



Universidad de Valladolid

FACULTAD DE CIENCIAS

Grado en Óptica y Optometría

MEMORIA TRABAJO FIN DE GRADO TITULADO

“Efecto del deslumbramiento en un simulador dinámico”

Presentado por Jesús Manuel López Infante

Tutelado por: Dr. Miguel José Maldonado López
Alfredo Holgueras López

Tipo de TFG: Revisión Investigación

En Valladolid a, 24 de mayo de 2019

Índice

ÍNDICE

ABREVIATURAS	2
RESUMEN	3
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1. Importancia de la conducción en la sociedad.....	4
1.2. Deslumbramiento	4
1.3. Dinámica Pupilar	5
1.4. Sistema de Optimización durante la conducción.....	6
2. JUSTIFICACIÓN	7
3. HIPOTESIS	7
4. OBJETIVOS	8
5. METODOLOGÍA	8
5.1. Participantes	8
5.2. Método	8
5.3 Análisis estadístico.....	10
6. RESULTADOS	11
7.1. Variable Principal	11
7.2. Variable Secundaria	13
7.3. Variable Control	13
7.4. Diferencia de grupos	14
7.5. Asociación entre variables	15
7. DISCUSIÓN	17
8.1. Discusión de métodos utilizados	17
8.2. Discusión de resultados obtenidos.....	18
8.3. Limitaciones del Estudio.....	18
8. CONCLUSIONES	19
10. BIBLIOGRAFÍA	20
ANEXOS	21
Anexo 1. Consentimiento informado	21
Anexo 2. Hoja de recogida de resultados.....	25

Abreviaturas

AV	Agudeza visual
AVcc	Agudeza visual con corrección
BAT	Brightness Acuity Test
DH	Deslumbramiento halógeno
DX	Deslumbramiento xenón
ETDRS	Early Treatment for Diabetic Retinopathy Study
IOBA	Instituto Universitario de Oftalmobiología Aplicada
logMAR	Logaritmo del mínimo ángulo de resolución
logSC	Logaritmo de sensibilidad al contraste
mm	Milímetros
µm	Micras
OD	Ojo derecho
OI	Ojo izquierdo
SC	Sensibilidad al contraste
SD	Sin deslumbramiento
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences

Resumen

Objetivo: El objetivo principal de este estudio se basa en evaluar la influencia y efectividad de los sistemas adaptativos y pasivos a la hora de reducir el deslumbramiento incapacitante en la conducción nocturna y la valoración de la sensibilidad al contraste (SC) y los efectos de los deslumbramientos

Metodología: La metodología empleada incluye una serie de pruebas como son: medida de la AVcc, medida objetiva de la refracción objetiva con el autorefractómetro, medida objetiva del diámetro pupilar, medida de la aberrometría corneal, medida de la pupilometría dinámica, efectos de los deslumbramientos en un simulador semi-dinámico. Se buscaron personas de entre 18 y 30 años.

Resultados: Se reclutaron un total de 22 sujetos entre 18 y 30 años. El deslumbramiento de una fuente xenón produjo una disminución media de en torno a 0.30 logSC mientras que una fuente halógena produjo una reducción de media de 0.25 logSC en condiciones mesópicas con respecto a la ausencia de deslumbramiento ($p < 0.05$). El grado de malestar experimentado fue de 4.955 unidades en escala de Boer en las luces xenón y de 5.591 unidades en escala de Boer en las luces halógenas, considerando estos deslumbramientos como aceptables (valor de 5 en la escala de Boer, que se considera aceptable). Solamente encontramos una mejora estadísticamente significativa al utilizar el filtro CPF 450 bajo DX en relación no filtro ($P = 0,011$)

Conclusiones: De los resultados encontrados en este estudio se deduce que el tipo de fuente luminosa produce un nivel de molestia diferente (siendo mayor la molestia en la fuente deslumbrante de xenón), pero no produce una disminución destacada de la SC.

En población adulta con edad inferior a 30 años, el único filtro que demuestra una eficacia en disminuir el impacto de fuentes deslumbrantes sobre la SC es el CPF 450, para el deslumbramiento DX.

Palabras clave: Essidrive, CPF 450, Drivesafe, nivel de molestia, deslumbramiento, sensibilidad al contraste, condiciones mesópicas, dinámica pupilar.

1. Introducción

1.1 Importancia de la conducción en la sociedad.

La conducción es un pilar de la sociedad gracias al cual se han reducido los tiempos de desplazamiento y han mejorado las comunicaciones. Según el Ministerio de Transición Ecológica del Gobierno de España, más del 79% de los desplazamientos que se realizan en España se producen en carretera. Siguiendo las informaciones de este sondeo, cada habitante de España de media posee un desplazamiento en coche de 28,9 km por día, dedicando en torno a 666 horas anuales a utilizar este medio de transporte.¹

Conducir requiere una coordinación correcta entre el sistema motor, cognitivo y sensorial. Esta tarea no siempre se realiza en las mejores condiciones como en el caso de la conducción nocturna, siendo tres veces más probable sufrir un accidente fatal por la noche que por el día.^{2,3}

1.2 Deslumbramiento

El deslumbramiento es la situación en la que se produce un efecto por la entrada de una cantidad de luz excesiva en el sistema visual mayor que a la luminancia a la que se adaptan los ojos. Causando una molestia, incomodidad o pérdida en la calidad visual.⁴

Podemos diferenciar dos tipos de deslumbramiento:

- El *deslumbramiento incómodo* es causado por una luminancia muy intensa. Se trata de una respuesta a una luz más intensa de lo normal que puede llegar a producir molestia ocular, parpadeo y lagrimeo.
- El *deslumbramiento incapacitante* es la pérdida del rendimiento visual como resultado de que un objeto de alta luminancia produzca molestias que nos dificulta realizar cualquier actividad. Está producido por la dispersión ocular que reduce el contraste de las imágenes retinianas debido a la producción de un velo, siendo los efectos mayores con objetos de bajo contraste.

