



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

Análisis de las condiciones de evaluación de
la función visual: Una aproximación a la
práctica.

Presentado por: Pablo Varela Barca

Tutelado por: Dr. Miguel Maldonado López

Tipo de TFG: Investigación

ÍNDICE

RESUMEN/ABSTRACT	3
INTRODUCCIÓN	5
CAPÍTULO 1-MATERIAL Y MÉTODO	7
1.1. Medida X	7
1.1.1. Tramo A	7
1.1.2. Tramo B	7
1.1.2. Tramo C	8
1.1.2. Cálculo de X	8
1.2. Medida Y	9
1.2.1. Medidas con ETDRS	9
1.2.2. Medidas con Proyectores	9
1.3. Ángulo α	10
1.4. Transcripción a Dioptrías	11
1.4.1. Triángulo Equivalente	11
1.4.2. Variación Horizontal.....	12
1.4.2. Transcripción a Dioptrías.....	13
CAPÍTULO 2-RESULTADOS	15
2.1. Medida X	15
2.1.1. Tramo A.....	15
2.1.2. Tramo B	16
2.1.3. Tramo C	16
2.1.4. Cálculo de X	17
2.2. Tamaño de los optotipos, Y.....	17
2.3. Cálculo α	19
2.4. Cálculo Dioptrías	20
2.4.1. Valores Y_{EQ} y X_{EQ}	20
2.4.2. Variación $\Delta\alpha$ y ΔPot	21
CAPÍTULO 3-DISCUSIÓN	23
CONCLUSIONES	24
BIBLIOGRAFÍA	25

RESUMEN

Objetivo. Nuestro objetivo fue estudiar el error inducido en una refracción habitual en relación a la distancia de exposición y el tamaño del optotipo.

Métodos. Basándonos en las medidas experimentales tomadas con una cinta métrica y una reglilla en los gabinetes del IOBA y un Centro Óptico, calculamos el ángulo subtendido por el optotipo mostrado. En el proceso, diferenciamos entre pantallas ETDRS y proyectores de optotipos.

Resultados. Obtuvimos una diferencia media en el tamaño angular con respecto a las condiciones ideales de 0.2 minutos, y un error dióptrico medio correspondiente de 0.028D. El sesgo inducido por los ETDRS fue menor que en el caso de los proyectores excepto en AV elevadas, donde ocurría lo contrario.

Conclusiones. Aunque los errores encontrados son en general despreciables, el carácter móvil de los ETDRS estudiados y el posible error de paralaje inducido en su posicionamiento indicaron que, en algunas circunstancias, pueden acarrear un mayor sesgo.

ABSTRACT

Goal. The goal of this research is to study the induced error in a usual refraction in relation to the distance of exposure and the optotype size.

Methods. The subtended angle by the shown optotype was calculated based on the experimental measures carried out with a metric tape and a measuring slide in the IOBA cabinets (Applied Ophthalmology Institute of Valladolid) and an Optical Centre. During the process, a difference was made between ETDRS screens and optotype projectors.

Results. A mean difference in the angular size was obtained regarding ideal conditions of 0.2 minutes, and also a corresponding mean dioptric error of 0.028D. The induced bias by the ETDRS was smaller than in the case of the projectors, with exception in the elevated AV in which the opposite occurred.

Conclusions. Although the detected errors are omitted in general, the mobile character of the studied ETDRS and the possible parallax error induced in its positioning indicated that, in some circumstances, they can lead to a larger bias.

Varela P. Análisis de las condiciones de evaluación de la función visual: Una aproximación a la práctica.

INTRODUCCIÓN

La agudeza visual (AV) indica la capacidad de resolución espacial del sistema visual. Expresa el tamaño angular del detalle que puede ser discriminado por el observador.¹

Normalmente, la AV, se analiza de forma clínica haciendo identificar objetos u optotipos al paciente, progresivamente más pequeños. Estas **Tareas de Reconocimiento o Discriminación** tienen como objetivo obtener el mínimo reconocible o discriminable: el ángulo que subtende sobre la retina el optotipo más pequeño que el sujeto es capaz de identificar. En muchas ocasiones recibe el nombre de Agudeza Visual Clínica.²

Hay otro tipo de tareas que ayudan al estudio de esta función visual, como son las Tareas de Detección y las Tareas de Resolución.³

Existen multitud de factores que afectan al valor de la AV, algunos de ellos relacionados con procesos del Sistema Nervioso Central, llegando a ser imposible normalizarlos en un estudio habitual del estado refractivo del paciente. El estado de ánimo del sujeto, las experiencias previas con la prueba y la motivación, son ejemplos de elementos que pueden llegar a influir en el análisis de la AV.²

Por otro lado, factores relacionados con la ergonomía y el modo de realizar la prueba en el gabinete son temas habituales en el ámbito de estudio científico. La iluminación de la sala y/o el contraste y tipografía de los optotipos son ejemplos de estos estudios.⁴

El tamaño angular, en el cual centramos nuestra atención, determina la AV del sujeto. Se trata del ángulo subtendido por el optotipo más pequeño identificado por el sujeto, y se vincula al mínimo reconocible y a las Tareas de Reconocimiento. Al igual que en el caso de la luminancia o el contraste, se pueden establecer pautas que ayuden al profesional a sacar el mayor rendimiento en el análisis de la AV.

A la hora de estudiar la AV de un sujeto en visión lejana, la distancia ideal a la que mostrar los optotipos es el infinito óptico. Este se considera cuando los rayos de luz incidentes en el ojo son paralelos. De este modo, los rayos son refractados por la córnea y el cristalino. En esta situación ideal, el cristalino está relajado, y por tanto, realizando la menor influencia refractiva posible (sin acomodación). A medida que los rayos difieren del paralelismo, mayor será la respuesta acomodativa del cristalino. Esto ocurre cuando acercamos un objeto al observador.

