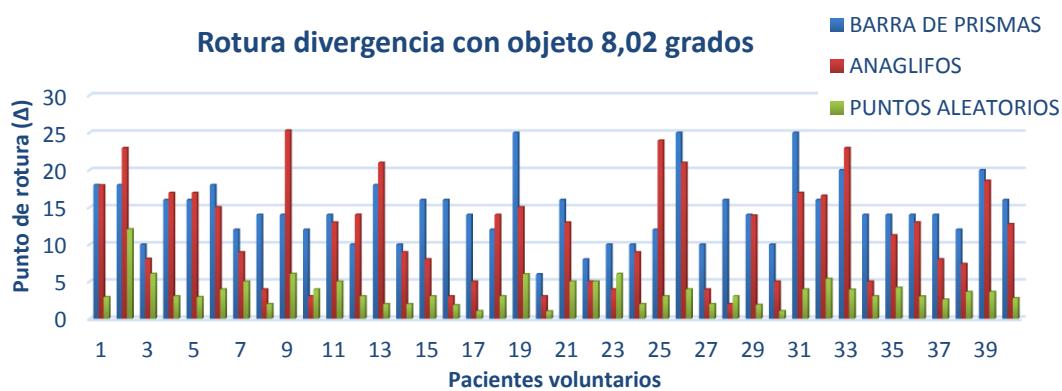


Fig. 13 Rotura en divergencia con objeto grande (8,02 grados)

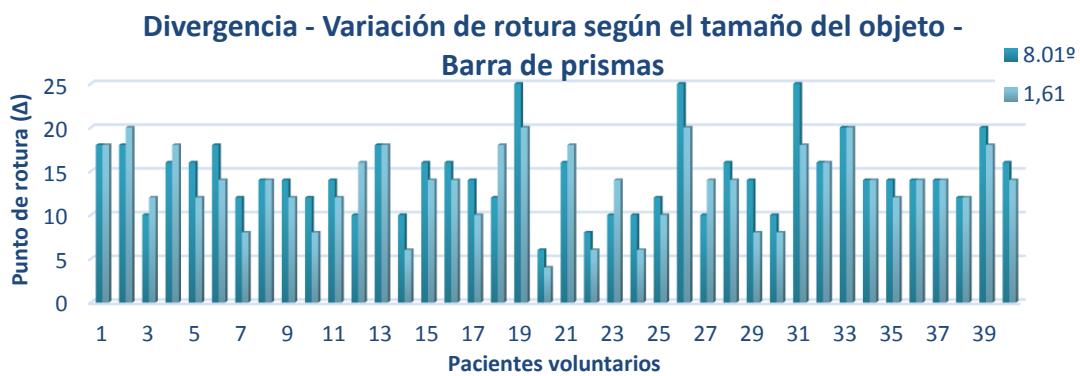


Fig. 14 Rotura en divergencia para diferentes tamaños angulares con barra de prismas

*La totalidad de los datos obtenidos están disponibles en los anexos 3-6*

De forma generalizada, en la Figura 13 se observa que, para cada sujeto, las reservas fusionales negativas obtenidas mediante la barra de prismas son superiores ( tanto en rotura como en recobro) a los obtenidos con anáglifos y con puntos aleatorios. De forma similar ocurre cuando el tamaño angular del objeto disminuye. (Véase anexo 3)

Los resultados obtenidos también han sido más altos cuanto mayor era el tamaño angular. Esto se repite para cada uno de los tres métodos de medida. (Véase anexo 4)

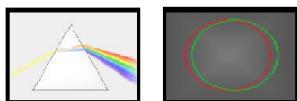
Ambas situaciones se repiten en los resultados obtenidos de las vergencias fusionales positivas. (Véase anexo 5 y 6)

Otro análisis que se va a utilizar es el realizado mediante los gráficos de Bland y Altman, que proponen representar la media aritmética de dos magnitudes cuantitativas frente a la diferencia entre ambas. Se han comparado, por una parte, la rotura con el método de anáglifos y de puntos aleatorios con respecto a la barra de prismas (utilizando este como referencia), y por otra parte puntos aleatorios con respecto a la barra de (siendo los anaglifos el método de referencia); todos ellos para diferentes tamaños de objeto, tanto para convergencia como para divergencia.

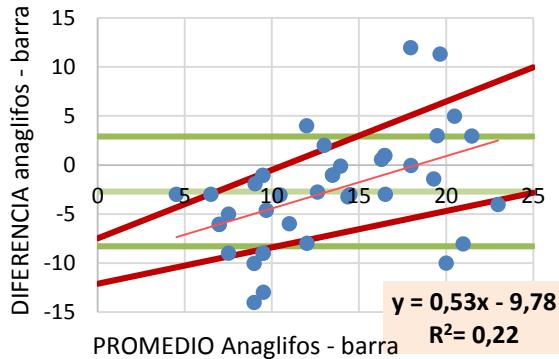
En cuanto al recobro se ha comparado el número de dioptrías prismáticas necesarias para, una vez alcanzada la situación de diplopía, conseguir de nuevo una imagen haplópica con el fin de evitar que los resultados de rotura interfieran en la comparación.

Para cada uno de los gráficos de Bland y Altman se han calculado además, la tendencia de cada muestra y el intervalo de confianza de la misma al 68%. Además se ha añadido un tercer parámetro en la gráfica que es la media de la diferencia (con sus intervalos de confianza igualmente al 68%):

### Divergencia Rotura



A. Objeto grande (Anaglifos - barra)



B. Objeto pequeño (Anaglifos - barra)

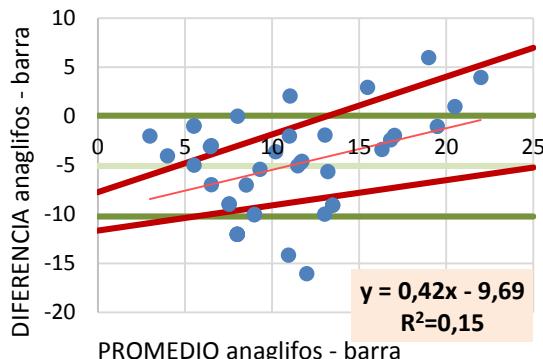
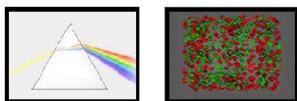
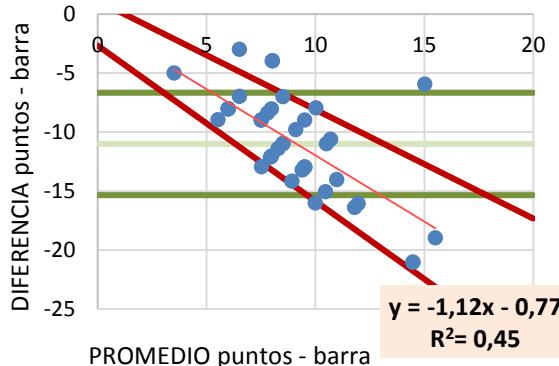


Fig. 15 Bland Altman: Rotura (divergencia) anaglifos – barra de prismas para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)



