



**Universidad
Zaragoza**

PARÁMETROS DE INFLUENCIA EN EL
CÁLCULO Y LA EVALUACIÓN DE LA
SENSIBILIDAD AL CONTRASTE

*INFLUENCE PARAMETERS IN THE
CALCULATION AND EVALUATION OF
CONTRAST SENSITIVITY*

Autor:

ASER CEBOLLADA MARTÍNEZ

Directoras:

SARA PERCHES BARRENA

LAURA REMÓN MARTÍN

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Factores de influencia	5
Edad	5
Desenfoque	6
Diámetro de pupila.....	6
Patologías oculares.....	6
Luminancia	7
3. Métodos de evaluación.....	7
Test Vistech.....	7
FACT.....	8
CSV-1000.....	9
Clinics CSF.....	9
Mentor B-VAT II.....	9
Test de Cambridge.....	9
Pelli-Robson.....	10
Test de Mars.....	10
Test de Bailey-Lovey.....	10
Test de Regan.....	10
4. Objetivos.....	11
5. Material y métodos	12
Selección de la muestra.....	12
Criterios de inclusión.....	12
Condiciones de medida.....	12
OptoMeP.....	13
Optotab.....	14
Topcon.....	15
6. Análisis de datos.....	15
7. Resultados.....	15
8. Discusión.....	21
9. Bibliografía.....	25

INTRODUCCIÓN

Tradicionalmente, la principal forma de cuantificar la calidad de visión ha sido a través de la agudeza visual (AV). La medida de la AV es la capacidad del sistema visual para diferenciar dos puntos próximos entre sí y separados por un ángulo determinado, se trata de una prueba muy útil para identificar ambliopías, errores refractivos, así como para valorar el éxito de una operación de cirugía refractiva. La AV mide de manera adecuada las características ópticas del ojo, pero nos da más información relativa a la cuantificación de la visión, no la calidad de la misma. ⁽¹⁾

Existen diferentes tests para evaluar la AV del paciente, denominados optotipo, estos se caracterizan por presentar un contraste máximo. De entre todos los optotipos, las letras de Snellen es el test más utilizado comúnmente para pacientes que son capaces de leer letras, y entre los test de letras, el Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (ETDRS) con las tablas de Bailey-Lovie, suponen el test Gold Standard. ⁽²⁾

Sin embargo, en la vida cotidiana no se observa constantemente estímulos de máximo contraste como son los test de AV, es por ello que necesitamos de otras pruebas para conocer mejor la calidad de visión de un determinado paciente.

La sensibilidad al contraste (SC) nos da información de cuanto contraste necesita una persona para poder diferenciar un estímulo; la medida de la AV y de la SC evalúan dos funciones diferentes, mientras la AV mide la capacidad de resolución espacial del sistema visual en condiciones de muy alto contraste, la SC mide el mínimo umbral de contraste necesario para ver un estímulo. Las pruebas de SC nos pueden proporcionar información útil ya que pueden darnos en algunas condiciones una pérdida visual no identificable mediante la medida de la AV, proporcionándonos otro método de seguimiento de los tratamientos y dotándonos de una mejor comprensión de las deficiencias visuales que enfrentan las personas con discapacidad visual. Se trata de un test que puede ser empleado como prueba rutinaria. Además, se recomienda incluir esta prueba como parte de la valoración funcional del sistema visual, siendo especialmente útil en pacientes con baja visión o con discapacidades múltiples, mediante test diseñados específicamente para ellos. ⁽³⁾

Por lo tanto, se puede definir la SC como la habilidad del sistema visual para discernir un objeto con detalle sobre un determinado fondo, ⁽⁴⁾⁽⁵⁾ así como la capacidad del sistema visual de distinguir diferencias relativas en la intensidad de la luz, ⁽⁶⁾⁽⁷⁾ cuyo umbral se define como la menor cantidad de contraste necesaria para lograr esta distinción. ⁽⁸⁾

Para determinarla, se miden los umbrales de contraste de distintas frecuencias espaciales a través de redes sinusoidales o letras de contraste variado, es decir, que para cada frecuencia espacial (ciclos/grado (cpg)) se determina el mínimo contraste necesario que ha de tener la red o letra para que el observador sea capaz de ver, este se denominará contraste umbral. Para calcular el valor SC se realiza la inversa del mínimo valor de contraste necesario para poder detectar una red de una determinada frecuencia: $SC=1/C$. A partir de esa información se puede obtener la función de sensibilidad al contraste (CSF). En la figura 1 se muestra una gráfica típica de SC frente a la frecuencia, es decir, la CSF. Se observa que el sistema visual tiene una curva tipo pasa-banda con mayor sensibilidad para las frecuencias de 3-5cpg, lo que significa que las rejillas de frecuencias intermedias requieren de menores niveles de contraste que las frecuencias altas o bajas para ser detectadas por el observador.

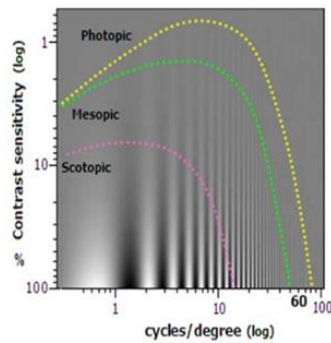


Figura 1. Curva de sensibilidad al contraste (expresada en unidades logarítmicas) para diferentes frecuencias espaciales. En la figura se muestra la curva de sensibilidad para diferentes condiciones de iluminación. ⁽¹⁶⁾

Las características de los optotipos utilizados para la medida de la SC son las que se describen a continuación:

- **Frecuencia espacial:** número de ciclos por grado de ángulo visual. En la figura 2 se observa la diferencia de ciclos que se dan por grado, determinándonos si se trata de una frecuencia baja o alta. ⁽⁵⁾ Se habla de alta frecuencia espacial cuando en un grado entran un gran número de bandas y la red (test) es delgada. Cuando la red se ensancha, en un grado entran menos bandas y por tanto su frecuencia espacial es menor. En el caso de las letras, las letras pequeñas se corresponden con las frecuencias altas y las letras grandes con las frecuencias bajas. ⁽⁹⁾

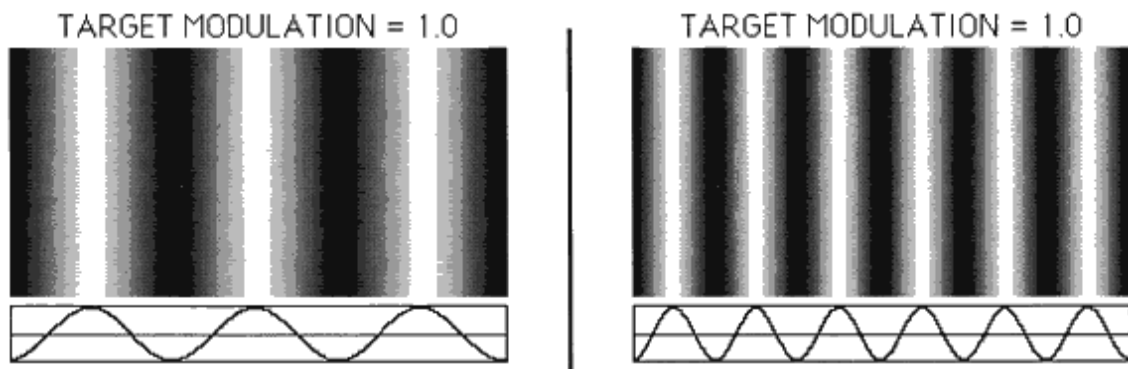


Figura 2. Redes sinusoidales de diferente frecuencia espacial. Izquierda: bajo frecuencia espacial. Derecha: alta frecuencia espacial.

- **Contraste:** Nos proporciona un número adimensional entre 0 y 1. Cuanto mayor sea el contraste, mayor será la diferencia de luminancias y, por tanto, mejor se distinguirá el objeto respecto al fondo. ⁽¹⁰⁾ Existen dos maneras de calcular el contraste dependiendo del tipo de optotipo utilizado.

En el caso de redes sinusoidales se calcula el contraste utilizando la fórmula de **Michelson** que define el contraste utilizando los valores límite de luminancia del estímulo: ⁽¹¹⁾⁽¹²⁾

$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}}$$

Donde L_{max} es la luminancia máxima y L_{min} es la luminancia mínima.

En el caso de optotipos de letras se calcula el contraste utilizando la fórmula de **Weber**, el cual se define como la diferencia de luminancia de un objeto y su fondo, dividido por el brillo de ambos: ⁽¹¹⁾

$$C = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{fondo}}$$

Donde L_{max} es la luminancia máxima, L_{min} es la luminancia mínima y L_{fondo} es la luminancia del fondo. ⁽¹³⁾

- Fase: La fase se corresponde con el desplazamiento de una onda respecto a otra, como se puede observar en la figura 3. Este aspecto sólo es importante en el caso de optotipos con rejillas sinusoidales. ⁽¹¹⁾

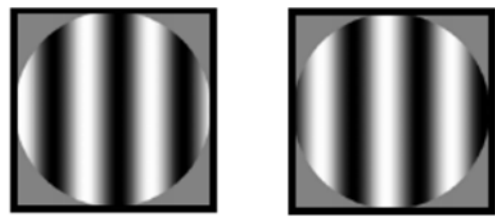


Figura 3. Desplazamiento entre dos ondas.

- Orientación: En el caso de optotipos con redes sinusoidales, estas se pueden presentar con diferentes orientaciones con respecto a la horizontal. Se suelen presentar con una orientación de las bandas entre $\pm 15^\circ$ a $\pm 30^\circ$. Se detectan mejor las orientaciones vertical y horizontal. ⁽¹¹⁾

⁽¹²⁾

Factores de influencia en la medida de la SC:

Existen diversos factores que influyen en la medida de la SC, entre ellos destacan los que se describen a continuación.

- Edad: Se produce una pérdida gradual de la SC conforme se envejece, esto se debe a la disminución de iluminación que se produce en el plano retiniano como consecuencia del envejecimiento de estructuras oculares tales como la córnea, y el cristalino y debido a la miosis senil. La edad produce una pérdida de SC especialmente notable en altas frecuencias. En una investigación realizada por Derefeldt et ál., ⁽¹⁴⁾ estudiaron la SC en función de la edad, en rangos de Grupo 1: 6-10 años, Grupo 2: 20-40 años y Grupo 3: 60-70 años, con ojos sanos y visión normal (AV Snellen=1,0). En la figura 4 se muestra la curva de sensibilidad al contraste en diferentes condiciones de medida (fotópicas y escotópicas) y para diferentes grupos de edad de manera binocular. Se observa que la CSF está influenciada por la edad. Se encontró que para todos los grupos hubo una atenuación típica cercano a los 3-5 c/g, mientras que el contraste binocular fue mayor que el monocular. No se encontraron diferencias significativas entre el grupo de jóvenes y personas de edad media, mientras que los sujetos mayores de 60 años presentaron una SC significativamente menor que los jóvenes en frecuencias medias y altas.