En la aplicación clínica, el infinito óptico se considera a 6 metros, aunque desde un punto de vista teórico el ojo necesita de una potencia de 0.167D (Inversa de la distancia en metros). Existe rivalidad de opiniones sobre si este dato resulta influenciado en algunos sujetos. En los países anglosajones sitúan la visión lejana mostrando el test a 20 pies (6 metros), mientras que en Francia la distancia empleada son los 5 metros.⁵

Habitualmente, por motivos de espacio, el infinito (o visión lejana) en los gabinetes convencionales se sitúa unos metros por delante del sujeto. En muchos casos a 4 metros aproximadamente. Esta distancia podría llegar a

Varela P. Análisis de las condiciones de evaluación de la función visual: Una aproximación a la práctica.

producir un error en la refracción de 0.25D (dioptrías) si aplicamos la misma regla que en los casos anteriores.

Existen situaciones en las que se utilizan espejos en la sala con el fin de prolongar la distancia y que los rayos incidan paralelos. Para este tipo de situaciones, es importante mencionar la influencia de la Acomodación Proximal.

La Acomodación Proximal se produce cuando el sujeto reconoce el objeto como cercano, aunque los rayos incidan de forma paralela.⁶ El sistema visual posee mecanismos para identificar la proximidad de un objeto, como el caso de la relación entre la acomodación y la convergencia, o las pistas monoculares (La superposición de objetos, las sombras, el tamaño relativo, etc).⁷

Existen métodos prácticos propuestos para minimizar las variaciones inducidas por muchos de estos factores.⁸

Justificación

La agudeza visual (AV) se trata de medida de la función visual muy utilizada en la clínica diaria. Además, es una herramienta básica en el estudio del estado refractivo del sujeto, empleada por optometristas, oftalmólogos y profesionales de la visión.

La hipótesis de este estudio se basa en que las dimensiones reales de los gabinetes de refracción pueden diferir de las condiciones teóricas estandarizadas para la evaluación del estudio refractivo del paciente. Centrándonos en el tamaño del optotipo y la distancia a la que se muestra el test en relación al sujeto, podemos estudiar la variación en el tamaño angular inducido por esta discordancia, así como el efecto sobre la refracción en visión lejana.

Los **objetivos** de este estudio son:

- Calcular el tamaño angular del optotipo a partir de medidas experimentales.
- Compararlas con el tamaño angular correspondiente en condiciones ideales.
- Transponer a dioptrías el posible error inducido por la diferencia en el tamaño angular.
- Analizar si existe alguna diferencia entre la evaluación con pantalla ETDRS y Proyector de Optotipos.

Todos ellos, con el propósito principal de estudiar la influencia de las dimensiones de la sala sobre la evaluación del estado refractivo del paciente.

CAPÍTULO 1-Material y Método

Utilizamos en el estudio una cinta métrica. Después de realizar varias medidas, comprobamos de forma experimental su error instrumental, no sobrepasa la cifra de un milímetro. Este instrumento se aplica para la medida longitudinal del gabinete, que explicamos en el siguiente epígrafe.

El tamaño del optotipo es medido con una reglilla numérica, que comete un error máximo de 0.05 centímetros, según el mismo método empleado para la cinta métrica. Realizamos esta medida repetidas veces, ya que es importante conseguir un error mínimo en esta medida.

Las medidas se llevan a cabo en dos establecimientos diferenciados:

- **Instituto de Oftalmo-biología aplicada, IOBA:**

Centrándonos en los gabinetes utilizados de forma rutinaria, dentro de los 14 dedicados a las exploraciones visuales, encontramos alguna diferencia:

Estas estancias no se utilizan por igual, ya que algunos están especializados en el estudio de la AV clínica y otros en la refracción subjetiva del paciente. Por este motivo, los gabinetes asociados a la primera causa están dotados de una pantalla ETDRS, considerada un modelo de estandarización de la AV. Los gabinetes especializados en refracción subjetiva cuentan además con un proyector de optotipos, que hace más ágil la prueba.

- **Centro Óptico:**

Como ejemplo de un establecimiento comercial, consta de un gabinete de refracción. En el que mediante un proyector de optotipos se realiza la toma de AV y refracción subjetiva del paciente.

1.1 Medida X.

La medida X se trata de la distancia a la que se le presentan los optotipos al paciente. Esta se ve dividida en tres tramos:

1.1.1 Tramo A.

Para la realización de la medida necesitamos los puntos de inicio y final:

El punto de inicio se sitúa en el sillón de refracción del gabinete, en la superficie anterior, la más cercana a la cabeza del sujeto.

El punto final del Tramo A se sitúa en la pantalla donde se muestran los optotipos (Las pantallas ETDRS o las pantallas donde el proyector de optotipos forma la imagen). La altura es la misma que la del punto de inicio.

1.1.2 Tramo B

Esta longitud corresponde a la medida anatómica del ser humano desde el hueso occipital-parietal hasta el frontal. Este último punto es muy próximo al vértice corneal del paciente.

La longitud media para el caso de los hombres es de 176mm y para las mujeres de 171mm.⁹ Nosotros realizamos el estudio con el valor medio entre estos dos, ya que comprobamos que una variación de este rango causaba alteraciones mínimas en los resultados. De este modo se trata de una medida constante en el estudio:

$$B = 17.3cm$$

Como la fuente de este dato no proviene de una sociedad científica, realizamos medidas en cinco cráneos humanos para corroborarlo. Las medidas obtenidas no difieren demasiado del valor comentado, por lo que aceptamos este dato como válido.

1.1.3 Tramo C

Observando la forma de sentarse de los pacientes en el sillón podemos establecer que la postura idónea se presenta cuando el paciente deja un espacio entre el sillón y la parte de atrás de su cabeza. Este espacio corresponde al Tramo C, que sentando al paciente de una forma adecuada tiene un valor de aproximadamente 10 centímetros. Después de realizar varias medidas experimentales, estas no difieren en más de 5 centímetros:

$$C = 10.0 \pm 2.5cm$$

1.1.4. Cálculo de X

La distancia X no corresponde por tanto al Tramo A únicamente, sino que a este se le deben restar los valores de los Tramos B y C, resulta ser una distancia más exacta para la finalidad del estudio. El valor de X viene dado por la siguiente expresión:

$$X = A - (B + C)$$

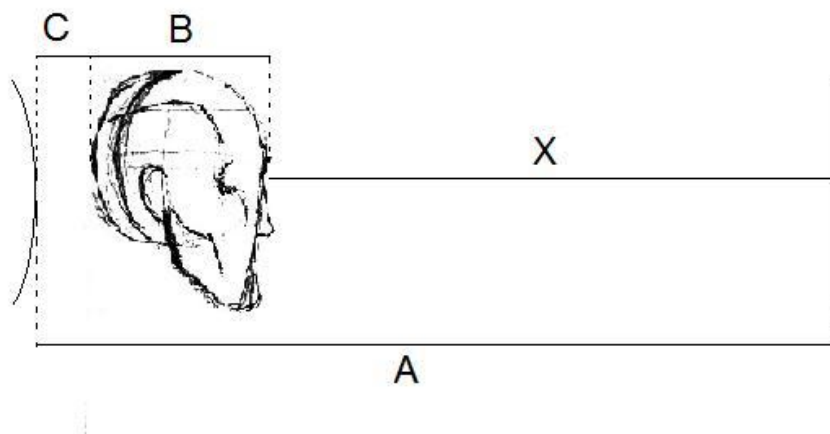


Ilustración 1. Esquema distancia X.

1.2. Medida Y

La medida Y se trata de la correspondiente al tamaño del optotipo. Durante este paso debemos tener en cuenta las distintas tipografías y escalas de los mismos:

Escala Logarítmica:

El tamaño del optotipo disminuye progresivamente en 0.1 unidades logarítmicas. El espacio entre filas y letras es el mismo que el tamaño del optotipo.^{1,2}

En el caso de los ETDRS, los optotipos son de escala logarítmica o de Bailey-Lovie, diseñados a finales de los 70 con el propósito de conseguir la máxima estandarización en la medida de la AV.²

Escala Aritmética:

Se trata de los optotipos más comunes en el ámbito de la optometría. La característica más significativa es que cada letra puede inscribirse en un cuadro cinco veces mayor que el grosor de la línea con la que es trazado.

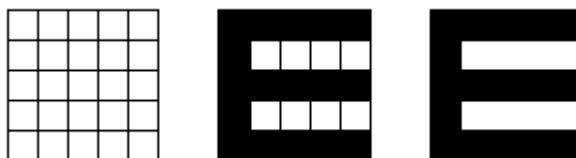


Ilustración 2. Optotipo Snellen¹⁰.

Existen pequeñas variaciones realizadas a lo largo del tiempo en estos optotipos, pudiendo clasificarlos en optotipos Serif y No Serif. Incluso se vinculan en muchas publicaciones a los optotipos de Landolt o anillos de Landolt.¹

1.2.1 Medidas con ETDRS

En el caso de los ETDRS el valor de Y es constante para cada una de las líneas de AV, ya que se trata de una pantalla única estandarizada. En nuestro caso, se trata de un modelo de ETDRS diseñado para exponer a 4 ó 2 metros. Cuando el paciente tiene una AV muy baja, se muestra a esta última distancia, mientras que en un caso habitual se muestra a 4 metros.

1.2.2 Medidas con Proyector de Optotipos.

En el caso de los Proyectores, este dato depende de la distancia a la que se proyectan los optotipos. Cada proyector está calibrado para mostrar un optotipo que subtienda un ángulo determinado (α). De este modo, este ángulo permanece constante, independientemente de la distancia a la que se exponga el optotipo. Sometemos esta calibración a estudio.

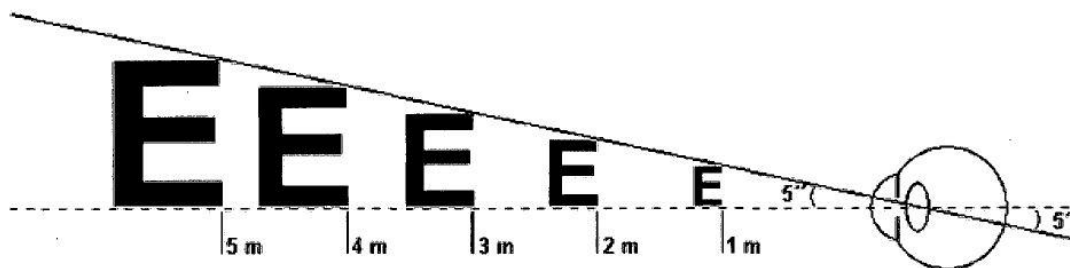


Ilustración 3. Ángulo constante, distancia X variable¹¹.

La magnitud de Y, por tanto, es constante para todos los ETDRS y depende de la distancia X en el caso de los Proyectores.

1.3. Cálculo del Ángulo α .

Con el fin de simplificar la escena, podemos resumir los cálculos obtenidos en triángulos. Se trata de un esquema de la situación en el que un sujeto identifica un optotipo. Los tres vértices del triángulo son: el vértice corneal del sujeto (I), y los márgenes superior (J) e inferior (K) del optotipo, tendríamos la siguiente situación:

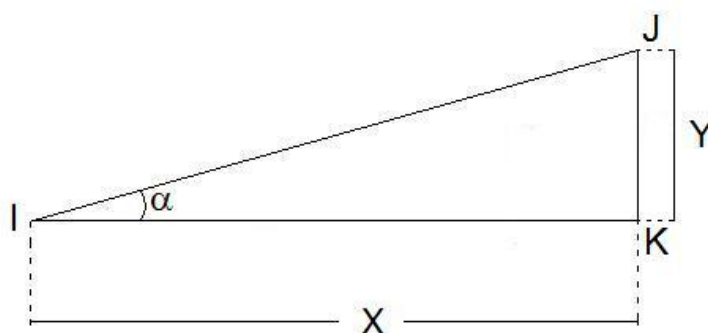


Ilustración 4. Esquema del ángulo subtendido por el optotipo.

Para calcular el ángulo α aplicamos las Funciones Trigonómicas.¹² Sabemos que Y es el cateto opuesto en esta situación, mientras que X se trata del cateto contiguo o adyacente.

La tangente del ángulo α se trata de la relación entre estos dos catetos. Tenemos entonces la siguiente ecuación:

$$\tan \alpha = \frac{C. Opuesto}{C. Adyacente} = \frac{Y}{X}$$

Conseguimos la tangente del ángulo deseado, solo hace falta ahora calcular la arcotangente de la misma (inversa de la tangente, \tan^{-1}). El resultado es el valor del ángulo que subtiende el optotipo (α). Debemos tener cuidado con las unidades de medida, lo transponemos a minutos de arco para que resulte directa la comparación con los datos teóricos ideales.