A. Objeto grande (Puntos - barra)



B. Objeto pequeño (Puntos - barra)

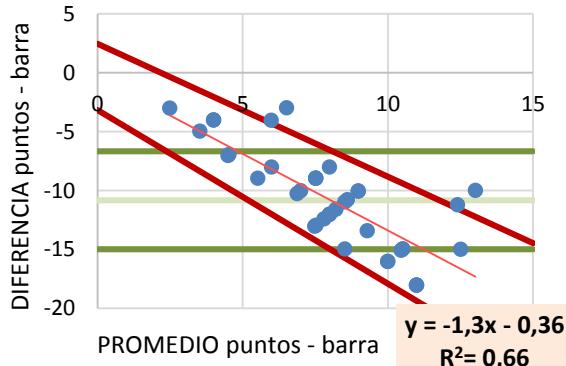
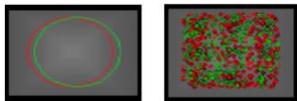
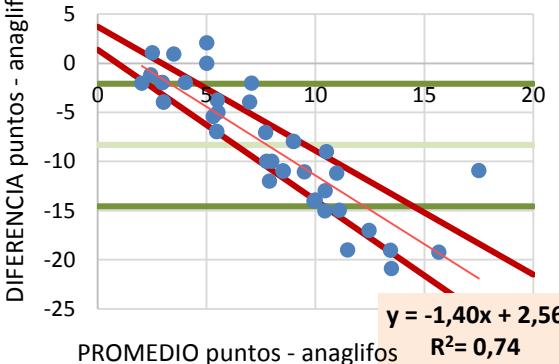


Fig. 16 Bland Altman: Rotura (divergencia) puntos aleatorios – barra de prismas para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)



A. Objeto grande (puntos - anaglifos)



B. Objeto pequeño (puntos - anaglifos)

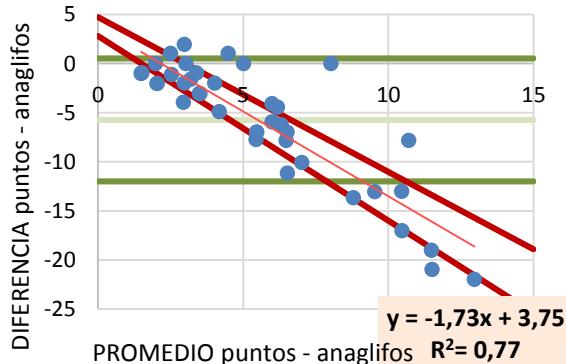
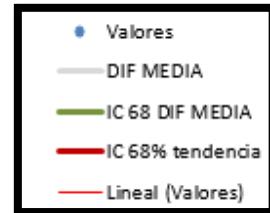
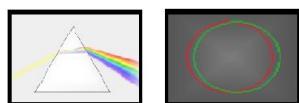


Fig. 17 Bland Altman: Rotura (divergencia) puntos aleatorios – anaglifos para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)

PILAR GRACIA AGUDO



### Divergencia Rotura- Recobro



A. Objeto grande (anaglifos - barra)

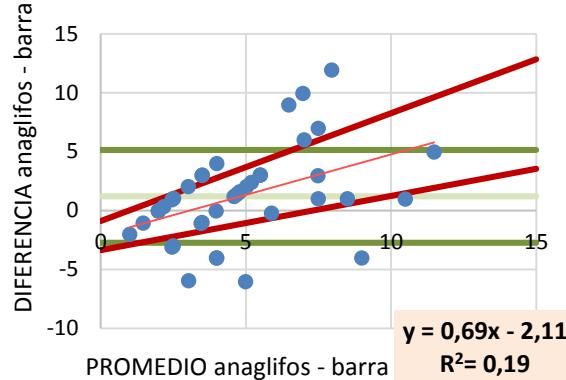
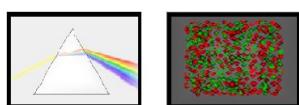


Fig. 18 Bland Altman: Rotura - recobro (divergencia) anaglifos – barra de prismas para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)



A. Objeto grande (puntos - barra)

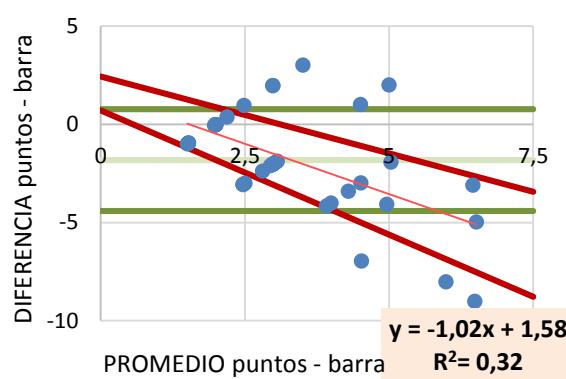
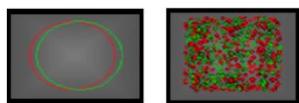


Fig. 19 Bland Altman: Rotura–recobro (divergencia) puntos aleatorios – barra de prismas para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)



A. Objeto grande (puntos - anaglifos)

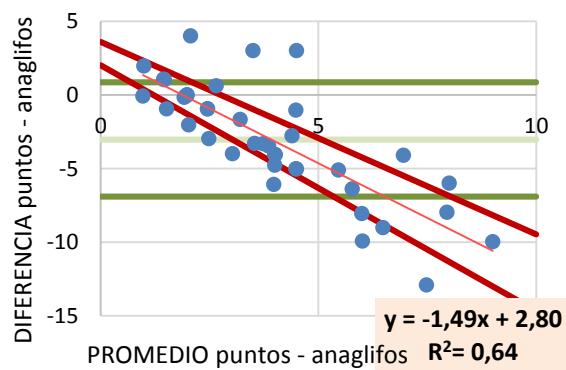
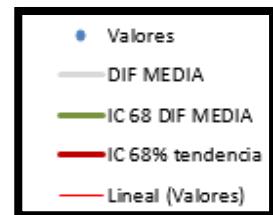
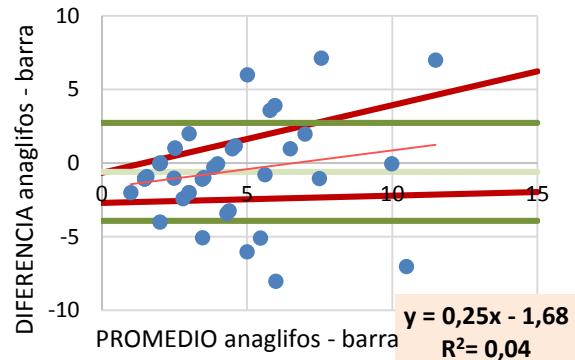


Fig. 20 Bland Altman: Rotura - recobro (divergencia) puntos – anaglifos para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)

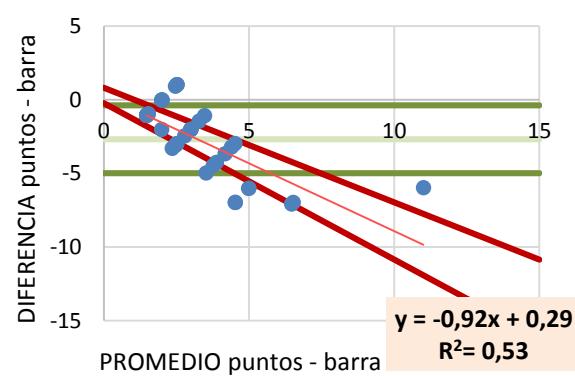
PILAR GRACIA AGUDO



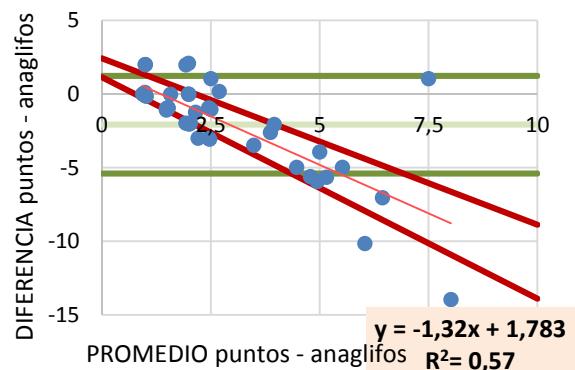
B. Objeto pequeño (anaglifos - barra)