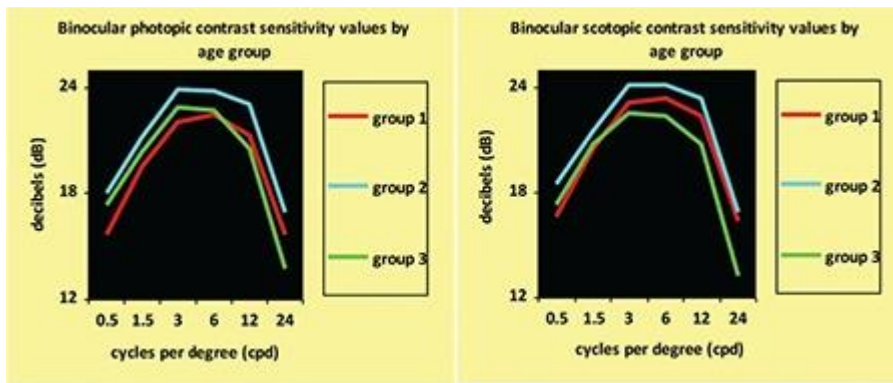


Figura 4. Curva de CSF binocular para diferentes grupos de edad en distintas condiciones de medida ⁽¹⁴⁾

- **Desenfoque:** Un error refractivo no compensado produce una borrosidad en la imagen resultante, lo que produce una fuerte pérdida en las frecuencias altas e intermedias. A errores de refracción bajos, la SC disminuye en frecuencias espaciales medias y sobretodo, en altas conforme la refracción se vuelve más miópica. ⁽¹⁵⁾ En la figura 5 se muestra la curva de SC para diferentes cuantías de desenfoque. Se observa que para una miopía de 2,00D existe una reducción de los valores, especialmente para frecuencias altas. ⁽¹⁶⁾

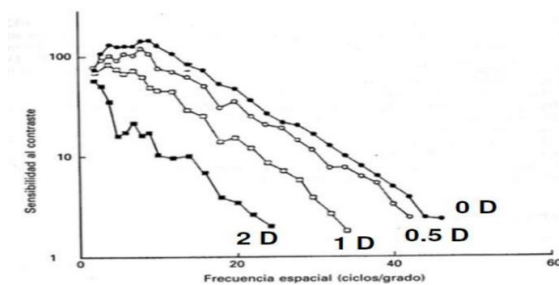


Figura 5. Curva de CSF para diferentes cuantías de ametropías ⁽¹⁶⁾

- **Diámetro de pupila:** Cuanto mayor sea el diámetro pupilar, mayor será la aberración esférica del ojo, provocando una disminución de la SC en las frecuencias altas e intermedias. ⁽¹⁷⁾ En la figura 6 se muestra la curva de SC para diferentes tamaños de pupila. Se observa que para un diámetro de 5,8 mm existe una reducción de los valores de SC para frecuencias intermedias y altas. Para frecuencias bajas los valores son similares a los obtenidos para una pupila de 2mm. ⁽¹⁶⁾

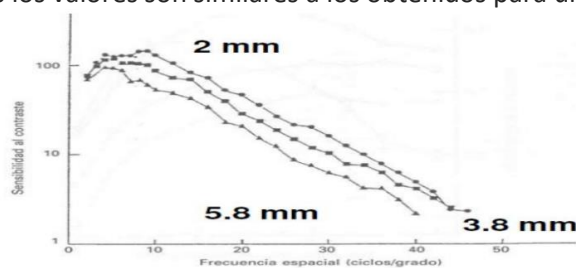


Figura 6. Gráfica de CSF para diferentes tamaños de pupila ⁽¹⁶⁾

- **Patologías oculares:** Existen varias patologías oculares, como cataratas, glaucoma, retinopatías o pacientes con problemas neurológicos que alteran la sensibilidad al contraste en determinadas frecuencias espaciales medias / altas, las cuales también se ven afectadas en pacientes operados de cirugías refractivas. ⁽¹⁸⁾ En la figura 7 se muestra la curva de SC obtenida por pacientes con diferentes patologías oculares, así como en pacientes con ojos sanos. Se observa que todas ellas producen una disminución generalizada de la SC, especialmente en frecuencias medias / altas. ⁽¹⁹⁾

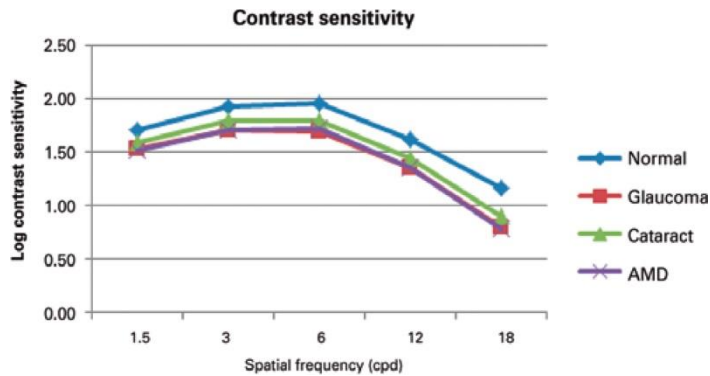


Figura 7. Gráfica de CSF para diferentes patologías oculares ⁽¹⁹⁾

- **Luminancia:** Cuanto mayor es la luminancia, mejores resultados de CSF se obtendrán. ⁽²⁰⁾⁽²¹⁾ Para valores de luminancia bajos, los valores de SC se verán disminuidos, especialmente para frecuencias espaciales medias / altas, siendo menores los valores de SC cuanto mayores sean los valores de frecuencia espacial. ⁽²²⁾⁽²³⁾ En la figura 8 se muestra la curva de CSF para diferentes valores de luminancia. Se observa que se obtienen peores resultados cuanto menores son los valores de luminancia, especialmente en las frecuencias altas. ⁽²¹⁾

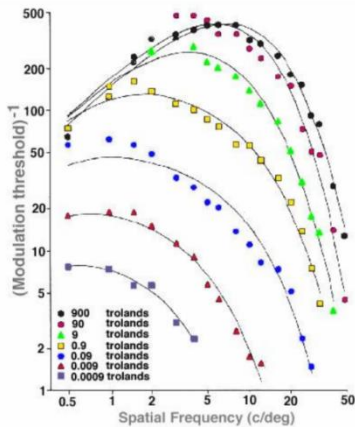


Figura 8. Gráfica de CSF para diferentes valores de luminancia ⁽²¹⁾

Métodos de evaluación de la SC

Como se ha comentado anteriormente existen dos formas básicas de valorar el contraste: por medio de redes sinusoidales o por medio de letras de contraste decreciente. En los últimos años se ha tratado de desarrollar técnicas de evaluación de la AV y la SC mediante iPads; así pues, para evaluar la SC, Kollbaum ⁽²⁴⁾ desarrolló un test que consistía en dos letras en cada página de un iBook con una diferencia de 0,1 unidades logarítmicas entre ellas. Se comparó los resultados de este test con Pelli-Robson y con el de Freiburg de AV, obteniendo unos valores significativamente más bajos con el primero, y una buena correlación con el segundo. A continuación, se describe las características de los diferentes tests utilizados.

Láminas: Test Vistech:

Son las más comúnmente utilizadas en sus distintas versiones. Se introdujo por primera vez en 1984 y consta de unas placas circulares con rejillas de redes sinusoidales dispuestas en cinco filas (frecuencias 1.5, 3, 6, 12 y 18 ciclos por grados (cpg) y nueve columnas, correspondiente a los niveles de contraste (figura 9). El salto de una a otra es irregular, pero el promedio es de aproximadamente

0,25 unidades logarítmicas (un.Log), con un rango de 1,75 unidades logarítmicas. ⁽⁵⁾ Las rejillas aparecen en diferentes inclinaciones, 15 ° a izquierda y derecha y vertical. Se trata de una prueba subjetiva, por lo que si el paciente es cauteloso puede dar valores de SC ligeramente bajos, para ello hay una prueba de elección forzada de 3 alternativas, para que los pacientes digan cuál de las 3 orientaciones se encuentra la rejilla.

Es un test con mala repetitividad test – retest (la correlación es de 0,25-0,61, un promedio de 0,48), esto podría esconder diferencias sutiles entre valores normales y anormales. ⁽²⁵⁾ Entre las variables que más influye en la respuesta del test, se encuentra la iluminación que rodea a la cartilla, pues a diferencia de los test de letras, los test de redes sinusoidales, requieren de unas condiciones de iluminación que deben estar cuidadosamente controladas para que la respuesta no se vea afectada. ⁽²³⁾

Presentan la ventaja respecto a los test de letras, como el de Pelli-Robson, de que puede medir la SC en varias frecuencias espaciales.

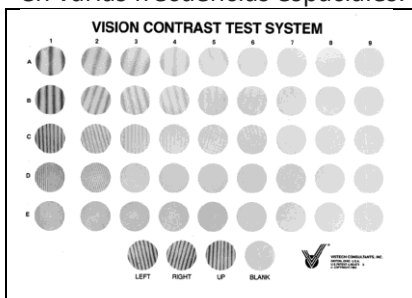


Figura 9. Test Vistech

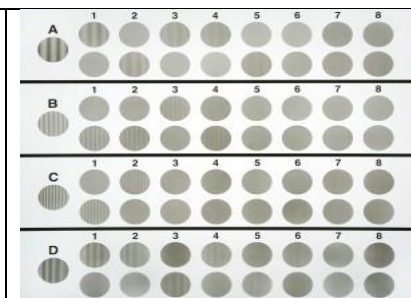


Figura 10. Test CSV-1000E ⁽²⁸⁾

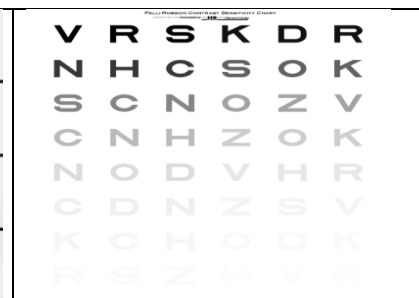


Figura 11. Test de Pelli-Robson

Functional Acuity Contrast Test (FACT):

Está considerado como una segunda generación del test VCTS, cuya principal diferencia es que el fondo presenta un color gris de manera que disminuye el contraste de las láminas circulares en las que se representa la red sinusoidal. Consta de 5 filas, cada una empleada para medir una frecuencia espacial, en las cuales utiliza 9 parches para cada frecuencia espacial. Este test evalúa las frecuencias espaciales de 1,5, 3, 6, 12 y 18 cpv. ⁽²⁶⁾ El paso de SC entre cada rejilla es de 0,15 unidades logarítmicas (más pequeño que el original de 0.25 unidades log de media). Las rejillas son de un color gris promedio para eliminar las imágenes fantasmas y mantener la constante de iluminación retiniana media. ⁽²⁵⁾ En la Tabla 1 se muestran las frecuencias y los valores de SC que evalúa el FACT

Las rejillas tienen tres orientaciones distintas, pudiendo estar en vertical o inclinadas 15° a derecha o izquierda. Los valores normales de este test incluyen al 90% de la población, si la curva de CSF está por debajo del rango normal para cualquiera de los ojos en una o más filas, el paciente será sospechoso. ⁽²⁷⁾

R	CYCLES	COLUMN								
O	PER									
W	DEGREE	1	2	3	4	5	6	7	8	9
A	(1.5)	7	9	13	18	25	36	50	71	100
B	(3)	10	15	20	29	40	57	80	114	160
C	(6)	12	16	23	33	45	64	90	128	180
D	(12)	8	11	15	22	30	43	60	85	120
E	(18)	4	6	8	12	17	23	33	46	65

Tabla 1. Valores de SC que evalúa el FACT en cada fila y columna. ⁽²⁷⁾

Pantallas retroiluminadas: Test CSV- 1000E:

El CSV- 1000E es el test más utilizado para determinar la SC junto con el Test Vistech. Consta de 4 filas de rejillas de onda sinusoidal y 8 columnas correspondientes con 8 niveles de contraste (figura 10).⁽⁵⁾ Cuenta con su propio sistema de iluminación, que proporciona una luminancia de 85 cd/m^2 , por lo que evita la influencia de la iluminación en el resultado de la prueba.