1.4. Transcripción a Dioptrías.

Con los datos obtenidos a partir de las medidas experimentales y los parámetros teóricos ideales, podemos realizar cálculos para obtener el error dióptrico inducido por su discordancia.

1.4.1. Triángulo Equivalente.

Podemos calcular el tamaño del optotipo (Y_{EQ}) que subtiende el ángulo hallado (α) para una distancia deseada.

Este enfoque guarda similitud con el caso de los proyectores de optotipos: si cambiamos de posición la pantalla (X), el tamaño del optotipo (Y) varía manteniendo constante el ángulo (α).

Denominamos **Triángulo Equivalente** al triángulo que tiene como X la medida ideal del infinito óptico (Tomamos el valor clínico anglosajón, 6 metros).

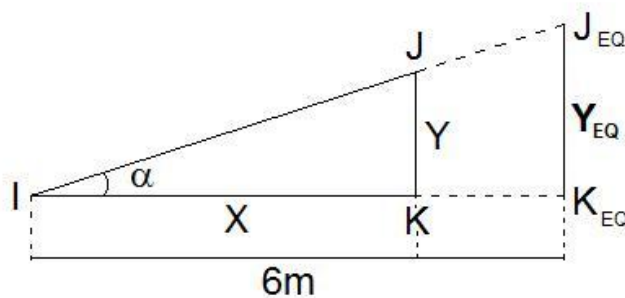


Ilustración 5. Esquema Formación del Triángulo Equivalente.

Aplicamos las Funciones Trigonómicas de un modo similar al comentado anteriormente. En este caso, despejamos en la ecuación de la tangente el cateto opuesto:

$$\tan \alpha = \frac{C. Opuesto(Y_{eq.})}{6m} = \frac{Y}{X},$$

$$C. opuesto (Y_{eq.}) = \tan(\alpha) \cdot 600(cm)$$

Cambiamos las unidades de metros a centímetros. Por tanto, se hace más interpretable el resultado.

Tenemos entonces el Triángulo Equivalente deseado, donde elegimos una distancia de 6 metros para hacer comparables las medidas a las condiciones ideales:

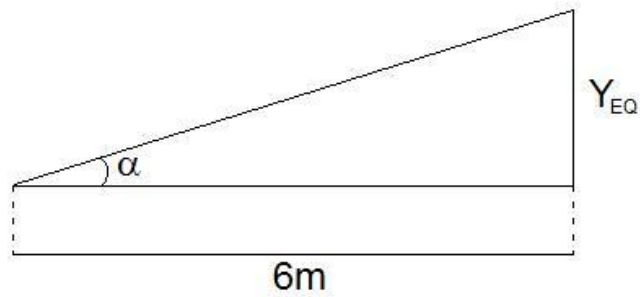


Ilustración 6. Triángulo Equivalente

1.4.2. Variación Horizontal.

Representamos dos triángulos similares: el comentado anteriormente (Triángulo Equivalente) y un triángulo asociado estrictamente a las condiciones ideales de medida de la AV (**Triángulo Ideal**):

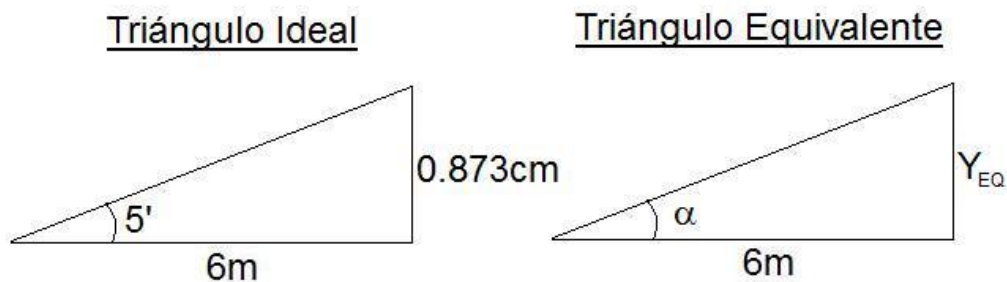


Ilustración 7. Esquema Triángulo Ideal frente Triángulo Equivalente.

Esta vez, calculamos la distancia de representación del test (X_{EQ}) que hace falta para que un optotipo de tamaño deseado subtienda el ángulo experimental (α).

Tomamos el valor de 0.873 centímetros para el tamaño del optotipo, calculado a partir de los parámetros teóricos anglosajones.

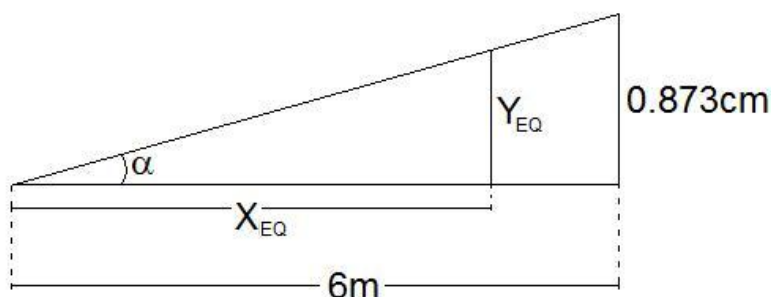


Ilustración 8. Variación horizontal.

Podemos obtener entonces una diferencia en la distancia X entre medidas teóricas (6m) y medidas experimentales (X_{EQ}). Cabe destacar, que la imagen del optotipo puede estar más cerca que su correspondiente en las condiciones ideales, o más lejos, según el ángulo que subtienda sea mayor o menor, correspondientemente.

1.4.3 Transcripción a Dioptrías.

Suponemos ahora, que el eje horizontal, donde se sitúan las medidas de X, se trata del eje óptico del paciente.

La medida de X_{EQ} puede ser traspuesta a dioptrías realizando la inversa de la distancia en metros. De esta forma, tratamos las medidas realizadas para este parámetro como distancias focales.