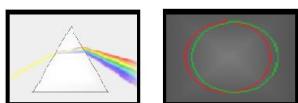
B. Objeto pequeño (puntos - barra)



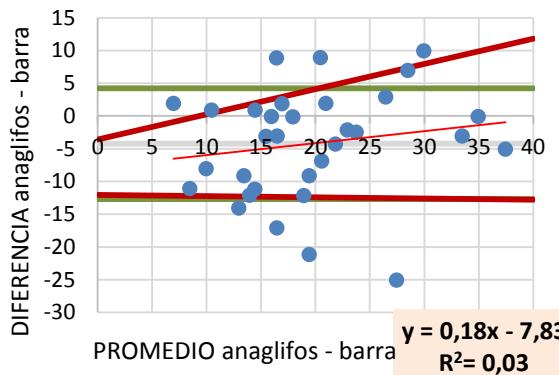
B. Objeto pequeño (puntos - anaglifos)



### Convergencia Rotura



A. Objeto grande (anaglifos - barra)



B. Objeto pequeño (anaglifos - barra)

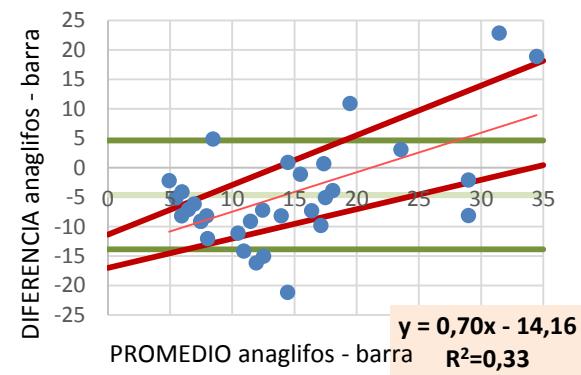
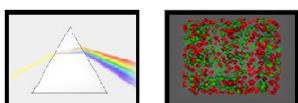
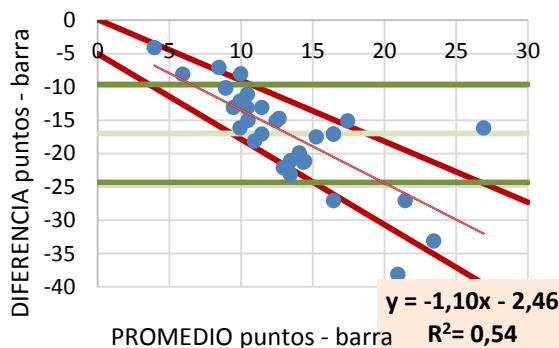


Fig. 21 Bland Altman: Rotura (convergencia) anaglifos – barra de prismas para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)



A. Objeto grande (puntos - barra)



B. Objeto pequeño (puntos - barra)

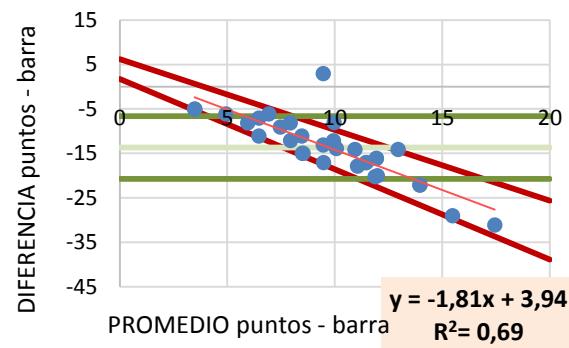
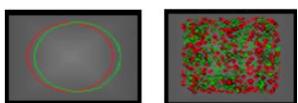
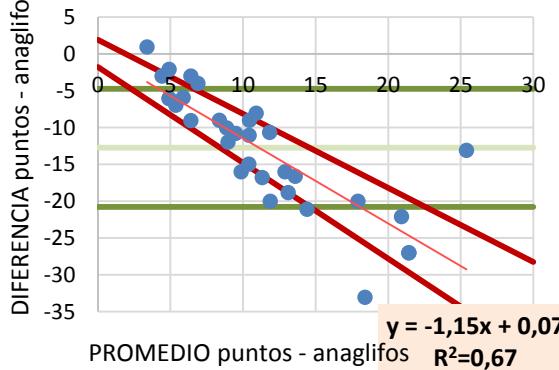


Fig. 22 Bland Altman: Rotura (convergencia) puntos aleatorios –barra de prismas para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)



A. Objeto grande (puntos - anaglifos)



B. Objeto pequeño (puntos - anaglifos)

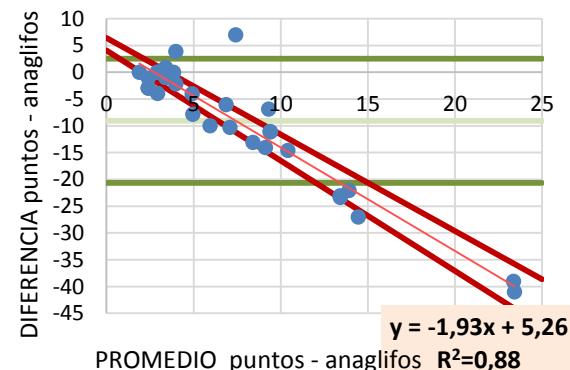
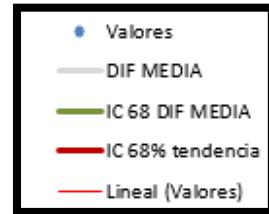
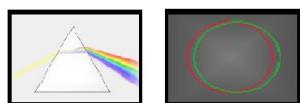


Fig. 23 Bland Altman: Rotura (convergencia) puntos – anaglifos para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)

PILAR GRACIA AGUDO



### Convergencia Rotura – Recobro



A. Objeto grande (anaglifos - barra)

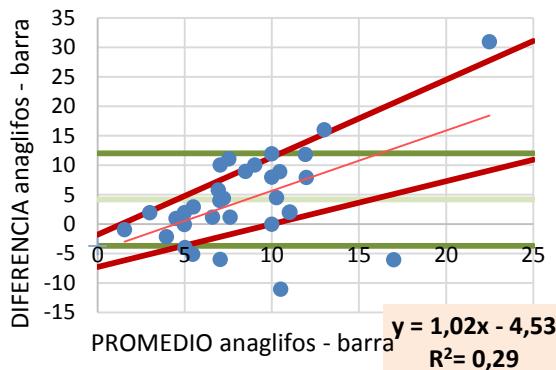
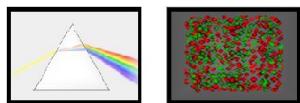
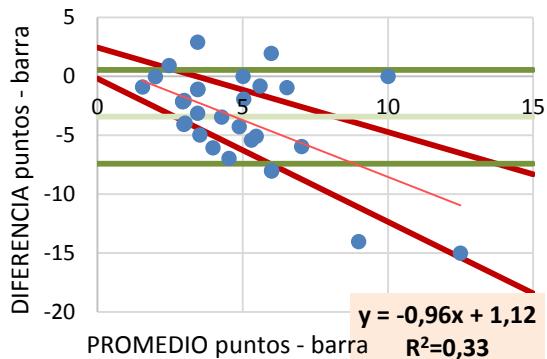