La prueba está preparada para ser realizada a 8 pies (aproximadamente 2,5 m), y nos mide la SC para frecuencias espaciales de 3, 6, 12 y 18 cpg. Para responder, el paciente debe indicar si la rejilla se encuentra en la fila de arriba o la de debajo de la frecuencia por evaluar, y la prueba concluye cuando el paciente no es capaz de identificar la presencia de la rejilla. En los cuatro primeros niveles, el contraste disminuye en pasos de 0,17 unidades logarítmicas, mientras que para los 4 últimos lo hace de 0,15 en 0,15 unidades logarítmicas.⁽²⁸⁾

El paciente debe identificar cual es la lámina circular que presenta la red sinusoidal en cada nivel de contraste, indicando su esta se sitúa en el círculo superior o en el inferior. Por lo tanto, es un test con dos respuestas alternativas.

Clinics CSF:

Se trata de una aplicación disponible tanto para iPad como para Android. Esta contiene 9 parches de rejillas sinusoidales que evalúan distintas frecuencias espaciales (3, 6, 12 y 18 cpg) creadas con el software MATLAB y COLORLAB 21. Esta última se utilizó para calibrar la pantalla del iPad, calculando la función que vinculo los valores digitales con los valores triestímulo y calcular así los valores de las rejillas. Para minimiza los efectos de borde, los estímulos se generan con bordes borrosos, mediante una rampa semigaussiana que desvanece los estímulos.⁽²⁹⁾

La aplicación fue diseñada para una distancia de trabajo de 2m, para los que un estímulo de 4 cm subtende un 1° por lo que el examinador sostiene el iPad a esta distancia del sujeto y seleccionará el botón que corresponda con la respuesta del paciente.

Se desarrollaron 2 clinics CSF, el clinic CSF.v1 y el clinic CSF.v2, en ambos los estímulos eran presentados de manera aleatoria en diferentes orientaciones: vertical, inclinado 15° a la derecha o la izquierda. Las principales diferencias entre ambos fueron el método psicofísico empleado para lograr el umbral de CSF y los tamaños de los pasos entre cada nivel de SC. El ClinicCSF.v1 fue programado con los mismos valores de SC que el CSV 1000 y el ClinicCSF.v2 con los valores FACT, con el objetivo de obtener una mejor comparación con los resultados.⁽²⁹⁾

Test Mentor B-VAT II:

Se trata de un test que permite medir la AV en condiciones de alto y bajo contraste, a través de 9 optotipos diferentes. También permite medir la CSF, mediante redes sinusoidales en 16 frecuencias espaciales y 20 niveles de sensibilidad al contraste.⁽³⁰⁾

Test de Cambridge:

Es un libro de 28 x 22 cm, en el cual al observador se le presentan las páginas por parejas, a 6 metros de distancia. Una de las páginas contiene una determinada red sinusoidal, mientras la contigua es uniformemente gris. El paciente deberá indicar en cuál de las páginas está la red. Consta de 10

láminas, siendo la primera de ellas la de máximo contraste y disminuyendo de manera progresiva en pasos de 0.17 unidades logarítmicas. Su mayor limitación es que solo evalúa para frecuencias espaciales de 4 cpg. ⁽³⁰⁾

Test de Pelli-Robson:

Es una tarjeta de 86 x 63 cm situada a 1 metro de distancia del paciente (figura 11), que evalúa una única frecuencia espacial y un único tamaño de letra, asegurándonos que el centro del test queda a la altura de los ojos del paciente. El optotipo está compuesto por letras de Sloan, de un tamaño aproximado de un ciclo por grado (cpg), estas están dispuestas en tripletes, disminuyendo el contraste en 0,15 unidades logarítmicas por cada triplete. Mide un contraste desde el 100% hasta el 0,56% (correspondiente a 0,00-2,25 unidades logarítmicas). ⁽⁵⁾

Para realizar correctamente el test trataremos que la iluminación del test sea lo más uniforme posible, teniendo una luminancia aproximada de 85 cd/m^2 , con un rango aceptable de entre 60 y 120 cd/m^2 . ⁽³¹⁾

El paciente tiene un solo intento para nombrar cada letra de la tabla, comenzando por las letras de máximo contraste (esquina superior izquierda) y siguiendo las letras horizontalmente. El valor de la sensibilidad al contraste del paciente, será el correspondiente al último triplete de letras del que haya sido capaz de identificar 2 de ellas. ⁽³¹⁾

Test de Mars:

Es un test con un diseño similar al de Pelli-Robson; según el estudio realizado por Bradley et al. ⁽³²⁾ en 2005 se concluyó que existe una concordancia excelente entre ellos, pudiendo ser este test empleado como alternativa al de Pelli-Robson.

Alguna de las ventajas que presenta este test son que incluye tamaños menores, mayor duración y mayor facilidad de uso. ⁽³³⁾ Además de estos tests para la evaluación de la SC, existen otros tests que nos permiten medir además de la SC, la AV.

Test de Bailey-Lovie:

Es un test de AV, que consiste en un optotipo de letras, que a diferencia de los optotipos de Snellen que presentan un contraste del 100%, este test tiene un contraste del 10 %. Este test proporciona diversas ventajas como son: tener el mismo número de letras para cada nivel de AV; así como un rango entre filas y letras con progresión logarítmica, aportando igualdad de percepción entre cada nivel de AV. El test está calibrado para ser realizado a 4m. Este test permite determinar la AV del paciente en condiciones de bajo contraste, pero no calcular su CSF, ya que solo mide para una única frecuencia espacial. ⁽³¹⁾

Test de Regan:

Es un test similar al de Bailey-Lovie, pero presentando tarjetas con un contraste del 50%, 25%, 11% y 4%. ⁽³¹⁾

En la tabla 2 se muestra un resumen de las características de los test empleados en la evaluación de la SC comentados anteriormente.

TEST O PRUEBA	TARJETA	RANGOS/PASOS	PSICOFISICA
Vistech VCTS	Red sinusoidal	Rango≈ 1.80 log SC	3RAF
	Contraste variable	Pasos≈ 0.25log	1 nivel de decisión
FACT	Red sinusoidal	Rango≈ 1.20 log SC	3RAF
	Contraste variable	Pasos≈ 0.15log	1 nivel de decisión
CSV-1000E	Red sinusoidal	Rango≈ 1.38 log SC	2RAF
	Contraste variable	Pasos≈ 0.16log	1 nivel de decisión
B-VAT	Red sinusoidal	Rango≈ 3.00 log SC	3RAF
	Contraste variable	Pasos≈ 0.20log	
Test de Cambridge	Red sinusoidal	Rango≈ 1.50 log SC	2RAF
	Contraste variable	Pasos≈ 0.17log	4 nivel de decisión
Pelli-Robson	Letras de 2.8º	Rango 2.25 log SC	De 10 a 26 RAF
	Contraste variable	Pasos 0.15log	3 nivel de decisión
Tarjetas de medida de AV en bajo contraste			
Bailey-Lovie	Letras 18% contraste	Rango≈ 1.30 logMAR	De 10 a 26 RAF
	Tamaño variable	Pasos 0.10log	5 nivel de decisión
Tarjetas de Regan	Letras 25,11,4% ctraste	Rango≈ 1.10 logMAR	De 10 a 26 RAF
	Tamaño variable	Pasos 0.10log	8 nivel de decisión

RAF: Respuesta alternativa forzada

Tabla 2. Características principales de los tests empleados en la evaluación de la SC (31).

OBJETIVOS

El objetivo principal del estudio es comparar la curva de la sensibilidad al contraste obtenida con tres dispositivos diferentes, en pacientes sanos. En concreto los instrumentos con que se toman las medidas son el OptoMeP de SmarThing4vision, el OptoTab de SmarThings4vision y el CC-100XP de Topcon, los cuales emplean redes sinusoidales como estímulo.

MATERIAL Y MÉTODOS

Selección de la muestra:

Para llevar a cabo este estudio se escogió una muestra de 36 personas (72 ojos), emétopes o con defecto refractivo previamente corregido, de los cuales 16 fueron hombres (44,45%) y 20 fueron mujeres (55,55%), con edades comprendidas entre los 19 y los 33 años de edad (edad media de los sujetos fue de $24,7567 \pm 2,5756$ años) y previamente a realizar las pruebas firmaron un consentimiento informado para formar parte del estudio (véase Anexo 1). En 9 personas (18 ojos) se les repitieron las pruebas en dos días diferentes para comprobar la repetitividad de los tres instrumentos utilizados para la determinación de la SC.

Criterios de inclusión:

Los criterios de inclusión empleados en el siguiente estudio fueron:

- Personas cuya edad oscile entre los 18 y los 40 años.
- Pacientes con valores iguales a superiores a AV decimal de Snellen de 0.9 con compensación.

Los criterios de exclusión del presente estudio fueron:

- Pacientes que hayan sido operados de cirugía refractiva.
- Pacientes con patologías oculares y/o sistémicas que pudiesen afectar al objetivo principal del estudio.

Condiciones de medida:

Para el siguiente estudio se replicarán las mismas condiciones de medida para todos los sujetos. Las medidas se tomarán con luz indirecta y en condiciones mesópicas, y se seguirá el mismo orden de pruebas para todos los pacientes con el objetivo de no influir en la toma de medidas. Todas las pruebas fueron evaluadas por el mismo examinador (ACM) bajo la supervisión de las tutoras del trabajo (SP, LR) y realizadas en el mismo gabinete de la facultad de Ciencias de la Universidad de Zaragoza. A continuación, se describen las pruebas realizadas.

- 1º Realización de la refracción subjetiva: Para ello se siguió el protocolo descrito en la asignatura de Laboratorio de Optometría (2º curso de la Universidad de Zaragoza).
- 2º Toma de AV monocular con compensación: En primer lugar, se midió mediante el OptoMeP la AV que alcanza cada sujeto de manera monocular, comenzando la medida por el ojo derecho del paciente y posteriormente por el ojo izquierdo.
- 3º Toma de AV binocular con compensación: Una vez obtenidas las AV monoculares de ambos ojos de los pacientes, se les realiza la misma prueba de manera binocular para obtener su máxima AV en estas condiciones.
- 4º Medida de la CSF: Tras haber realizado la medida de la AV de todos los pacientes, y haber comprobado que alcanzan los valores indicados para poder ser partícipes en este estudio, se procede a la medida de la SC en condiciones monoculares, para ello se emplean tres tests diferentes. A continuación, se describen las características de cada uno de los test utilizados.

El orden de los aparatos usado para tomar las medidas fue: 1) OptoMeP, 2) OptoTab y 3) Topcon.