Una lente de 0.167D, considerada como una lente delgada, tiene una focal de 6m. Lo mismo ocurre para la distancia de X_{EQ} .¹³

$$P_x = \frac{1}{X_{EQ}}$$

Donde P_x es la potencia correspondiente a la distancia X_{EQ} .

Tenemos por un lado, la potencia necesaria en el caso de los 6 metros (0.167D). Por otro, los valores de P_x para cada una de las medidas X_{EQ} . Realizamos la diferencia entre el valor ideal y los datos obtenidos para P_x :

$$\text{Error Dióptrico} = \frac{1}{6 \text{ metros}} - \frac{1}{P_x}$$

Este valor se trata del error dióptrico inducido por la variación en el tamaño angular del optotipo. Todo ello debido a las diferencias entre las condiciones ideales de medida de la agudeza visual clínica y las medidas realizadas en los gabinetes.

Varela P. Análisis de las condiciones de evaluación de la función visual: Una aproximación a la práctica.

CAPÍTULO 2- Resultados

2.1 Medida X.

Como ya hemos mencionado, la medida X es la resultante de la siguiente ecuación:

$$X = A - (B + C)$$

2.1.1 Tramo A

Los resultados para el tramo A fueron los siguientes:

En el IOBA, realizamos medidas en los 14 gabinetes del instituto, aunque como hemos mencionado, no todos se utilizan de la misma forma.

Tabla 1. Tramo A (cm) IOBA

Nº Gabinete	ETDRS	Proyector
G01	418.8	-
G02	415.3	-
G03	418.9	480.9
G04	404.5	439.5
G05	426.6	465.2
G06	446.9	489.8
G07	-	487.1
G08	427.0	487.0
G09	431.7	-
G10	426.1	-
G11	422.3	-
G12	393.1	434.4
G13	381.0	-
G14	423.4	-

Realizando el mismo proceso en el Centro Óptico, obtenemos:

Tabla 2. Tramo A (cm) Óptica

Nº Gabinete	Proyector
G'01	334.5

2.1.2 Tramo B

Como ya hemos comentado, se realiza un estudio con la intención de corroborar el dato electrónico obtenido. Las medidas halladas tienen un valor medio de:

$$B_{exp.} = 17.6cm$$

Como vemos que los casos experimentales tienen un valor aproximado, tomamos el valor bibliográfico como bueno, siendo el Tramo B final:

$$B = 17.3cm$$

2.1.3 Tramo C

En relación con el tramo C debemos aclarar que no todos los sillones de refracción son iguales, por lo que comprobamos que a los correspondientes al IOBA todos tenían la similitud en esta medida:

$$C = 10 \pm 2.5cm$$

Esta cifra depende en su mayor parte de la anatomía del sujeto, por lo que puede ser importante la rigurosidad a la hora de posicionar bien al paciente.

Por el contrario, en la Centro Óptico, la parte posterior del cráneo correspondiente a los huesos occipital y parietal contacta con el sillón de refracción, haciendo el tramo C nulo en este caso. En la óptica, X se trata de la diferencia entre los tramos A y B:

$$X = A - B$$

2.1.4 Cálculo de X.

Las resultantes para el cálculo de la distancia X, en los gabinetes del IOBA, fueron las siguientes:

Tabla 3. Medida X (cm) IOBA

Nº Gabinete	ETDRS	Proyector
G01	391.5	-
G02	388.0	-
G03	391.6	453.6
G04	377.2	412.2
G05	399.3	437.9
G06	419.6	462.5
G07	-	459.8
G08	399.7	459.7
G09	404.4	-
G10	398.8	-
G11	395.0	-
G12	365.8	407.1
G13	353.7	-
G14	396.1	-

En el caso de la Óptica:

Tabla 4. Medida X (cm) Óptica

Nº Gabinete	Proyector
G'01	317.2

2.2 Tamaño de los Optotipos, Y.

Los resultados de Y (en cm) para todos los ETDRS son constantes respecto a la distancia X, tal y como hemos comentado en el apartado 1.2.1. Los valores obtenidos para esta medida experimental son:

Tabla 5. Tamaño del Optotipo Y (cm) ETDRS

AV	0.1	0.12	0.16	0.20	0.25	0.32	0.4	0.5	0.63	0.8	1.0	1.25
	5.80	4.61	3.65	2.90	2.32	1.86	1.45	1.15	0.90	0.75	0.61	0.46

Varela P. Análisis de las condiciones de evaluación de la función visual: Una aproximación a la práctica.

En cambio, en el caso de los proyectores, obtenemos:

Tabla 6. Tamaño del Optotipo Y (cm) Proyectores

AV	Y_{G04}	Y_{G05}	Y_{G06}	Y_{G07}	Y_{G08}	Y_{G'01}
0.05	12.20	13.05	13.60	13.5	13.88	-
0.1	6.10	6.50	6.80	6.75	6.98	4.60
0.16	3.80	4.05	4.35	4.20	4.65	2.32
0.2	3.05	3.28	3.40	3.40	3.47	1.53
0.3	2.05	2.15	2.25	2.25	2.30	1.22
0.4	1.51	1.60	1.70	1.70	1.71	0.91
0.5	1.31	1.41	1.35	1.30	1.40	0.75
0.6	1.00	1.05	1.20	1.10	1.26	0.65
0.7	0.85	0.90	0.95	0.98	0.99	0.58
0.8	0.75	0.81	0.83	0.85	0.85	0.50
0.9	0.68	0.71	0.72	0.75	0.77	0.47
1.0	0.60	0.65	0.67	0.65	0.69	0.39
1.2	0.51	0.53	0.55	0.57	0.59	-
1.5	0.42	0.45	0.43	0.45	-	-
2.0	0.32	0.32	0.32	0.31	-	-

El subíndice indica el gabinete en el que hemos realizado la medida. El valor de Y_{G'01} hace referencia al tamaño del optotipo medido en el Centro Óptico.