Fig. 24 Bland Altman: Rotura –recobro (convergencia) anaglifos –barra de prismas para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)



A. Objeto grande (puntos - barra)



B. Objeto pequeño (anaglifos - barra)

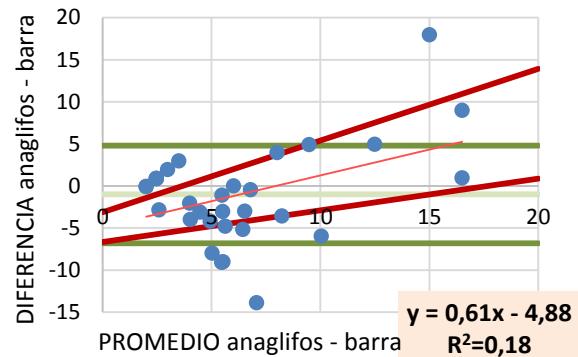
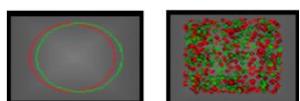
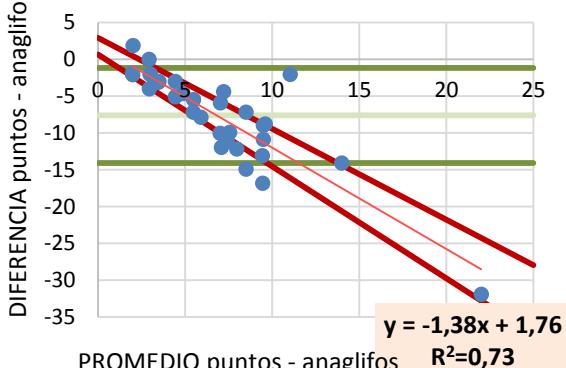


Fig. 24 Bland Altman: Rotura –recobro (convergencia) anaglifos –barra de prismas para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)



A. Objeto grande (puntos - anaglifos)



B. Objeto pequeño (puntos - anaglifos)

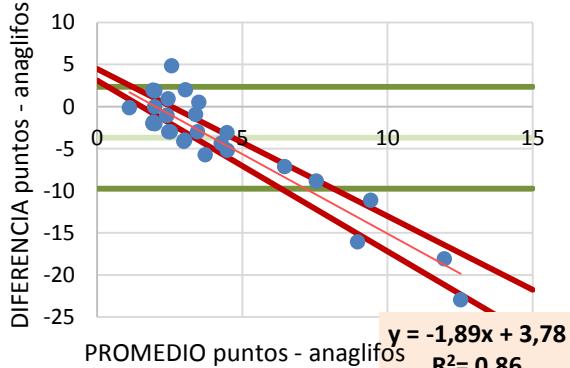
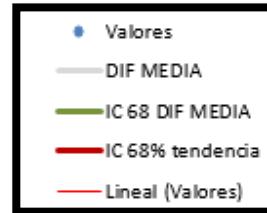


Fig. 26 Bland Altman: Rotura-recobro (convergencia) puntos – anaglifos para objeto grande (A) y objeto pequeño (B)

PILAR GRACIA AGUDO





Finalmente, he elegido el coeficiente de Correlación de Pearson ( $R^2$ ), como un indicador del ajuste de la recta de regresión a los datos:

	Tamaño objeto	DIVERGENCIA		CONVERGENCIA	
		Rotura	Rotura - recobro	Rotura	Rotura - recobro
Anaglifos – Barra de prismas	G	0.22	0.19	0.03	0.29
	P	0.15	0.04	0.33	0.18
Puntos aleatorios – Barra de prismas	G	0.45	0.32	0.54	0.33
	P	0.66	0.53	0.69	0.73
Puntos aleatorios – Anaglifos	G	0.74	0.64	0.67	0.76
	P	0.77	0.57	0.88	0.86

Tabla 5. Coeficiente de Correlación de Pearson de los test comparados

## 5. DISCUSIÓN

Nuestro objetivo se basa en la comparación de los resultados obtenidos con la herramienta Vergence Trainer con los que se obtienen en las técnicas convencionales (barra de prismas), para determinar si son intercambiables y validar la nueva técnica.

Respecto a los valores obtenidos para cada una de las técnicas, se observa una disminución de las vergencias fusionales (VF) cuando el tamaño del objeto disminuye, siendo mayor la disminución VF en las positivas que en las negativas. Otros estudios que analizaron la variación de las VF en función del tamaño angular del objeto, han obtenido resultados similares a estos: Fiona J. Rowe<sup>17</sup> estableció roturas de 12 y 10Δ para objetos de fijación periférica y central respectivamente en divergencia y 35 y 25Δ en convergencia. Wesson et al.<sup>17</sup> comprobó que para un optotipo que subtende un ángulo de 1.4 grados en visión próxima se obtenían valores de 19Δ BE y 13Δ BI y para optotipos que a una determinada distancia de fijación correspondían a una AV 0.5 (correspondiente a 10 segundos de arco) ha obtenido valores de 11Δ BE y 7ΔBI.

Una posible explicación a la disminución de las VF positivas al disminuir el tamaño angular del objeto es la acomodación. A mayor tamaño angular del objeto, menor demanda acomodativa se requiere para verlo nítido y por tanto, se dispone de un mayor componente acomodativo para mantener la fusión consiguiendo valores de VF más altos. En divergencia a mayor tamaño angular del objeto sigue siendo necesaria una menor demanda acomodativa. Pero al contrario que para convergencia, una vez alcanzado el punto de borrosidad, a mayor demanda de vergencias menor demanda acomodativa, luego el tamaño del objeto no influye tanto para conseguir mayores valores. Otro factor que influye es la distribución del área de Panum: si se estimula un punto en una retina tiene una correspondencia de una zona de puntos de la retina contraria para conseguir visión haplópica. Cerca de la zona foveal, las áreas de Panum son elípticas cuyo eje mayor horizontal subtende 13-23 minutos de arco. En la zona periférica estos valores alcanzan de 1 a 5 grados<sup>4</sup>. Por ello el área de Panum es más estrecha en la zona central que periférica y por tanto más restrictiva. Pequeñas variaciones en la disparidad de la

imagen afectará más cuanto menor sea el tamaño del objeto. Además, para un mismo grado de borrosidad, afecta menos a la percepción de la imagen cuando mayor sea su tamaño.

De manera general, los valores obtenidos con barra de prismas tienen resultados mayores que los obtenidos con anaglifos (con o sin puntos aleatorios). Al fusionar una imagen con barra de prismas, no sólo fusionamos la imagen sino que también fusionamos el resto del entorno. Con anaglifos, únicamente fusionamos el objeto, de manera que al alejarse la Tablet del área de Panum, la percibimos doble aunque percibamos una única imagen del objeto. Esto genera dificultades para fusionar, explicando la disminución de valores entre test con gafas r-v y barra de prismas. Se puede establecer la premisa de que aquellas personas que han obtenido mayores valores con barra de prismas utilizan más la fusión periférica que la central, mientras que aquellas que han conseguido mayores valores con anaglifos utilizan más la fusión central que la periférica.