1º OptoMeP (SmarThings4Vision):

El OptoMeP es un sistema de evaluación de la visión, destinado a la evaluación de screenings en medicina laboral, preventiva y/o reconocimientos médicos. Este nos permite evaluar distintos parámetros tales como la AV, la fusión, la estereopsis, pruebas de discriminación del color, rejilla de Amsler, evaluar forias, y la sensibilidad al contraste, entre otros. En él podemos modificar distintos parámetros para personalizarlos a cada paciente, según sus condiciones y requerimientos. La pantalla empleada debe reunir unos requisitos mínimos para realizar el test, se trata de una pantalla LCD FULL HD 10.1'' con unas dimensiones de 254.2x155.3x8.2 mm, y una resolución mínima de 1920x1200 WUXGA.

Para realizar el test, disponemos a parte de la pantalla de visualización, de una Tablet de manejo. En primer lugar se evalúa la AV, para ello colocando al paciente a la distancia correspondiente, en este caso, 3 metros, primero le ocluimos el OI y posteriormente el OD. El estímulo que ve el paciente, tal y como se ve en la figura 12 son letras de Snellen, las cuales nosotros vemos en nuestra Tablet de manejo, que también nos indica la AV decimal que corresponde a cada línea de letras.

Una vez concluida la toma de AV, se procede a la medida de la SC, para ello a la misma distancia de trabajo, 3 metros, el paciente verá lo que se muestra en la figura 13, es decir, la letra E de Snellen en diferentes orientaciones, concretamente arriba, abajo, derecha e izquierda, y con distintos niveles de contraste y distintas frecuencias espaciales. Deberá indicarnos en qué orientación esta cada E. para la frecuencia espacial de 1,5 cpg, verá dos letras E, una al lado de la otra, mientras que para el resto de frecuencias espaciales, verá 2 líneas con cuatro letras E en cada línea, con unos niveles de sensibilidad al contraste descendente de derecha a izquierda, el paciente nos indicará en qué dirección las ve y nosotros marcaremos el 1er fallo que tenga y pasaremos a la siguiente pantalla que evaluará la SC para una nueva frecuencia espacial. En la figura 14 podemos ver los saltos de SC que hay para cada frecuencia espacial en este instrumento.

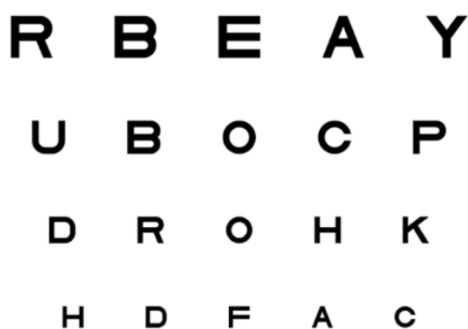


Figura 12. Test AV en OptoMeP



Figura 13. Test SC en OptoMeP

En la figura 14, se muestra una comparativa de los pasos de SC en unidades logarítmicas que evalúan el OptoMep (círculos azules), el Optotab (cuadrados rojos) y el Topcon (rombos verdes), para las frecuencias de 1,5 cpg, 3cpg, 12cpg y 18cpg.

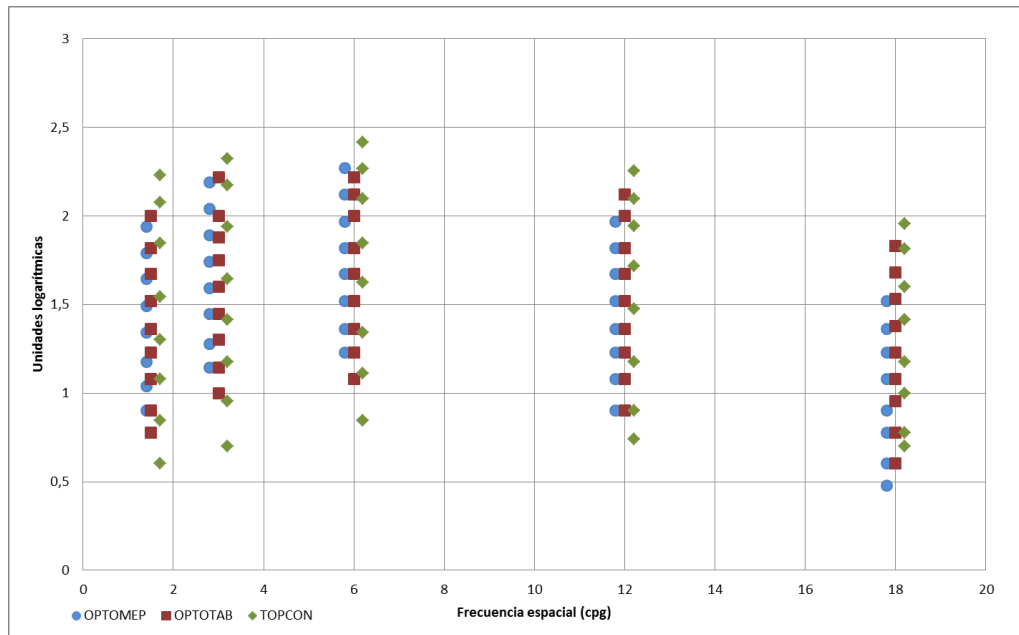


Figura 14. Valores de SC que evalúa cada aparato utilizado en este trabajo. Para mejor comprensión de la figura y para evitar que los valores de contraste se superpongan, se han considerado frecuencias ligeramente superiores e inferiores a los valores de 1,5cpg, 3cpg, 6cpg, 12cpg y 18cpg.

2º OptoTab (SmarThings4Vision):

El OptoTab calcula la sensibilidad al contraste a través de la fórmula de Michelson, al tratarse de una prueba que mide la SC a través de patrones sinusoidales, esta es la fórmula de preferencia para este tipo de patrones, como se ha explicado en la introducción.

Para realizar la prueba, disponemos de una pantalla (figura 15) en la que el paciente verá el estímulo (patrones sinusoidales) y de una Tablet de manejo para el examinador. Colocamos al paciente sentado a 6 metros, le ocluimos primero el OI y posteriormente el OD, para evaluar de manera monocular, una vez ocluido el ojo correspondiente, se procede a realizar la prueba, para ello el OptoTab evalúa 5 frecuencias espaciales distintas (1.5, 3, 6, 12, 18 cpg) y cada ciclo de cinco frecuencias se repite tres veces. Para cada frecuencia se evalúan nueve valores de SC comenzando desde los valores más altos y decreciendo en función de los fallos del paciente. El paciente verá 3 patrones sinusoidales en la misma pantalla con orientaciones independientes (pudiendo estas ser hacia arriba, inclinado a izquierda o derecha), y ordenadas de menor a mayor dificultad de izquierda a derecha. El paciente deberá indicar en que orientación está cada uno de los patrones, y se marcará el primero de los que falle en la Tablet de manejo. Este test comienza con patrones de mínimo contraste y va disminuyendo su dificultad en función de los fallos del paciente. Los saltos de sensibilidad al contraste están expuestos en la figura 14.



Figura 15. Test de SC en Optotab

3º TOPCON CC-100XP:

Se trata de un aparato que incluye tanto pruebas de AV, pruebas binoculares, pruebas cromáticas, como pruebas de sensibilidad al contraste. La prueba de sensibilidad al contraste es de frecuencia espacial, esta se puede configurar de manera personalizada según la cantidad de niveles de contraste y frecuencias espaciales, dándonos como resultado una valiosa información de la agudeza visual al contraste del paciente. Mide para diferentes frecuencias espaciales (1.5cpg, 3cpg, 6cpg, 12cpg, 24cpg). Estos resultados son expuestos en forma de gráfica. La pantalla empleada para realizar este test es una pantalla LCD con un ratio de contraste 10000:1, cuyas dimensiones son 560x358x56 mm. Y el mapa de medida escogido fue el M-2.

Para la realización de esta prueba, colocamos al sujeto sentado a la distancia adecuada de la pantalla, 6 metros. Verá patrones sinusoidales aislados de uno en uno, como se muestra en la figura 16 y deberá indicarnos la orientación de cada uno de los que vaya apareciendo (arriba, inclinado a la derecha o inclinado a la izquierda), estos patrones irán de más fácil, es decir, con mayor contraste a más difícil y siguiendo un orden fijo en cuanto a frecuencias espaciales, 1,5 -> 3 -> 6-> 12-> 18. El examinador dispondrá de un mando en el que marcará la orientación que el paciente le diga, y será el propio aparato el que discernirá si ha respondido correctamente o no, y en caso de ser correcto irá aumentando su dificultad, midiendo los valores de SC que se ven en la figura 14 mostrada anteriormente.



Figura 16. Test de SC en Topcon CC-100XP

Análisis de datos:

Los datos son recogidos en una hoja EXCEL para proceder a su posterior análisis. Los valores de sensibilidad al contraste se pasaron a unidades logarítmicas. Para comparar los diferentes tests empleados para la medida de la SC se utilizaron los gráficos Bland-Altman. Para ello, el método de Bland-Altman cuantifica la diferencia media entre ambos métodos y un rango de confianza, entre los cuales se espera que se incluyan el 95% de las diferencias entre una técnica de medida y la otra. Para valorar la reproductibilidad de cada uno de los métodos también se emplearon los gráficos Bland-Altman.

RESULTADOS

En este estudio han participado 36 personas (72 ojos) con edades comprendidas entre los 19 y los 33 años (edad media de $24,7567 \pm 2,5756$ años). El error refractivo esférico medio fue de $-0,6736 \pm 1,5282$ D [rango entre $-7,50$ a $+2,50$ D], el error cilíndrico medio fue de $-0,0833 \pm 0,1829$ D [rango entre $0,00$ a $-0,50$ D]. De las 9 personas que realizaron una segunda medida, el rango de edades

comprendido fue de 21 a 33 años, con una media de edad de $25,0000 \pm 3,5707$ años. El error refractivo esférico medio fue de $-0,4306 \pm 0,6903D$, mientras que el cilíndrico fue de $-0,2083 \pm 0,2463D$.