2.3 Cálculo α

El valor del ángulo se indica en minutos de arco. Aplicando el proceso indicado en el Epígrafe 1.3, obtenemos los siguientes valores para α :

Tabla 7. Tamaño angular α (minutos de arco) ETDRS

- En el caso de los ETDRS:

AV	G01	G02	G03	G04	G05	G06	G08	G09
0.1	50.93	51.39	50.91	52.86	49.93	47.52	49.88	49.30
0.12	40.48	40.84	40.47	42.01	39.69	37.77	39.65	39.19
0.16	32.05	32.34	32.04	33.26	31.42	29.9	31.39	31.03
0.20	25.46	25.69	25.46	26.46	24.97	23.76	24.94	24.65
0.25	20.37	20.56	20.37	21.14	19.97	19.00	19.95	19.72
0.32	16.33	16.48	16.33	16.95	16.01	15.24	16.00	15.81
0.40	12.73	12.85	12.73	13.21	12.48	11.88	12.47	12.33
0.50	10.10	10.19	10.10	10.48	9.90	9.90	9.42	9.78
0.63	7.90	7.97	7.90	8.20	7.75	7.37	7.37	7.65
0.80	6.59	6.65	6.58	6.84	6.46	6.14	6.45	6.38
1.0	5.32	5.40	5.36	5.56	5.25	5.00	5.25	5.19
1.25	4.04	4.08	4.04	4.19	3.96	3.77	3.96	3.91

Realizamos los cálculos para los gabinetes más utilizados a la hora de determinar la AV del paciente (G01, G02, G03, G04, G05, G06, G08, G09).

- En el caso de los proyectores de optotipos:

Tabla 8. Ángulo α (minarc) IOBA y Óptica Proyectores

AV	α G04	α G05	α G06	α G07	α G08	α G'01
0.05	101.72	102.42	101.06	100.9	103.77	-
0.1	50.87	51.62	50.54	50.46	52.19	49.85
0.16	31.69	31.79	32.33	31.40	34.77	-
0.2	25.44	25.75	25.27	25.42	24.37	24.92
0.3	17.10	16.88	16.72	16.82	17.20	16.58
0.4	12.31	12.56	12.64	12.71	12.71	13.22
0.5	10.84	10.99	10.03	9.72	10.47	9.86
0.6	8.34	8.24	8.92	8.22	9.35	8.13
0.7	7.09	7.07	7.06	7.33	7.48	7.04
0.8	6.25	5.95	6.17	6.36	6.36	6.29
0.9	5.67	5.50	5.35	5.61	5.76	5.42
1.0	5.00	5.10	4.98	4.86	5.25	5.09
1.2	4.17	4.16	4.09	4.26	4.49	4.23
1.5	3.34	3.53	3.20	3.36	-	-
2.0	2.50	2.51	2.38	2.32	-	-

En este caso realizamos los cálculos para los gabinetes empleados normalmente por los oftalmólogos y optometristas para el estudio del error refractivo del paciente (G04, G05, G06, G07, G08, G'01).

2.4 Cálculo Dioptrías.

A la hora de estudiar la diferencia en dioptrías, nos centramos en realizar comparaciones con la **AV unidad** (Según la Escala Decimal). Antes de realizar el cálculo del error inducido, debemos obtener los valores de Y_{EQ} y X_{EQ} , comentados en los epígrafes 1.4.1 y 1.4.2:

2.4.1 Valores Y_{EQ} y X_{EQ} :

- Para el caso de los ETDRS:

Tabla 9. Valores Y_{EQ} y X_{EQ} (cm) ETDRS

Gabinete	G01	G02	G03	G04	G05	G06	G08	G09
Y_{EQ}	0.929	0.942	0.935	0.970	0.916	0.873	0.916	0.906
X_{EQ}	638.7	647.7	642.9	666.9	629.8	600.2	629.8	622.9

- En el caso de los proyectores de optotipos:

Tabla 10. Valores YEQ y XEQ (cm) Proyectores

Gabinete	G04	G05	G06	G07	G08	G'01
Y_{EQ}	0.873	0.890	0.869	0.848	0.916	0.888
X_{EQ}	600.2	611.9	597.5	583.0	629.8	610.5

2.4.2 Variación del tamaño angular ($\Delta\alpha$) y error inducido (ΔPot):

Los valores obtenidos para la variación en el tamaño angular ($\Delta\alpha$ en minutos de arco) y su correspondiente error dióptrico (ΔPot), son los siguientes:

- Para el caso de los ETDRS:

Tabla 11. Variación $\Delta\alpha$ (minutos de arco) y ΔPot (D) ETDRS

Nº Gabinete	$\Delta\alpha$ (minarc)	ΔPot (D)
G01	0.32	10.1×10^{-3}
G02	0.40	165.1×10^{-3}
G03	0.36	11.12×10^{-3}
G04	0.56	165.2×10^{-3}
G05	0.25	7.89×10^{-3}
G06	0.00	5.55×10^{-5}
G08	0.25	7.88×10^{-3}
G09	0.19	6.13×10^{-3}

- Para el caso de los proyectores de optotipos:

Tabla 12. Variación de $\Delta\alpha$ (minutos de arco) y ΔPot . (D) Proyectores

Nº Gabinete	$\Delta\alpha$ (minarc)	ΔPot . (D)
G04	0.00	0.00
G05	0.10	3.24×10^{-3}
G06	0.02	0.697×10^{-3}
G07	0.14	4.86×10^{-3}
G08	0.23	7.89×10^{-3}
G'01	0.09	2.88×10^{-5}

Varela P. Análisis de las condiciones de evaluación de la función visual: Una aproximación a la práctica.

Por último, representamos en una gráfica los valores del tamaño angular correspondientes a cada línea de agudeza visual.

La línea verde corresponde al tamaño angular medido en el caso de los proyectores. Realizamos la media de los datos obtenidos en la Tabla 8, para cada una de las líneas de AV (en Escala Decimal).