Dentro de los test de anaglifos, los valores han sido menores en los que utilizaban puntos aleatorios que en los que utilizaban el contorno de una figura. Esto queda relacionado con el mecanismo que sigue cada uno para conseguir la fusión y estereopsis. El test de puntos aleatorios está basado en una estereopsis originada por el sistema parvocelular debido a la frecuencia espacial alta de los puntos<sup>18</sup>. Por otra parte, el test de anaglifos queda definido por la estereopsis del sistema parvocelular (por la frecuencia espacial alta de las líneas) y del sistema magnocelular (que responde a los contornos en los que hay generada disparidad<sup>19</sup>). Por tanto, para el sistema de anaglifos la fusión y estereopsis que se produce es consecuencia de dos sistemas, sumándose los resultados conseguidos con cada uno y consiguiendo valores más altos de VF. Otro factor añadido a la diferencia de resultados es la mayor dificultad que encuentra el paciente para fusionar una imagen de puntos aleatorios cuando aparece una pérdida de fijación. Esto es debido a que los puntos que constituyen el fondo del test, enmascaran los que conforman las imágenes que generan disparidad, por lo que a diferencia de los otros dos test, si el paciente pierde la atención, tendrá una mayor dificultad para localizar nuevamente las imágenes. Esta dificultad se incrementa al disminuir el tamaño angular del objeto.

Comparando los resultados de rotura en barra de prismas con los obtenidos con anáglifos, tanto para convergencia (figura 21) como para divergencia (figura 15), vemos que el promedio de los valores del eje de ordenadas son valores negativos, aunque de baja magnitud, lo que indican que el método de anáglifos subestiman ligeramente los resultados obtenidos con barra de prismas (establecidos como resultados de referencia), tanto mayor cuanto menor sea el tamaño angular del objeto. Además presentan una variabilidad alta, mayor en divergencia que convergencia. Para divergencia, el coeficiente de correlación de Pearson ( $R^2$ ) tiene valores bajos similares para ambos tamaños (0.22 para objeto grande y 0.15 para objeto pequeño), que indican que existe cierta correlación en los datos aunque no la suficiente establecer la recta como un ajuste óptimo. En convergencia, los valores oscilan más, 0.03 para objeto grande y 0.33 para el objeto pequeño, por lo que no hay dependencia lineal entre ambas variables. En ambas situaciones, se puede ver gráficamente que predomina una distribución de puntos aleatoria y arrastra como consecuencia unos intervalos de confianza del 68% alejados de la recta de regresión, indicando gran variabilidad. La medida de las vergencias fusionales con barra de prismas (A pasos) establece saltos de medidas de 2 en  $2\Delta$  en los valores centrales,

por lo que resultados que se encuentren entre un valor y otro quedarían infraestimados. Por ello, se va a establecer como criterio de inclusión o exclusión una diferencia igual o menor a  $2\Delta$  para indicar si pueden ser intercambiables o no los datos que se han obtenido con ambos métodos. De acuerdo con las medias de rotura obtenidas, los resultados de anáglifos y barra de prismas no son intercambiables entre sí.

Si comparamos los resultados obtenidos con puntos aleatorios y barra de primas, el promedio de la diferencia vuelve a ser de nuevo valores negativos, de mayor magnitud que entre anáglifos y barra de prismas, por lo que subestiman los obtenidos con barra de prismas, tanto mayor cuanto mayor sea el tamaño angular del objeto y/o mayor sea las vergencias fusionales alcanzadas con la barra de prismas (figura 16 y 22). La variabilidad de la media es alta, mayor en convergencia que divergencia. Tanto para convergencia como para divergencia  $R^2$  es mayor cuanto menor es el objeto, por lo que podemos predecir mejor los resultados que vamos a obtener mediante una dependencia lineal cuando el objeto es pequeño. En ambos casos, este parámetro oscila entre 0.45-0.70 por lo que más de la mitad de los datos se explicarían con una dependencia lineal. Gráficamente se aprecian unos intervalos de confianza (68%) próximos a la recta de regresión, confirmando lo que indica  $R^2$ . Siguiendo con el mismo criterio de intercambiabilidad que hemos utilizado anteriormente, no son intercambiables entre sí.

Cuando se compara los valores de rotura de puntos aleatorios y anáglifos (figura 17 y 23), se toma como referencia los anáglifos. La diferencia de la media es elevada, con valores que oscilan entre los obtenidos en la primera comparación y los obtenidos en la segunda, tanto para convergencia como para divergencia, de manera que los puntos aleatorios subestiman los valores obtenidos con anáglifos, de forma más pronunciada cuanto mayor es la demanda de vergencias. La media presenta variabilidad elevada, igual que ocurría en la situación anterior. Los coeficientes de Pearson toman valores que van desde 0.7 hasta 0.9, por lo que existe una fuerte dependencia lineal entre los resultados, mayor cuanto menor es el tamaño angular. Los intervalos de confianza son muy bajos, lo que refuerza la dependencia lineal. Debido a esta fuerte dependencia se pueden predecir los resultados que se van obtener en uno de los métodos sabiendo los resultados del otro. Como la diferencia de dioptrías prismáticas es mayor a 2, las medidas de estos métodos no se pueden intercambiar.

El número de dioptrías prismáticas que han necesitado de manera generalizada para conseguir de nuevo fusión ha sido mayor en barra de prismas que en el resto de los métodos (a excepción de barra de prismas y anáglifos con objeto grande, tanto en divergencia como en convergencia. En este caso, se han necesitado un mayor número de dioptrías prismáticas para conseguir de nuevo la fusión con anáglifos que con barra de prismas). Por consiguiente el recobro medido con anáglifos y test de puntos aleatorios infraestiman al obtenido con barra de prismas.

Los coeficientes de correlación de Pearson, en cuanto a la diferencia de dioptrías prismáticas necesarias para conseguir el recobro, son más bajos en divergencia que en convergencia (para los primeros los valores oscilan entre 0.05-0.65 y para los segundos entre 0.3-0.9) por lo que existe una mayor dependencia lineal en convergencia. A su vez, el valor aumenta al disminuir el tamaño angular de objeto. Visualmente en las gráficas se ve que existe una distribución con componente aleatorio cuando uno de los métodos comparados es la barra de prismas y mayor a su vez en convergencia que en divergencia. Los intervalos de confianza de la recta de ajuste se encuentran más próximos a la recta conforme aumenta  $R^2$ .

Los valores medios obtenidos en la diferencia rotura-recobro en divergencia, son bajos (no superan  $3\Delta$ ) y con poca desviación, por lo que independientemente del método y del tamaño se necesita una reducción similar de dioptrías prismáticas para conseguir de nuevo la fusión. Sin embargo, los resultados obtenidos en convergencia tienen una mayor oscilación entre unos métodos y otros, con desviaciones igualmente elevadas, por lo que en convergencia el número de dioptrías prismáticas que hay que reducir para recobrar la fusión depende del método y también del tamaño del objeto.

Existe una mayor dependencia lineal entre dos métodos (tanto en rotura como recobro, divergencia como convergencia e independientemente del tamaño angular) cuando uno de ellos es el de puntos aleatorios o no está implicada la barra de prismas. El hecho de que sea más fácil predecir estos valores (por la dependencia lineal) nos da una idea que existe una mayor repetitividad en los test realizados con la aplicación *Vergence Trainer*.