Se muestra en la figura 17 la comparación de los valores medios (línea naranja) de cada uno de los instrumentos, con los valores medios obtenidos en este estudio (línea azul), así como los valores standard tanto máximos como mínimos de SC medida de manera monocular (Wachler BS, Krueger RR, 1998) (líneas negras punteadas). Se observa que el Topcon CC-100XP sobreestima los valores de SC, dando valores de la media de SC tomada de manera monocular mucho mayores que los que se obtuvieron tanto con el OptoMeP, como con el Optotab, los cuales sí que están comprendidos entre los valores standard del estudio de Wachler et al. ⁽³⁴⁾

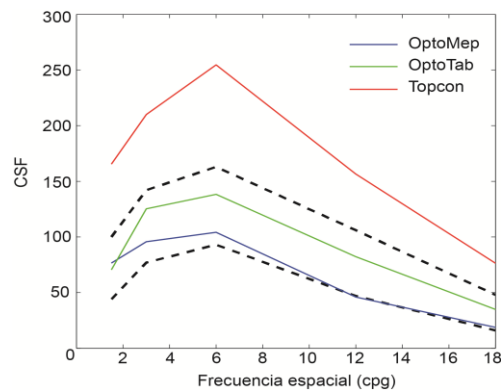


Figura 17. Gráfica comparación valores medios OptoMeP, Optotab y Topcon con los valores standards tanto máximos como mínimos de SC medidos de manera monocular (líneas negras discontinuas en la figura). Estos datos han sido obtenidos del trabajo de Wachler et al. ⁽³³⁾

En la tabla 3 se muestra los valores medios de SC (unidades logarítmicas) obtenidos para cada frecuencia espacial, con cada uno de los instrumentos; el valor máximo de SC que se llegó a resolver y el valor mínimo que se necesitó para poder detectarlo por parte de los sujetos. En la figura 18 se representan los valores numéricos de la tabla 3 en un diagrama de cajas para cada frecuencia con el OptoMeP, el Optotab y el Topcon. Se observa que los valores de SC son generalmente más altos con el test Topcon que con los otros dos tests para todas las frecuencias espaciales. Si se compara el test OptoMeP con el Optotab, este último proporciona valores ligeramente más altos que el OptoMeP excepto para la frecuencia de 1,5cpg. Además, se observa que hay mayor variación de respuestas tanto en el OptoMeP como en el Optotab, en comparación con el Topcon (véase las diferencias entre los valores mínimos y máximos para cada una de las frecuencias).

Frec espacial (cpg)	OPTOME P			OPTOTAB			TOPCON		
	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN	MAX	MEDIA	MIN	MAX
1,5	1,87	1,34	1,94	1,84	1,48	2,00	2,22	1,85	2,23
3	1,96	1,28	2,19	2,09	1,51	2,22	2,32	2,18	2,32
6	2,00	1,36	2,27	2,13	1,83	2,22	2,41	2,20	2,41
12	1,65	0,90	1,97	1,91	1,32	2,12	2,19	1,48	2,26
18	1,25	0,00	1,52	1,54	1,08	1,78	1,88	1,18	1,95

Tabla 3. Comparación de las medias y rangos obtenida con cada instrumento

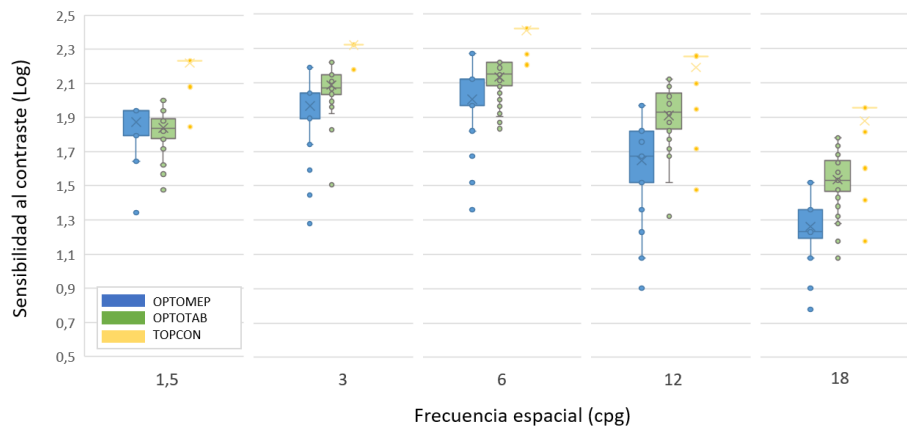


Figura 18. Diagrama de cajas comparando las SC medias obtenidas con cada instrumento

En la figura 19 se muestran los gráficos de Bland-Altman, representados como la diferencia de la SC media obtenida entre dos métodos [SC Optotab - SC OptoMeP] frente a media entre ambos métodos $[(SC\ Optotab + SC\ OptoMeP)/2]$ para las frecuencias espaciales de 1,5cpg (1ª fila, izquierda), 3cpg (1ª fila, derecha), 6cpg (2ª fila, izquierda), 12cpg (2ª fila, derecha) y 18cpg (3ª fila). En esta figura se muestra las diferencias promedio obtenidas (línea naranja) y las líneas punteadas, que se corresponden con el intervalo de confianza del 95%. Se observa que el test Optotab sobreestima la medida de la SC con respecto al OptoMeP. Sin embargo, existe una buena concordancia en todas las frecuencias, al tener valores de diferencia media entre los datos próximos a 0.

En la figura 20 se muestran los gráficos de Bland-Altman, representados como la diferencia de la SC media obtenida entre dos métodos [SC Topcon - SC OptoMeP] frente a media entre ambos métodos $[(SC\ Topcon + SC\ OptoMeP)/2]$ para las frecuencias espaciales de 1,5cpg (1ª fila, izquierda), 3cpg (1ª fila, derecha), 6cpg (2ª fila, izquierda), 12cpg (2ª fila, derecha) y 18 cpg (3ª fila). En esta figura se muestra las diferencias promedio obtenidas (línea naranja) y las líneas punteadas, que se corresponden con el intervalo de confianza del 95%. Se observa una mala correlación, especialmente en frecuencias medias y altas, al observar que las diferencias medias entre ambos instrumentos aumentan. Se observa como el Topcon sobreestima los valores en comparación con el OptoMeP, al ver que todas las diferencias son positivas, es decir, los valores del Topcon son en todas las frecuencias mayores respecto al OptoMeP.

En la figura 21 se muestran los gráficos de Bland-Altman, es decir, la diferencia de la SC media obtenida con el Topcon comparándola con el Optotab para las frecuencias espaciales de 1,5cpg (1ª fila, izquierda), 3cpg (1ª fila, derecha), 6cpg (2ª fila, izquierda), 12cpg (2ª fila, derecha) y 18cp (3ª fila); para ello a parte de los valores medios obtenidos, tenemos las diferencias promedio obtenidas (línea naranja) y las líneas punteadas, que se corresponden con el intervalo de confianza del 95%. Se observa una mala correlación en todas las frecuencias espaciales, salvo para 3cpg; ya que los valores de diferencia media entre los datos obtenidos con ambos instrumentos, son relativamente lejanos a 0; también se puede observar que el Topcon sobreestima los valores de SC en comparación con los que nos proporciona el Optotab.

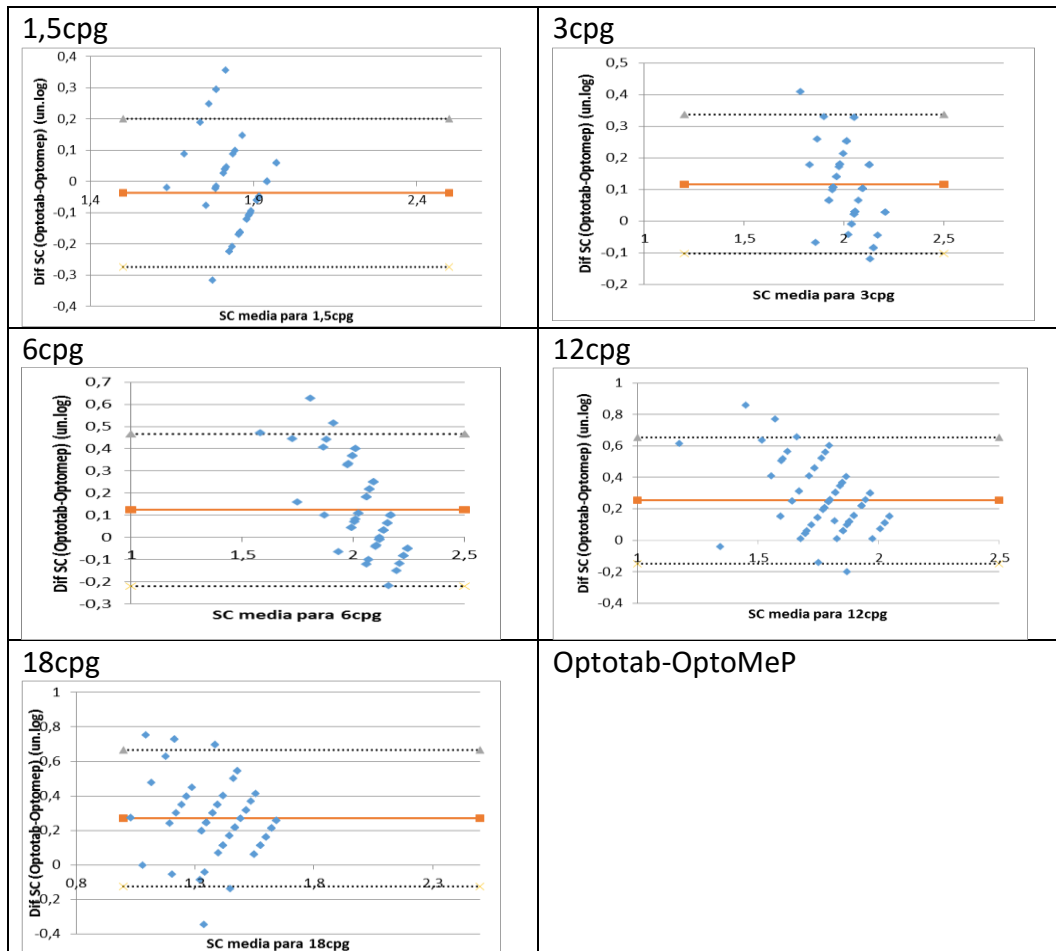


Figura 19. Gráficos Bland-Altman comparando los resultados obtenidos con el OptoMeP y el Optotab para cada una de las frecuencias espaciales

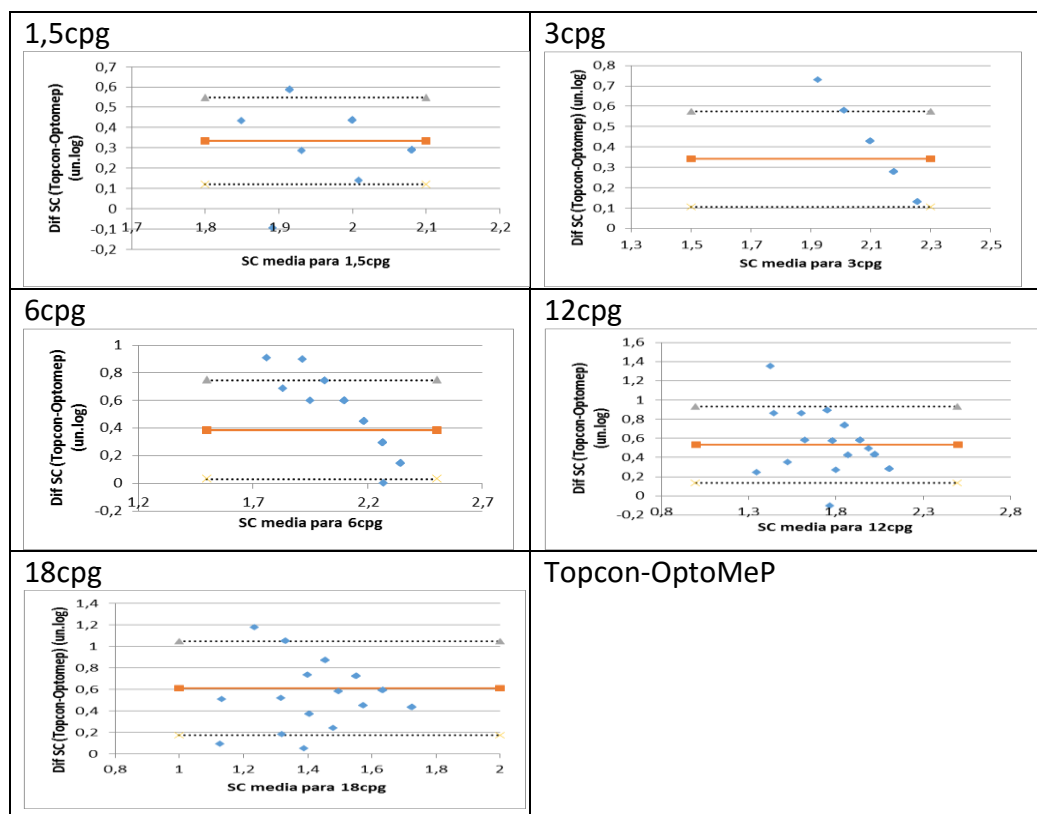


Figura 20. Gráficas de Bland-Altman comparando los resultados obtenidos entre el OptoMeP y el Topcon