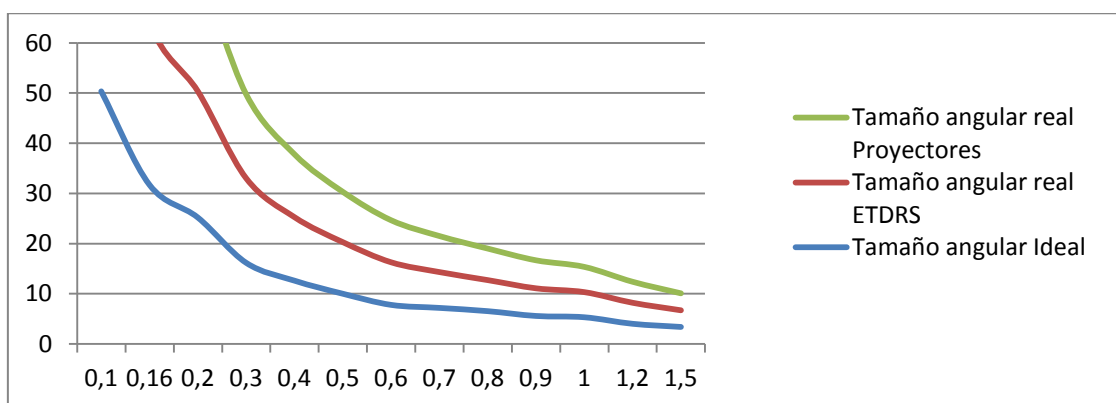
La línea roja, es la resultante de la media de los valores obtenidos en la Tabla 7. Representa el tamaño angular real de los ETDRS estudiados.

La línea azul representa los valores ideales de tamaño angular. Para cada línea de AV corresponde un valor teórico que viene dado por la expresión:

$$AV = \frac{1}{\alpha}$$

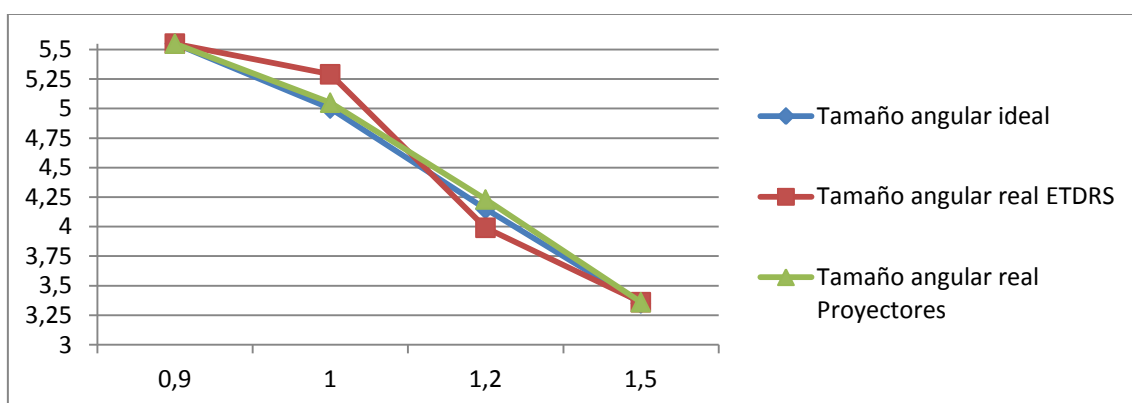
De esta forma calculamos el tamaño angular del mínimo detalle, multiplicando por cinco este valor, obtenemos el tamaño angular del optotipo ideal.²

Gráfica 1. Representación del Tamaño angular (minutos de arco) en el eje de ordenadas respecto AV (Escala Decimal) en el eje de abscisas.



Esta gráfica, representa la tendencia del tamaño angular. Para valorar mejor lo que ocurre en AV mayores a 0.9 (en Escala Decimal), representamos estos valores en una escala aumentada:

Gráfica 2. Representación del Tamaño angular (minutos de arco) en el eje de ordenadas, respecto AV (Escala Decimal) en el eje de abscisas.



CAPÍTULO 3- Discusión.

Este estudio intenta proporcionar datos al optometrista o profesional de la visión, ayudándole en su labor rutinaria. Los temas comentados tienen el propósito de servir como información práctica, a modo similar al de una Guía Clínica. Existen casos, en los que tener en cuenta errores de este calibre resulta complicado, pero puede aportar conocimientos útiles a la hora de conocer el lugar donde trabajamos. El estudio realizado debe ser analizado desde el criterio propio de cada profesional, ya que no en todas las consultas se exige la misma precisión.

La influencia de la acomodación proximal debe estar presente a la hora de interpretar este estudio o temas relacionados con el mismo. Por ejemplo, el error inducido por la variación del tamaño angular en el Centro Óptico resulta mínimo, pero estamos induciendo otro error adicional por la distancia de representación del test, que induce un fallo mayor en este caso. Cuanto menor sea la distancia X, mayor será la influencia de este error producido por la acomodación del paciente.

Analizando la Grafica 1, observamos que el tamaño angular de los ETDRS se acerca más al tamaño angular ideal que en el caso de los Proyectores de optotipos. Comprobando otros artículos relacionados con el tema, corroboramos este aspecto.^{13, 14}

Los ETDRS son considerados un sistema de medida estandarizado, por lo que existe una progresión perfectamente definida entre líneas, al igual que los espacios entre las mismas. Esto proporciona una mayor precisión a la hora de estudiar el estado refractivo del paciente.

En el caso de los proyectores de optotipos, existen factores que alteran el tamaño del optotipo. Para empezar, la calibración del mismo es un tema importante que debe estar presente. Por otro lado, las cartas de Snellen tienen diferentes formatos, variando el espacio entre las letras.

Pero esta tendencia cambia cuando se estudian AV elevadas, por encima de las 0.9 unidades en escala decimal. En estas circunstancias, al medir con los ETDRS cometemos una variación en el tamaño angular mayor, y por tanto, un error dióptrico mayor. Esto puede explicarse, en el caso del IOBA, a que sus dispositivos son móviles, el cambio de situación de estos en el gabinete induce un error de paralaje.

En la Tabla 14 mostramos los tamaños angulares necesarios para causar un error dióptrico determinado.

Tabla 13. Errores por Tendencia

α (minutos de arco)	Error Dióptrico (D)
12.50	0.25
20.01	0.50
35.01	1.00

Los valores de esta variación los calculamos para una AV de unidad.