Algunos estudios apuntan a que los valores de las vergencias pueden verse afectados por parámetros como las desviaciones oculares. Concretamente, el estudio realizado por Scobee and Green<sup>17</sup>, establece que para un test en visión próxima, un paciente con exodesviación obtendría mayores vergencias fusionales negativas, y uno con endodesviación mayores valores de vergencias fusionales positivas. El CT no ha sido una de las pruebas que se ha realizado en este estudio, sin embargo se sabe por la anamnesis realizada previamente que dos de nuestros voluntarios tenían endodesviación. El voluntario nº20 tiene una insuficiencia de divergencia. Sus resultados obtenidos en la prueba fueron 18/14 para convergencia y 6/4 para divergencia (resultados de barra de prismas con objeto de tamaño angular 8.02 grados). Se observan variaciones similares con el resto de los test. El segundo (voluntario nº 25), tiene una ambliopía asociada a una endotropía y presenta unos valores de 17/14 en convergencia frente a 12/8 obtenidos con divergencia (mismas condiciones). La disminución se aprecia igualmente en las otras dos pruebas, corroborando en ambos casos la premisa establecida para convergencia. Sería necesario los resultados de un cover test para corroborarlo en condiciones de divergencia.

## 6. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio concluyen que existe una variación de la respuesta de las vergencias en función del tamaño del objeto, de manera más acusada en VF positivas.

Comparando métodos, tanto el test de anáglifos como de puntos aleatorios tienden a infraestimar los resultados obtenidos con barra de prismas y no son intercambiables entre sí. Hay una menor diferencia entre los resultados obtenidos con la barra de prismas si se miden las VF con anaglifos y mayor si se hace con puntos aleatorios. A su vez los puntos aleatorios predicen mejor los resultados obtenidos con anaglifos que los obtenidos con barra de prismas.

Existe una mayor dependencia lineal en convergencia que en divergencia, y a su vez, mayor cuanto menor es el tamaño angular de objeto.

Se puede eliminar dicha dependencia lineal calibrando el instrumento, a partir de la función inversa de dicha dependencia. Una vez calibrado, se espera encontrar datos muy similares entre ambos métodos, que incluso podrían llegar a ser intercambiables.

En cuanto a los resultados de recobro, en divergencia es necesario disminuir el mismo número de dioptías prismáticas para conseguir de nuevo la fusión, independientemente del tamaño del objeto y test. En convergencia, sin embargo, no guardan relación.

## 7. ANEXOS

### Anexo 1 VALORES NORMALES DE VERGENCIAS A PASOS

Niños 7-12 años									
BE	Rotura		Recobro		BI	Rotura		Recobro	
VP	23	±8	16	±6	VP	12	±5	7	±4
ADULTOS									
BE	Rotura		Recobro		BI	Rotura		Recobro	
VL	11	±7	7	±2	VL	7	±3	4	±2
VP	19	±9	14	±7	VP	13	±6	10	±5

Tabla 6. Valores normales de VF con barra de prismas <sup>(10)</sup>

## Anexo 2 VALORES NORMALES DE VERGENCIAS SUAVES

ADULTOS													
BE	Borrosidad		Rotura		Recobro		BI	Borrosidad		Rotura		Recobro	
VL	9	±4	19	±8	10	±4	VL	-	-	7	±3	4	±2
VP	17	±5	21	±6	11	±7	VP	13	±4	21	±4	13	±5

Tabla 7. Valores normales de VF con prismas de Risley <sup>(10)</sup>

### Anexo 3 PUNTO DE ROTURA EN DIVERGENCIA CON OBJETO 1.61 GRADOS

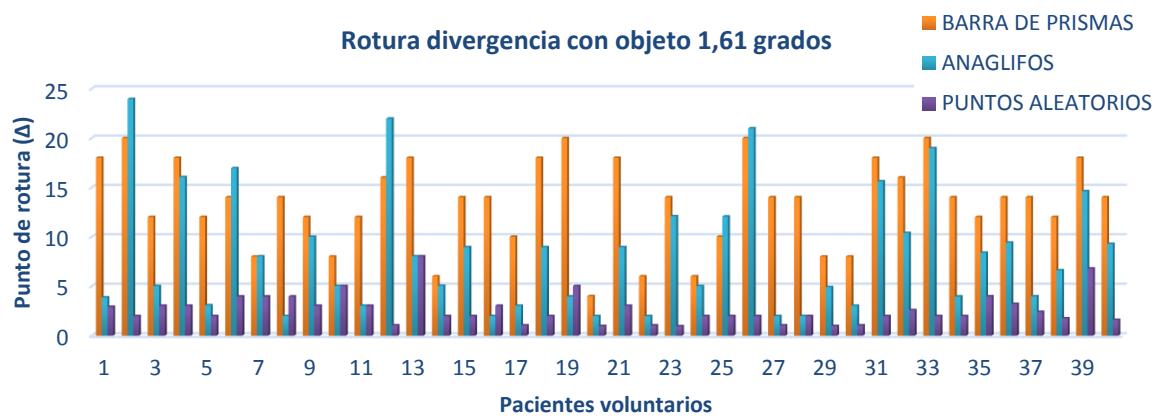


Fig. 27 Rotura en divergencia para objeto pequeño (1.61 grados)

#### Anexo 4 DIVERGENCIA: PUNTO DE ROTURA SEGÚN EL TAMAÑO DEL OBJETO

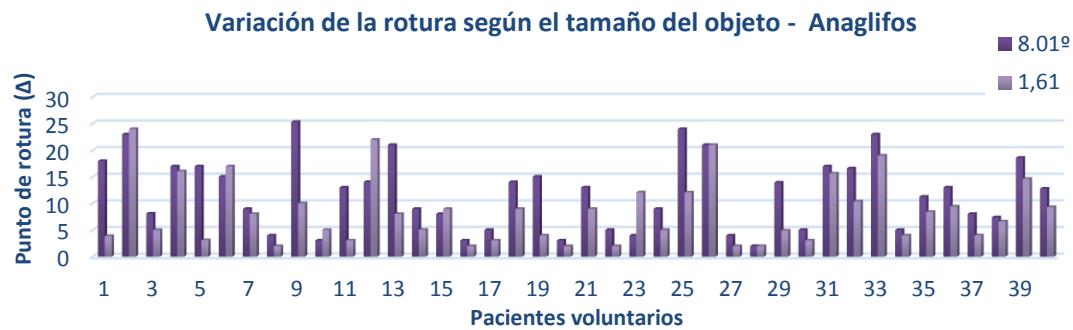


Fig. 28 Rotura en divergencia para diferentes tamaños angulares con anaglifos

#### Variación de rotura según el tamaño del objeto - Puntos aleatorios

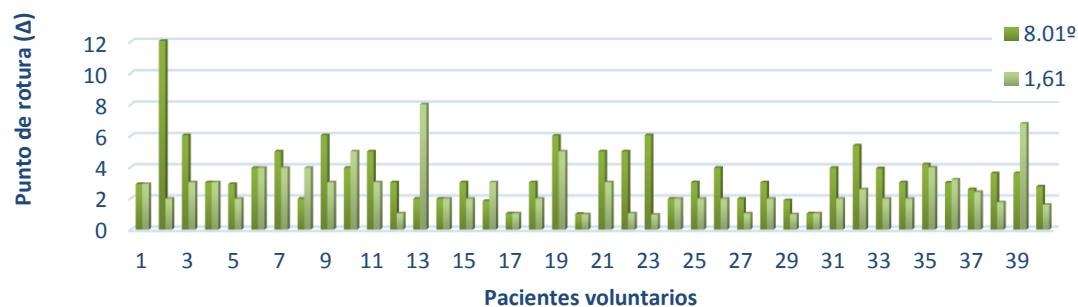


Fig. 29 Rotura en divergencia para diferentes tamaños angulares con puntos aleatorios