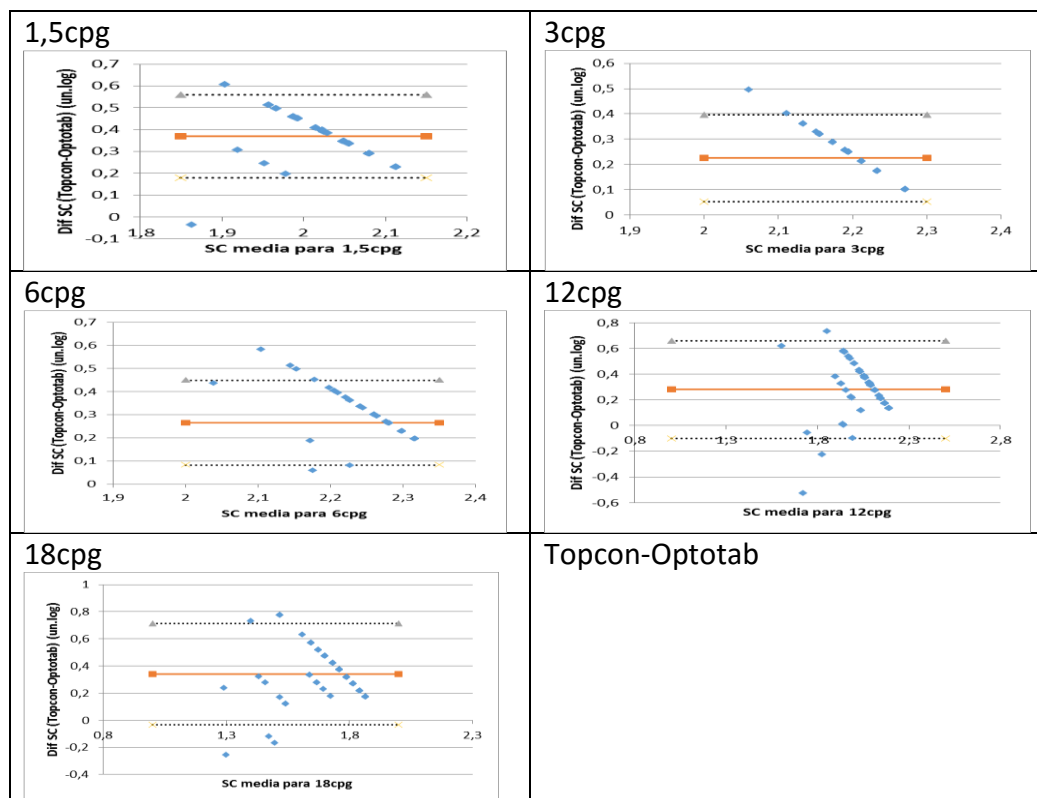


Figura 21. Gráfica Bland-Altman comparando los valores obtenidos en el Optotab y el Topcon para cada una de las frecuencias espaciales.

Con el objetivo de comprobar la reproductibilidad de cada test, se lleva a cabo una segunda medida a 9 sujetos, en días diferentes. En la tabla 4 se muestra la media y rango de valores de SC que se obtuvieron con el OptoMeP, el OptoTab y el Topcon, los días 1 y 2 de medida para cada frecuencia espacial evaluada (1,5cpG, 3cpG, 6cpG, 12cpG y 18cpG). Se observa que los valores obtenidos con los tres instrumentos en los dos días de medida son muy parecidos entre ellos para todas las frecuencias evaluadas. Se observa la máxima diferencia entre los dos días es para el para el test OptoMeP y la frecuencia de 18cpG. Para valorar de manera más cuantitativa la reproducibilidad de cada instrumento se han utilizado los gráficos Bland-Altman. Por simplicidad al mostrar los resultados se ha decidido estudiar la medida de la SC para tres frecuencias, correspondientes a 1,5cpG, 3cpG y 18cpG para cada uno de los instrumentos en dos días diferentes (figura 22). La 1ª columna de la figura 22 muestra las gráficas Bland-Altman del OptoMep, en la 2ª columna muestra las gráficas Bland-Altman del Optotab y en la 3ª columna de esta tabla muestra las gráficas Bland-Altman del Topcon CC-100XP. Se observa una buena reproducibilidad del aparato OptoMep para todas las frecuencias estudiadas al ser la diferencia media entre las dos medidas próximas a cero, y siendo especialmente buena en las frecuencias bajas. Para el test Optotab también se observa una buena reproducibilidad para todas las frecuencias espaciales. En el instrumento Topcon se observa una muy buena reproducibilidad, sobretodo en la frecuencia espacial de 3cpG, en el cual la diferencia media de valores de SC entre la 1ª medida y la 2ª es de 0, es decir, se obtuvieron los mismos resultados en ambos días. Para las otras frecuencias no mostradas en la figura se obtiene una buena reproducibilidad para todos los instrumentos.

Frecuencias (cpG)	OPTOMEPE						OPTOTAB						TOPCON					
	DIA1			DIA2			DIA1			DIA2			DIA1			DIA2		
	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN	MEDIA	MAX	MIN
1,5	1,90	1,94	1,64	1,91	1,94	1,64	1,87	2,00	1,72	1,88	1,94	1,77	2,21	2,23	1,85	2,23	2,23	2,23
3	1,99	2,19	1,89	2,01	2,19	1,89	2,15	2,22	2,00	2,13	2,22	1,96	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32	2,32
6	2,05	2,27	1,82	2,06	2,27	1,82	2,19	2,22	2,08	2,18	2,22	1,98	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41	2,41
12	1,78	1,97	1,52	1,80	1,97	1,52	2,00	2,12	1,72	1,96	2,12	1,72	2,21	2,26	1,72	2,24	2,26	1,94
18	1,31	1,52	0,90	1,38	1,52	1,08	1,61	1,78	1,18	1,63	1,78	1,28	1,93	1,95	1,60	1,95	1,95	1,95

Tabla 4. Valores obtenidos en cada instrumento en la primera medida y la segunda, realizada en un día diferente.

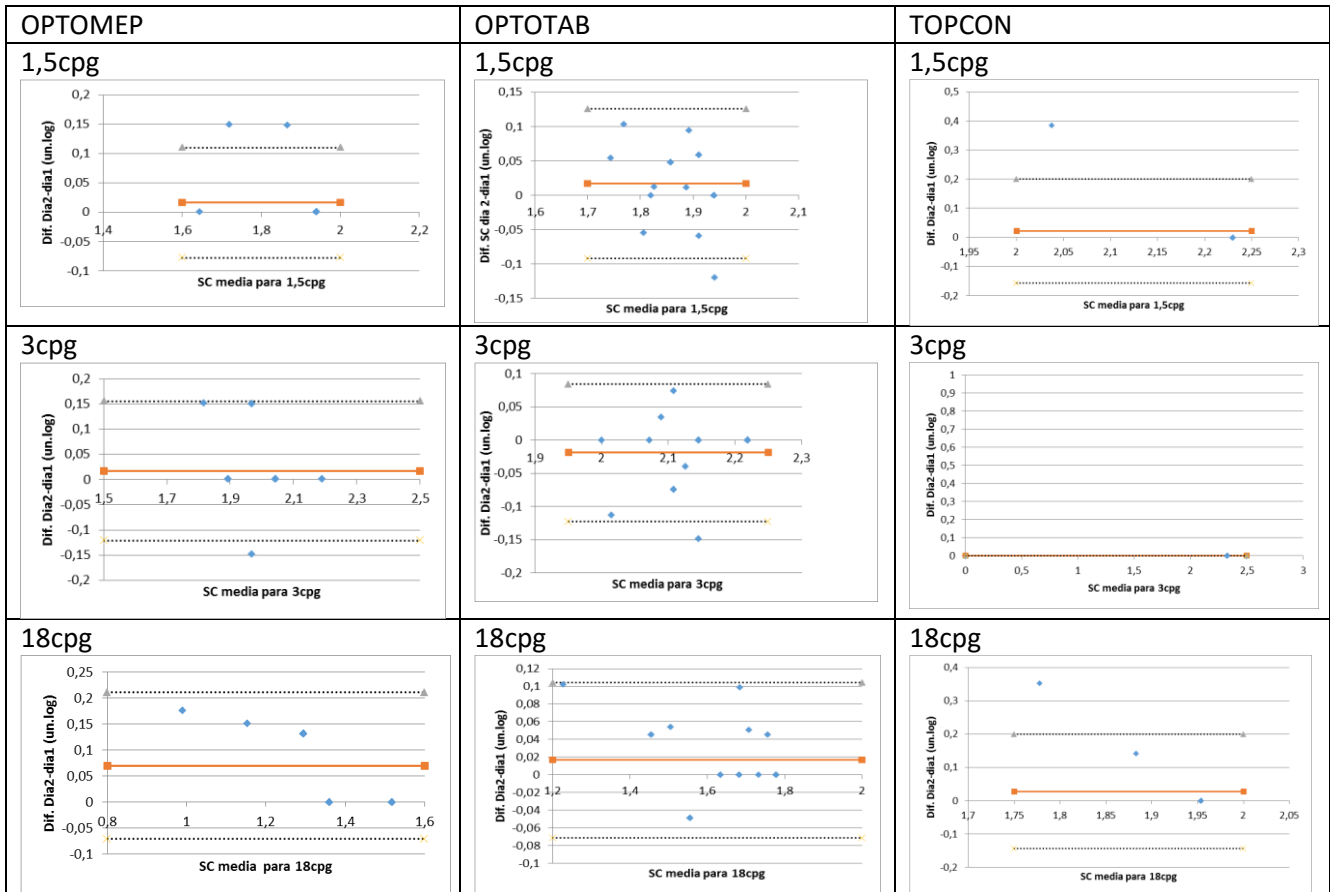


Figura 22. Gráficas Bland-Altman comparando la diferencia de SC entre los días 1 y 2 en las frecuencias espaciales indicadas

DISCUSIÓN

Tradicionalmente se ha caracterizado a la visión espacial humana por la medida de la AV, o lo que es lo mismo, por el mínimo tamaño de una figura que es capaz de resolver un sujeto en condiciones de alto contraste, de mínima diferencia de luminancia, en un test extenso y con los bordes bien definidos en un campo uniforme. ⁽³⁵⁾ Sin embargo, es importante conocer como varía el grado de detectabilidad de la figura, no sólo según su tamaño, sino también en función de su contraste. La CSF manifiesta la capacidad de detección del sistema visual independientemente del tamaño.