CONCLUSIONES

1. Los valores de tamaño angular obtenidos a partir de las medidas reales son prácticamente todos mayores que el subtendido por las condiciones ideales. La causa de estos resultados puede estar vinculada a los Tramos B y C, correspondientes a la medida anatómica craneal del ser humano y al espacio entre la cabeza del sujeto y el sillón de refracción. De este modo, si contamos con la distancia desde el sillón de refracción al ápex corneal del paciente, la longitud a la que presentamos los optotipos se ve reducida. Al disminuir la distancia de presentación del test, estamos induciendo un aumento en el tamaño angular del optotipo.
2. Según los resultados obtenidos en el estudio, el error inducido por los ETDRS es menor que el inducido por los proyectores en términos generales. Centrándonos en AV elevadas, mayores de 0.9 en escala decimal, esto cambia, siendo más fiables los proyectores. Esto puede deberse a la movilidad del test empleado para los ETDRS.
3. Los resultados obtenidos estudiando el proyector del gabinete 4 son prácticamente iguales a los datos teóricos ideales. El error inducido en esta sala, es prácticamente nulo.
4. Aunque el error inducido por la variación en el tamaño angular del optotipo y la distancia de presentación del test varía en los gabinetes estudiados, en estos casos resulta muy complicado tener en cuenta un error de este calibre. Puede ser innecesario afinar tanto la medida de la AV, por lo que este error se considera despreciable.
5. EL tamaño angular necesario para inducir efectos dióptricos importantes, resulta muy alterado respecto al considerado como ideal. Es responsabilidad del optometrista conocer el error que induce su sala de refracción. No todos los criterios son iguales sobre lo que resulta despreciable durante el estudio del estado refractivo de un paciente, pero si debemos intentar reducir este error en la medida de lo posible.

BIBLIOGRAFÍA

1. Bailey I L: Visual Acuity. En Borish I M: Borish's Clinical Refraction; William J Benjamin (Editor). Pág. 179-213.
2. R Martín, G Vecilla: Agudeza Visual. En R Martín, G Vecilla: Manual de Optometría; Madrid: Panamericana. 2012. Pág. 3-20.
3. Artigas J M, Capilla P, Felipe A, Pujol J. Visión en detalles. En: Artigas J M, Capilla P, Felipe A, Pujol J: Óptica Fisiológica, Psicofísica de la Visión; Nueva York: Interamericana McGraw-Hill. 1995: Pág. 261-293.
4. Arranz I, Aparicia J A, Isolino L A, Mar Sardaña S. Estudio de la influencia de la luminancia ambiental sobre la medida de la sensibilidad al contraste de letras. Uva Tesis Doctoral. 2010: Pág. 1-140.
5. LeGrand Y: El Examen de la Agudeza Visual. En LeGrand Y, Óptica Fisiológica, El Ojo como instrumento óptico: Madrid Sociedad Española de Optometría-Asociación de Amigos de las Escuelas de Óptica. 1991: Pág, 255-258. Tomo 1.
6. Martín R, Vecilla G: Acomodación. En Martín R, Vecilla G: Manual de Optometría; Madrid: Panamericana. 2012: Pág. 77-91.
7. Artigas J M, Capilla P, Felipe A, Pujol J. Visión del Espacio. En Artigas J M, Capilla P, Felipe A, Pujol J: Óptica Fisiológica, Psicofísica de la Visión; Nueva York: Interamericana McGraw-Hill. 1995: Pág. 430-439.
8. LeGrand Y: Examen y corrección de la vista. En LeGrand Y, Óptica Fisiológica, El Ojo como instrumento óptico: Madrid, Sociedad Española de Optometría-Asociación de Amigos de las Escuelas de Óptica. 1991: Pág. 305-307. Tomo 1.
9. Yahoo Respuestas. Medidas Craneales:
<https://es.answers.yahoo.com/question/index?qid=20100724081357AAYDAgJ>
(4 de Mayo de 2014).
10. Wikimedia Commons. Imagen: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Esnellen.png>.
(8 de Mayo de 2014).
11. ONCE. Imagen: http://dc430.4shared.com/doc/o_jS4N8W/preview.html.
(4 de Mayo de 2014).
12. Baldor J A: Relaciones entre las funciones trigonométricas, identidades y ecuaciones trigonométricas. En: Baldor J A. Geometría plana y del espacio y Trigonometría. Méjico, Publicaciones Cultural. 2004. Pág 327-336
13. Y LeGrand: Nociones de Óptica-Recordatorio. En Y Legrand, Óptica Fisiológica, El Ojo como instrumento óptico: Madrid Sociedad Española de Optometría-Asociación de Amigos de las Escuelas de Óptica. 1991: Pág,11-31. Tomo 1.

Varela P. Análisis de las condiciones de evaluación de la función visual: Una aproximación a la práctica.

14. Kalpana S, Karthick J, Jayarajini S. Comparison of static visual acuity between Snellen and Early treatment diabetic retinopathy study charts. International Journal of Educational Research and Development Vol. 2.(3) 2013.
[http://www.academereseearchjournals.org/journal/ijerd/archive/march-2013-vol.-2-\(3\)/comparison-of-static-visual-acuity-between-snellen-and-early-treatment-diabetic-retinopathy-study-charts](http://www.academereseearchjournals.org/journal/ijerd/archive/march-2013-vol.-2-(3)/comparison-of-static-visual-acuity-between-snellen-and-early-treatment-diabetic-retinopathy-study-charts). (6 de Mayo de 2014).
15. Peter K. Prospective Evaluation of Visual Acuity Assessment: A Comparison of Snellen Versus ETDRS Charts in Clinical Practice (An AOS Thesis). American Ophthalmological Society, National Center for Biotechnology Information. 2009.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2814576/#!po=4.54545>
(6 de Mayo del 2014).

OTRA BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

16. Appel S D, Brilliant R L. The Low Vision Examination. En: Brilliant R L: Essentials of Low Vision Practice; Boston: Butterworth-Heinemann. 1999: Pág. 25-34.
17. Carbón Entintado. Imagen, <http://carbonentintado.wordpress.com/tag/perfil-de-la-cabeza/> (22 de Mayo de 2014).
18. Ted M Montgomery. Anatomy, Physiology ang Patology of human eye. Visual Acuity. http://www.tedmontgomery.com/the_eye/acuity.html (21 de Mayo de 2014).

Varela P. Análisis de las condiciones de evaluación de la función visual: Una aproximación a la práctica.