## Anexo 5 PUNTO DE ROTURA EN CONVERGENCIA

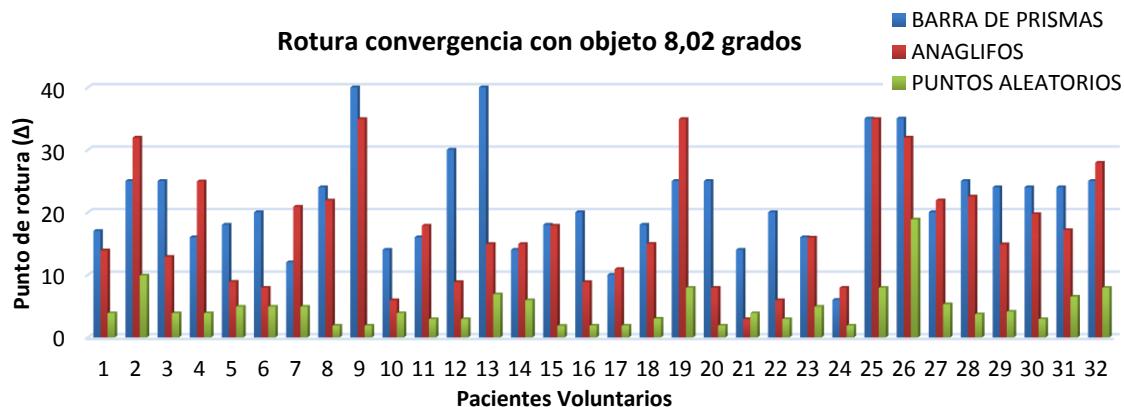


Fig. 30 Rotura en convergencia para objeto grande (8.02 grados)

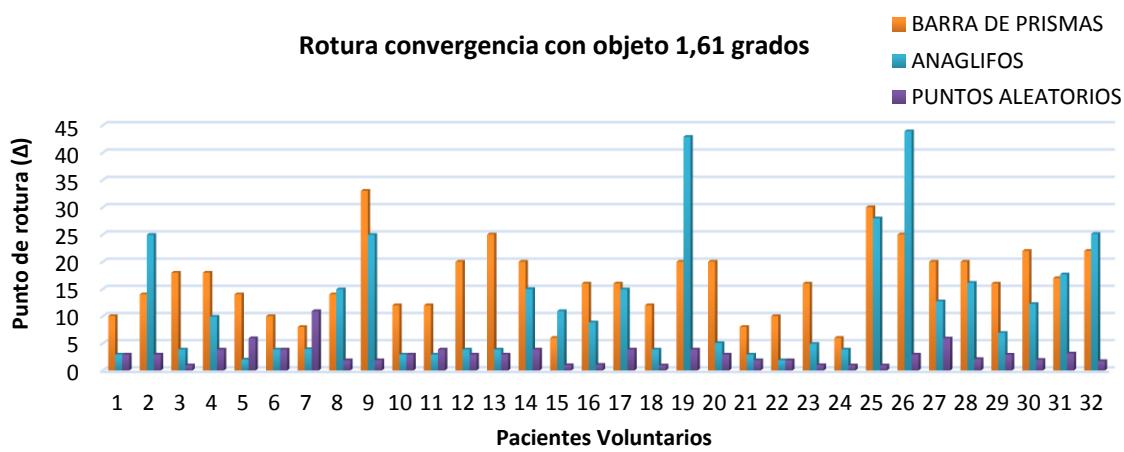


Fig. 31 Rotura en convergencia para objeto pequeño (1.61 grados)

## Anexo 6 CONVERGENCIA: PUNTO DE ROTURA SEGÚN EL TAMAÑO DEL OBJETO

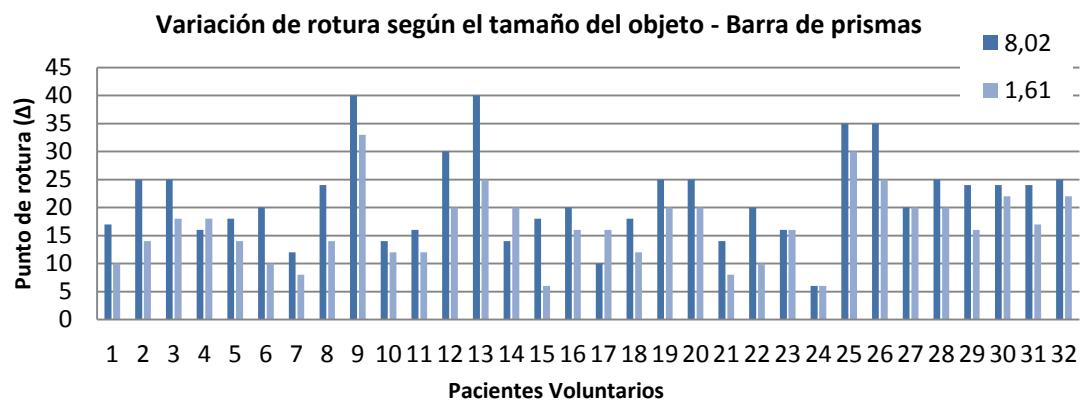


Fig. 32 Rotura en convergencia para diferentes tamaños angulares con barra de prismas

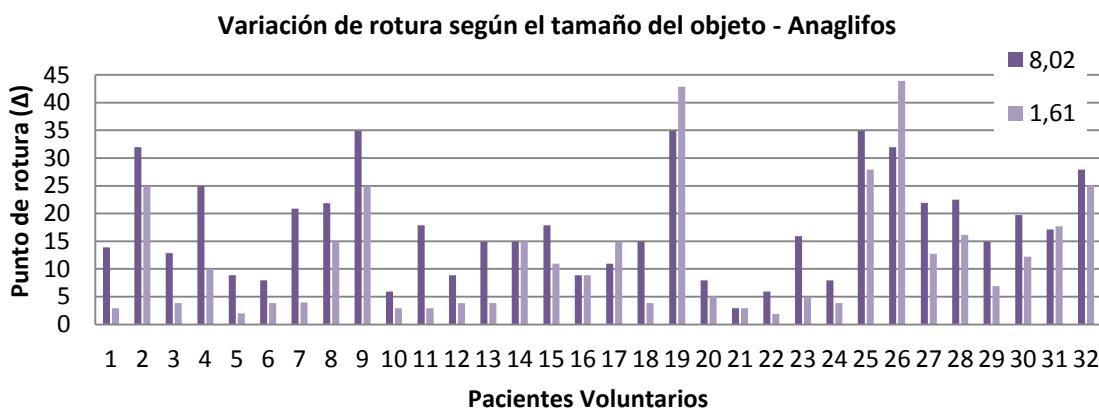


Fig. 33 Rotura en convergencia para diferentes tamaños angulares con anaglifos

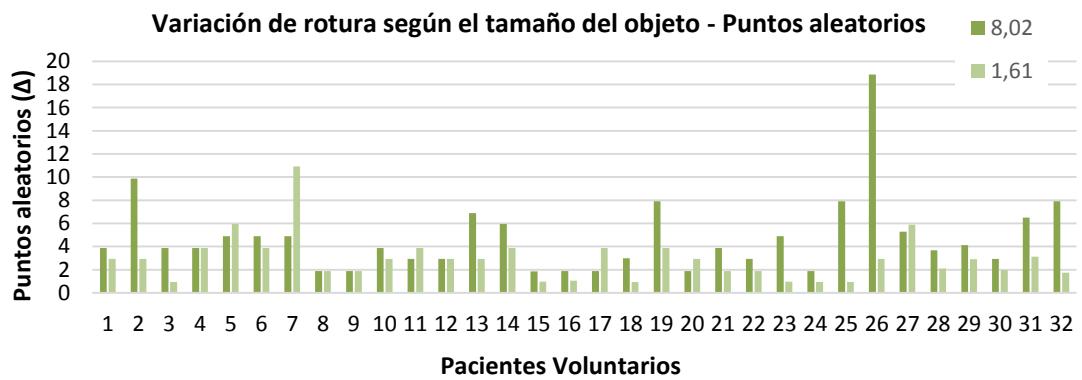


Fig. 31 Rotura en convergencia para diferentes tamaños angulares con puntos aleatorios