El objetivo del presente estudio era comparar los valores obtenidos con tres instrumentos diferentes, de los cuales uno de ellos, el OptoMeP que emplea letras con distintos niveles de contraste como estímulo, y los otros dos, Optotab y Topcon CC-100XP que emplean redes sinusoidales como estímulo; y ver la correlación existente entre ellos. Además se ha repetido la medida en 18 ojos en diferentes días con cada uno de los instrumentos para valorar la reproducibilidad de las mismas.

Como se puede observar en la figura 18 y tabla 3 con el instrumento Topcon se obtienen valores de SC mayores que con los otros instrumentos. Este hecho se verifica también en la figura 17 donde se muestra la curva de SC para cada instrumento comparada con los valores standard tanto máximos como mínimos de SC medida de manera monocular establecidos en el artículo de Wachler et al. ⁽³⁴⁾

(líneas negras punteadas). En esta figura se observa que la CSF del sistema visual es pasa-banda, es decir, las frecuencias intermedias (3 y 6 cpg) requieren de menores niveles de contraste que las frecuencias altas o bajas para ser detectadas por el observador.

Los resultados de SC obtenidos en este trabajo para el instrumento de OptoMeP y el Optotab son similares a los obtenidos en el trabajo de Rodríguez-Vallejo et al. ⁽²⁹⁾ donde se comparó la SC con dos instrumentos de medida: ClinicCSF y el FACT. Los valores de SC para las frecuencias de 3, 6, 12 y 18 cpg fueron de 2,03, 1,99, 1,65 y 1,20 para el ClinicCSF y de 2,06, 1,81, 1,48 y 1,08 para el FACT para el Grupo 1 (edad media 33 ± 12 años), esta edad fue parecida a la de nuestro grupo de población. En ese estudio evaluaron la SC a otro grupo de edad (edad media 37 ± 11 años), en el que obtuvieron unos valores de SC para las frecuencias de 3, 6, 12 y 18 cpg de 2,06, 1,95, 1,48 y 1,08 para el ClinicCSF y de 2,06, 1,88, 1,55, y 1,08 para el FACT, siendo estos valores menores, que los obtenidos por el grupo de menor edad (Grupo 1). Resultados similares de SC fueron obtenidos por Franco et al. ⁽³⁶⁾ el cual comparó la SC con el VCTS-6500 y el CSV-1000. La edad media de los participantes fue de $21,4 \pm 1,9$ años, similar a la de nuestro estudio. Los valores de SC obtenidos fueron 1,95, 1,99, 1,81, y 1,39 para las frecuencias de 3, 6, 12 y 18 cpg con el VCTS-6500, y de 1,65, 1,91, 1,60 y 1,20 para las frecuencias de 3, 6, 12 y 18 cpg con el CSV-1000. Bose et al. ⁽³⁷⁾ por su parte comparó los resultados obtenidos con el test de Pelli-Robson y el Vistech 6000, en pacientes con glaucoma normotensivo y pacientes con ojo sano. Los valores de SC obtenidos con el Vistech 6000 fueron 1,49, 1,70, 1,64, 1,35 y 0,92 en el grupo de ojos sanos, y de 1,43, 1,52, 1,41, 1,11 y 0,63 en el grupo de pacientes glaucomatosos. Estos valores son inferiores a los obtenidos en nuestro estudio, esto puede deberse a la diferencia de edad existente entre la población que participó en ambos estudios, ya que la de este fue de $65,4 \pm 7,8$ años en el grupo de pacientes sanos, y de $69,0 \pm 7,2$ años en el grupo de glaucomatosos, así como todavía son menores los valores del grupo de glaucomatosos, así como todavía son menores los valores del grupo de glaucomatosos, como consecuencia de su patología, que también es un factor de influencia, como se ha explicado en la introducción.

Los resultados del presente estudio, nos indican que los test que miden la SC mediante redes sinusoidales dan valores mayores de sensibilidad al contraste que los test que la evalúan mediante letras, excepto para la frecuencia espacial de 1,5 cpg, donde la diferencia media es de $-0,036 \pm 0,120$ unidades logarítmicas entre el OptoMeP y el Optotab, siendo menor el de éste último. La diferencia media entre el OptoMep y el Topcon para esa frecuencia es de $+0,334 \pm 0,109$, siendo mayor la del Topcon. Si se compara esta diferencia del OptoMeP-Topcon con la obtenida con el Optotab-Topcon, vemos que la diferencia media del Optotab con el Topcon es $+0,371 \pm 0,010$.

En el estudio llevado a cabo por Bose et al. ⁽³⁷⁾ se compararon los valores de SC obtenidos con el test de Pelli-Robson y el Vistech 6000, en 14 pacientes con glaucoma normotensivo y en un grupo control 17 sujetos con ojo sano. Se obtuvo que el grupo de control tuvo unos valores medios de SC de 1,62 unidades logarítmicas con el Pelli-Robson, por 1,5 unidades logarítmicas para la frecuencia espacial de 1,5 cpg con el Vistech 6000; concordando en dar valores ligeramente mayores para frecuencias bajas en los tests de letras que los de redes sinusoidales. Resultado similar al encontrado en este trabajo si comparamos los valores de SC del OptoMep con el OptoTab. En este trabajo para el test de Pelli-Robson sólo se ha evaluado una frecuencia al realizarlo solo a una distancia de trabajo (1 metro).

Por su parte, McAnany et al.⁽³⁸⁾ encontraron que obtenían mejores valores de CSF en frecuencias bajas con tests de letras que con tests de redes sinusoidales. En su caso emplearon como test de letras, letras de Sloan diseñadas con un tamaño que diese los valores de frecuencia espacial correspondientes con el otro test empleado, y parches de Gabor como test de redes sinusoidales con frecuencias espaciales de entre 0,36 y 8,8 cpg. Se realizó en condiciones escotópicas siendo el monitor la única fuente de iluminación y con la mejor corrección de los sujetos.

Como se ha dicho, el objetivo del presente estudio era el de comparar los valores obtenidos con tres instrumentos diferentes, y ver la correlación existente entre ellos. Centrándonos ahora en la comparación entre los dos instrumentos que emplean redes sinusoidales para obtener la CSF de los pacientes, y ver así la correlación existente entre ellos, encontramos una mala correlación entre el Optotab y el Topcon (véase figura 21). Pese a emplear el mismo tipo de estímulo, estas diferencias pudieron deberse a la diferencia de niveles de SC que evalúa cada uno, evaluando el Optotab más niveles de SC, a los saltos de SC que hay entre cada nivel, siendo menores los del Optotab, dándonos por tanto mayor precisión en la medida, o al diferente método psicofísico que emplean ambos para obtener la curva de CSF. En otros estudios, como el de Franco et al.,⁽³⁶⁾ en el cual también se comparan dos instrumentos de redes sinusoidales, en su caso el VCTS-6500 con el CSV-1000, se encontraron diferencias estadísticamente significativas siendo las diferencias medias de 0.30, 0.20, 0.08 y 0.18 para las frecuencias espaciales de 3cpg, 6cpg, 12cpg y 18cpg respectivamente. Esto concuerda con los resultados obtenidos en este estudio, al ser mayores las diferencias en frecuencias bajas, siendo estas 0,34, 0,17, 0,22, 0,21, y 0,32 para las frecuencias de 1,5, 3, 6, 12 y 18 cpg, observándose que la mayor diferencia se encontró en la frecuencia más baja.

Otro de los objetivos de este test, era el de conocer la reproducibilidad de los tres test, mediante la evaluación a una parte de los sujetos que accedió a volver a realizar la prueba otro día, y posterior comparación de los datos obtenidos en ambos días. En un estudio realizado por Kingsnorth et al.,⁽³⁹⁾ en el cual se buscaba conocer la reproducibilidad y precisión de una app móvil en la cual se evaluaba, y se comparaba con los resultados obtenidos con el test de Pelli-Robson y con el CSV-1000E. El estudio se realizó a 20 sujetos (19-28 años, con una edad media de, $23,4 \pm 2,1$ años) y se concluyó que el test de Pelli-Robson tenía una mejor reproducibilidad que el CSV-1000E; en el presente estudio, se observa una mejor reproducibilidad en los tests de redes sinusoidales, que en los de letras (véase figura 22 y tabla 4) a diferencia de los resultados obtenidos por Kingsnorth et al.⁽³⁹⁾ Esto puede deberse a las diferentes condiciones de medida o a los diferentes tests empleados para evaluar la CSF.

Centrándonos en la reproducibilidad de los tests de letras, en 1990, Pelli y Robson⁽⁴⁰⁾ concluyeron que las letras eran un test eficaz y rápido para medir la AV y la SC, y que eran tests que aportaban una buena reproducibilidad. En este estudio se obtuvo una buena reproducibilidad con el OptoMeP, test de evaluación de la SC con letras que se utilizó en este estudio, por su parte, en un estudio realizado por Mäntyjärvi et al.⁽⁴¹⁾ en el que se comprobó la reproducibilidad del test de Pelli-Robson en diferentes grupos de edad, en concreto de 6 a 9 años, 10 a 19 años, 20 a 29 años, 30 a 39 años, 40 a 49 años, 50 a 59 años y 60 o más años, evaluándose a 87 pacientes, obtuvieron que el test de Pelli-Robson tenía una buena reproducibilidad, demostrando que los test de letras son una herramienta eficaz y fiable para conocer la CSF de un sujeto.

En cuanto a la reproducibilidad existente en tests de redes sinusoidales, Takhor et al.⁽⁴²⁾ realizaron un estudio en el que comparaban la correlación entre el Metrovision y el CSV-1000. En él participaron 52 sujetos con una edad media de $37,3 \pm 26,4$ años, sin ninguna patologías oculares y en condiciones fotópicas. Concluyeron que el CSV-1000 daba valores de SC mayores que el Metrovision. Estas diferencias se acentuaban en las frecuencias espaciales bajas, siendo las diferencias medias entre ambos instrumentos de 0,35, 0,14, 0,011 y 0,04 un. Log para las frecuencias espaciales de 3, 6, 12 y 18cpg respectivamente. En este estudio se encontró que para los 2 test de redes sinusoidales, el Topcon era el que sobreestimaba los valores de SC, sin embargo los sobreestimaba de manera más regular en las diferentes frecuencias, siendo estas diferencias de 0,34, 0,17, 0,22, 0,21 y 0,32 para las frecuencias de 1,5, 3, 6, 12 y 18cpg. Estas diferencias pueden deberse a las diferentes iluminaciones empleadas, a la diferencia de edad media entre los sujetos estudiados, siendo la de este estudio 12,55 años más joven, al igual que el mayor rango de edades comprendida en el estudio de Takhor et al.⁽⁴²⁾ pudiendo dar una mayor variación de los valores de SC obtenidos.

CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

En función de lo planteado en este estudio, podemos concluir:

- Con los tres test utilizados se obtiene una CSF tipo pasa-banda, es decir, que las frecuencias intermedias requieren de menores niveles de contraste que las altas o bajas para ser detectadas.
- Con el test Topcon CC-100XP y el Optotab, que utilizan redes sinusoidales como estímulo, se obtienen valores de SC mayores que con el OptoMeP (letras) excepto para la frecuencia de 1,5 cpg entre Optotab y OptoMeP.
- El Topcon sobreestima los valores de SC comparado con los otros dos instrumentos, siendo estos valores mayores que los standard referenciados en el artículo de Wachler et al.⁽³³⁾
- En cuanto a la reproducibilidad, se ha obtenido una buena reproducibilidad para los tres instrumentos utilizadas y para todas las frecuencias evaluadas.

Como trabajos futuros, se podría ampliar la muestra de sujetos, ampliar a más grupos de edad para comparar los datos obtenidos entre los distintos grupos y estudiar la influencia de la edad en la SC y ampliar a pacientes con patologías, tales como glaucoma y catarata y ver la influencia de estas patologías en la CSF.

BIBLIOGRAFIA

1. Ginsburg, A. (1983). Contrast sensitivity: relating visual capability to performance. USAF Medical Service Digest, 15-20.
2. Susan J. Leat, Cristina Yakobchuk-Stanger, Elizabeth L. Irving, Differential (2020). Visual acuity – A new approach to measuring visual acuity, Journal of Optometry, Volume 13, Issue 1 Pages 41-49.
3. Owsley C. (2003). Contrast sensitivity. Ophthalmol Clin North Am. Jun;16(2):171-177.
4. Dr. Melody Huang . What is Contrast Sensitivity, vision center. Disponible en: https://www.visioncenter.org/refractive-errors/contrast-sensitivity/#div_block-60-4852
5. Dr Leena Vadhel, Dr Mrudula Bhawe. Contrast Sensitivity; Disponible en: <https://www.slideshare.net/laxmieyeinstitute/contrast-sensitivity>
6. David I. T. Sia, Sean Martin, Gary Wittert, Robert J. Casson. Age-related change in contrast sensitivity among Australian male adults: Florey Adult Male Ageing Study. Acta Ophthalmologica, Volume 91, Issue 4.
7. Nio YK, Jansonius NM, Fidler V, Geraghty Enorrby S, Kooijman AC. (2000). Age-related changes of defocus-specific contrast sensitivity in healthy subjects. Ophthalmic Physiol Optics;20:323-34.
8. Hyvärinen L. (1999). Visual Perception in 'Low Vision.' Perception.;28(12):1533-1537.
9. Kaur K, Gurnani B. (2022). Contrast Sensitivity. Apr 13. In: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2022 Jan.
10. Alia A. Alghwiri, Susan L. Whitney, Chapter 10 - Balance and Falls in Older Adults, Editor(s): Dale Avers, Rita A. Wong, Guccione's Geriatric Physical Therapy (Fourth Edition), Mosby, 2020, Pages 220-239.
11. Visión espacial: MTF y sensibilidad al contraste (CSF), Profesora María Cinta Puell, Grado Óptica y Optometría, Universidad Complutense de Madrid.
12. Kukkonen, Heljä & Rovamo, Jyrki & Tiippana, Kaisa & Näsänen, Risto. (1993). Michelson contrast, RMS contrast and energy of various spatial stimuli at threshold. Vision research. 33. 1431-6.
13. Pelli, D. G., & Bex, P. (2013). Measuring contrast sensitivity. Vision research, 90, 10–14.
14. Derefeldt, G., Lennerstrand, G., & Lundh, B.L. (1979). Age variations in normal human contrast sensitivity. Acta Ophthalmologica, 57.
15. Karatepe, A. S., Köse, S., & Eğrilmez, S. (2017). Factors Affecting Contrast Sensitivity in Healthy Individuals: A Pilot Study. Turkish journal of ophthalmology, 47(2), 80–84.
16. Campbell, F. W.; and Green, D. G. (1965). Optical and Retinal Factors Affecting Visual Resolution. The Journal of Physiology, Dec, 1965, vol. 181, no. 3, pp. 576-593.
17. Kay, C. D. and Morrison, J. D. (1987). A quantitative investigation into the effects of pupil diameter and defocus on contrast sensitivity for an extended range of spatial frequencies in natural and homotropinized eyes. Ophthal. Physiol. Opt. 7, 21–31.
18. Kamiya, K., Fujimura, F., Kawamorita, T., Ando, W., Iida, Y., & Shoji, N. (2021). Factors Influencing Contrast Sensitivity Function in Eyes with Mild Cataract. Journal of clinical medicine, 10(7), 1506.

19. Kara S, Gencer B, Ersan I, Arikan S, Kocabiyik O, Tufan HA, Comez A. (2016). Repeatability of contrast sensitivity testing in patients with age-related macular degeneration, glaucoma, and cataract. *Arq Bras Oftalmol.* 2016 Sep-Oct;79(5):323-327.
20. Blackwell, H. R. (1946) Contrast threshold of the human eye. *J. Opt. Soc. Am.* 36, 624– 643.
21. De Valois RL, Morgan H, Snodderly DM. (1974). Psychophysical studies of monkey vision-III. Spatial luminance contrast sensitivity tests of macaque and human observers. *Vision Research.* 14(1):75–81.
22. Vizmanos, J.G., De La Fuente, I., Matesanz, B.M. and Aparicio, J.A. (2004), Influence of surround illumination on pupil size and contrast sensitivity. *Ophthalmic and Physiological Optics*, 24: 464-468.
23. Cox, M. J., Norman, J. H. and Norman, P. (1999) The effect of surround luminance on measurements on contrast sensitivity.
24. Kollbaum PS, Jansen ME, Kollbaum EJ, Bullimore MA. (2014) Validation of an iPad test of letter contrast sensitivity. *Optom Vis Sci.* 2014;91:291-296.
25. Pesudovs K, Hazel CA, Doran RM, Elliott DB. (2004) The usefulness of Vistech and FACT contrast sensitivity charts for cataract and refractive surgery outcomes research *British Journal of Ophthalmology* 2004;88:11-16.
26. López, A.Y. (2009). Importancia de la valoración de sensibilidad al contraste en la práctica optométrica. *Ciencia y Tecnología para la Salud Visual y Ocular*, 7, 99-114.
27. Stereo Optical. Functional Acuity Contrast Test (FACT) appendix. Disponible en: https://www.stereooptical.com/wp-content/uploads/2019/11/56181-FACTappendix_FULL-11-2019-1.pdf
28. Vector Vision. Standardized Contrast Sensitivity Tests, CSV 1000-E. Disponible en: <https://www.vectorvision.com/csv1000-contrast-sensitivity/>
29. Rodríguez-Vallejo, M., Remón, L., Monsoriu, J. A., & Furlan, W. D. (2015). Designing a new test for contrast sensitivity function measurement with iPad. *Journal of optometry*, 8(2), 101–108.
30. Martín Herranz, R. Sensibilidad al contraste, *Optometría I*.
31. Thakur, S., Ichhpujani, P., Kumar, S., Kaur, R., & Sood, S. (2018). Assessment of contrast sensitivity by Spaeth Richman Contrast Sensitivity Test and Pelli Robson Chart Test in patients with varying severity of glaucoma. *Eye (London, England)*, 32(8), 1392–1400.
32. Dougherty, B. E., Flom, R. E., & Bullimore, M. A. (2005). An evaluation of the Mars Letter Contrast Sensitivity Test. *Optometry and vision science : official publication of the American Academy of Optometry*, 82(11), 970–975.
33. Thayaparan, K., Crossland, M. D., & Rubin, G. S. (2007). Clinical assessment of two new contrast sensitivity charts. *The British journal of ophthalmology*, 91(6), 749–752.
34. Wachler, B. S., & Krueger, R. R. (1998). Normalized contrast sensitivity values. *Journal of refractive surgery (Thorofare, N.J. : 1995)*, 14(4), 463–466.
35. Artigas JM, et al. (1995). *Optica Fisiológica. Psicofísica de la visión.* Interamericana McGraw-Hill 1ªed. 1995
36. Franco S., Silva AC., Carvalho AS., Macedo AS., Lira M. (2010). Comparison of the VCTS-6500 and the CSV-1000 tests for visual contrast sensitivity testing.
37. Bose, S., Piltz, J. R., & Breton, M. E. (1995). Nimodipine, a centrally active calcium antagonist, exerts a beneficial effect on contrast sensitivity in patients with normal-tension glaucoma and in control subjects. *Ophthalmology*, 102(8), 1236–1241.

38. McAnany, J.J. , Alexander, K.R. (2006). Contrast sensitivity for letter optotypes vs. gratings under conditions biased toward parvocellular and magnocellular pathways, *Vision Research*, Volume 46, Issue 10, 2006, Pages 1574-1584, ISSN 0042-6989.
39. Kingsnorth, A., Drew, T., Grewal, B., & Wolffsohn, J. S. (2016). Mobile app Aston contrast sensitivity test. *Clinical & experimental optometry*, 99(4), 350–355.
40. Pelli, D.G., Robson J.G. (1990). Letter to the editor. Are letters better than gratings?. *Clin. Vision Sci.* Vol. 6, No. 5, pp. 409–411, 199.
41. Mäntyjärvi, M., & Laitinen, T. (2001). Normal values for the Pelli-Robson contrast sensitivity test. *Journal of cataract and refractive surgery*, 27(2), 261–266.
42. Tahkor, A., Heravian Shandiz, J., Azimi Khorasani, A., & Ansari Moghadam, A. (2021). Comparison of CSV-1000 and Metrovision contrast sensitivity tests in normal eyes. *Medical Hypothesis, Discovery & Innovation in Optometry*.

ANEXO 1.

CONSENTIMIENTO INFORMADO

PARÁMETROS DE INFLUENCIA EN EL CÁLCULO Y LA EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD AL CONTRASTE

Información para los participantes

El propósito de esta hoja de información es proporcionar a los pacientes una clara explicación sobre la naturaleza de las pruebas que se van a realizar.

¿En qué consiste este estudio?

En base a los criterios de inclusión citados anteriormente, se escoge aquellas personas que cumplen con ellos, para comprobar las variaciones, en los valores de sensibilidad a contraste, existentes entre cada uno de los métodos de medida.

¿Cuáles son los beneficios de participar en este estudio?

Comprobar la calidad de visión de los pacientes con diferentes contrastes, ya que la AV sólo nos proporciona información de su calidad visual con contrastes máximos.

¿Existe algún riesgo por participar en este estudio?

Todas las pruebas realizadas en el presente estudio no conllevan ningún tipo de riesgo. Todas ellas son pruebas no invasivas, empleadas en la práctica optométrica.

¿Es obligatoria la participación?

No. La participación en el presente estudio es absolutamente voluntaria.

Los datos y los resultados de las pruebas serán empleados exclusivamente para la docencia.

Le agradecemos su colaboración y estamos a su disposición para contestar cualquier duda o comentario que quieran realizar. (Correo electrónico de contacto: aserunizar@gmail.com)

ANEXO 2.

FICHA PACIENTE

PARÁMETROS DE INFLUENCIA EN EL CÁLCULO Y LA EVALUACIÓN DE LA SENSIBILIDAD
AL CONTRASTE

Nº de paciente:.....

Nombre:		Fecha de nacimiento:	
Refracción:		Antecedentes familiares y oculares:	
AV (OD):	AV (OI):	AV BIN:	