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. PONS MORENO, Á. M., MARTÍNEZ VERDÚ, F. M., Universidad de Alicante, & Universidad de Valencia. Alicante (2004). *Fundamentos de visión binocular*.
2. CAMPS SANCHIS, Vicente et al. 2011 Tema 5: *Movimientos binoculares*. Alicante; Universitat d'Alacant. Consultado el 12 de febrero de 2015. Disponible en [http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18771/25/Tema\\_5%20OCW.pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/18771/25/Tema_5%20OCW.pdf)
3. BORISH, I. M., & BENJAMIN, W. J. (2006). Borish's clinical refraction (2nd ed.). St. Louis: Butterworth Heinemann-Elservier.
4. PUELL MARÍN, Mª Cinta, Universidad complutense de Madrid. Madrid (2006) *Óptica Fisiológica: El sistema óptico y la visión binocular*. Consultado el 14 de Diciembre de 2014. Disponible en [http://eprints.ucm.es/14823/1/Puell\\_%C3%93ptica\\_Fisiol%C3%B3gica.pdf](http://eprints.ucm.es/14823/1/Puell_%C3%93ptica_Fisiol%C3%B3gica.pdf)
5. SASSONOV, Ofra et al. Hadassah Academic College Department of Optometry. Jerusalem (2010) *The effect of Test Sequence on Measurement of Positive and Negative Fusional Vergence*. Consultado el 8 de Diciembre de 2014. Disponible en [https://c.ymcdn.com/sites/www.covd.org/resource/resmgr/ovd41-1/article\\_effecttestsequence.pdf](https://c.ymcdn.com/sites/www.covd.org/resource/resmgr/ovd41-1/article_effecttestsequence.pdf)
6. LÓPEZ MARTÍNEZ, Alberto. Universidad de Oviedo. Oviedo (2012). *Tesis de Máster: Sistema asistencial basado en computador empleando señales electrooculográficas orientado a personas discapacitadas*. Consultado el 28 de abril de 2015. Disponible en [http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/4085/3/TFM\\_AlbertoLopez.pdf](http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/4085/3/TFM_AlbertoLopez.pdf)
7. GOSS, DA., & BECKER, E. School of Optometry, Indiana University. Bloomington, Indiana. *Comparison of near fusional vergence ranges with rotary prisms and with prism bars*. 2011 Feb;82(2): 104-7. doi: 10.1016/j.optm.2010.09.011. PubMed PMID:21144803 Consultado el 8 de Diciembre de 2014. Disponible en <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21144803>
8. CARBONELL BONETE, Stela. Universitat d'Alacant. Alicante (2014). *Prevalencia y sintomatología de las disfunciones acomodativas y binoculares en la población universitaria*. Consultado el 16 de Junio de 2015. Disponible en [http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/41527/1/tesis\\_carbonell\\_bonete.pdf](http://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/41527/1/tesis_carbonell_bonete.pdf)
9. CIUFFREDA, Kenneth J., State University of New York, State College of Optometry. New York. Issue Highlight. Volume 73/ Number 12/ December 2002. *The scientific basis for and efficacy of optometric visión therapy in nonstrabismic accommodative and vergence disorders*. Consultado el 16 de Junio de 2015. Disponible en [http://hartlandeyecare.com/clients/1725/documents/05\\_THE\\_SCIENTIFIC\\_BASIS\\_FOR.pdf](http://hartlandeyecare.com/clients/1725/documents/05_THE_SCIENTIFIC_BASIS_FOR.pdf)
10. SCHEIMAN, M., & WICK, B. (2008). *Clinical management of binocular vision: Heterophoric, accommodative, and eye movement disorders* (3rd ed.). Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
11. MARTÍN HERRANZ, R., & VECILLA ANTOLÍNEZ, G. (2011). *Manual de optometría*. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana.
12. GROSVENOR, T. (2005). *Optometría de atención primaria* (, reimpr ed.). Barcelona: Masson.
13. SCHULZ, Wolfgang. Traducido por PASCUAL, Ingrid y SALVADÓ, Joan. Escuela Universitaria de Óptica de Terrassa. Terrasa. *Técnicas de centrado*. Consultado el 19 de Junio de 2015. Disponible en <http://ocw.upc.edu/download.php?file=15012710/treball-2-3637.pdf>

- 14.** VERA, M. Dirección General de Educación Técnica y Formación Profesional. Cordoba, Argentina (2001). *Tema 9: Prismas oftálmicos*. Consultado el 19 de Junio de 2015 en <http://www.etpcba.com.ar/DocumentosDconsulta/OPTICA/TECNOLOG%C3%8DA%20%C3%993PTICA/OP00604C.pdf>
- 15.** ANTONA PEÑALBA, Beatriz. Universidad Complutense de Madrid. Madrid (2008-2010). *Fiabilidad intraexaminador y concordancia de pruebas clínicas de evaluación de la visión binocular*. Consultado el 8 de Diciembre de 2014 en <http://eprints.ucm.es/10149/1/T30728.pdf>
- 16.** GILA, L et Al. An. Sist. Sanit. Navar. Volumen 32, Suplemento 3. Pamplona (2009). *Fisiopatología y técnicas de registro de los movimientos oculares*. Consultado el 28 de Abril de 2015 en <http://scielo.isciii.es/pdf/asisna/v32s3/original2.pdf>
- 17.** ROWE, Fiona J. University of Liverpool, Liverpool (2010). *Strabismus*, 18(2), 48-57,2010. doi 10.3109/0927397100378412. *Fusional Vergence Measures and their significance in clinical assessment*.
- 18.** BARRERA CASTILLO, Jorge. Instituto Politécnico Nacional, México (2011). *Caracterización de problemas sensoriales en mayores de 65 años, pertenecientes al programa Adulto mayor del DIF en el municipio de Cocotitlán Estado de México*. Consultado el 21 de Junio de 2015 en <http://www.sepiccsma.ipn.mx/investigacion/Documents/TESINA%20BARRERA%20CASTILLO.pdf>
- 19.** MUNOA ROIZ, José Luis. Ponencia Oficial de XII Congreso de la Sociedad Ergoftalmológica Española, Granada (1997). *Anales de la Sociedad Ergoftalmológica Española, Tomo XXVII-1998. Capítulo 3: Córtez visual primario*. Consultado el 21 de Junio de 2015 en <http://www.oftaldo.com/ergo/node/41>
- 20.** ALLISON, Christine. Illinois College of Optometry, Illinois, EEUU (2005). *Review of Optometry. Eyedentify your patient's efficiency problems*. Consultado el 22 de Junio de 2015 en [http://www.reviewofoptometry.com/content/d/news\\_review/c/17390/dnnprintmode/true/?skinsrc=%5B%5Dskins/ro2009/pageprint&containersrc=%5B%5Dcontainers/ro2009/simple](http://www.reviewofoptometry.com/content/d/news_review/c/17390/dnnprintmode/true/?skinsrc=%5B%5Dskins/ro2009/pageprint&containersrc=%5B%5Dcontainers/ro2009/simple)