La magnitud del deslumbramiento dependerá del ángulo de la luz respecto al deslumbramiento, siendo mayor el deslumbramiento cuanto menor sea el ángulo.

El deslumbramiento disminuye la percepción de distancia, aumenta el tiempo de reacción y reduce la probabilidad de detección de algunos objetos o estímulos, como lo pueden ser los peatones, que cuesta más detectarlos tras sufrir un deslumbramiento.⁵

El deslumbramiento nocturno puede provocar una falta de visión temporal a las personas que conducen por la noche, incrementándose la posibilidad de sufrir un accidente. El aumento de la sensibilidad al deslumbramiento puede considerarse como un factor de riesgo en los accidentes de tráfico.⁶

Estos deslumbramientos no afectan principalmente a la agudeza visual (AV), sino, a la sensibilidad al contraste (SC), definida como la capacidad del sistema visual para discernir entre dos objetos o imágenes sobre un mismo fondo. La reducción de la SC se relaciona directamente con la edad del conductor, su dinámica pupilar y la opacificación del cristalino.⁷

La cantidad de energía necesaria para poder generar esta reducción de la SC en adultos jóvenes es mayor a la necesaria en personas mayores, siendo esta como mínimo de 125 lux en condiciones mesópicas.⁸

1.3 Dinámica pupilar

La pupila es un orificio localizado en la parte central del ojo que actúa como diafragma regulando la entrada de luz hacia el interior del ojo.

La pupila se encuentra controlada principalmente por el sistema parasimpático, a través de la inervación del III par craneal generando miosis, pupila de menor tamaño al habitual debido a la contracción del esfínter de la pupila. El sistema simpático produce la midriasis, diámetro pupilar mayor al normal, por la contracción del músculo dilatador de la pupila.⁹

En situaciones fotópicas (alta luminancia), la pupila se encuentra contraída para disminuir la cantidad de luz que entra en el ojo y poder evitar las luces parasitas que podrían afectar a la visión de la persona. En cuanto a las situaciones mesópicas o escotópicas (luminancia media o baja), como puede ser la conducción nocturna, la pupila se encuentra dilatada, con lo cual es más sensible a posibles deslumbramientos.

1.4 Sistemas de optimización de la visión durante la conducción

Para reducir la afección de este deslumbramiento existen filtros de absorción selectiva que tratan de reducir un porcentaje de la luz visible, que es el ancho del espectro electromagnético que el ojo humano puede captar, este ancho abarca desde longitudes de onda de 390 a 750 nm. Uno de ellos es el filtro amarillo CPF 450, que evita el paso del espectro que se encuentra en los 450 nm correspondiente con la luz azul, también llamada longitud de onda corta.¹⁰

En el mercado podemos encontrar otro tipo de ayudas contra los deslumbramientos, los que se denominan como “filtros o lentes de conducción”, siendo el caso de las lentes Drivesafe de Zeiss y Crizal Drive de la marca Essilor. Estas lentes al igual que el CPF impiden el paso de las longitudes de onda alrededor de los 450 nm, en el caso del Drivesafe, mientras que el Crizal Drive impide el paso en torno a los 507 nm. DE esta forma se reducen las molestias ocasionadas por las luces de los coches mejorando así la conducción nocturna

Con la ayuda de estos filtros no se consigue aumentar la AV o la nitidez en la visión, sino que se mejora la SC. Esta mejoría se da sobre todo en personas de mayor edad en condiciones de baja iluminación y con deslumbramientos tales como los que se producen en la conducción nocturna.⁴

2. Justificación

Según los datos del Ministerio de Fomento y del Ministerio de Transporte, han aumentado los desplazamientos, especialmente los que se realizan en turismos.

Un gran número de estos desplazamientos son realizados a horas nocturnas y por personas jóvenes a las que les afecta, aunque en menor medida que a personas de mayor edad, el deslumbramiento, incapacitándolos ante los posibles obstáculos que se encuentren en la carretera, pudiendo provocar un accidente.

Es por ello que, consideramos necesario estudiar las reacciones de los jóvenes en la conducción nocturna para desarrollar posibles soluciones que disminuyan los diferentes problemas que se manifiestan en los momentos de menor luminosidad.

3. Hipótesis

Las hipótesis principales en las que se fundamenta la investigación son:

- Los deslumbramientos generan una pérdida en la sensibilidad al contraste y en el reconocimiento de objetos y obstáculos, debido a que el exceso de luz forma una respuesta fotoquímica mayor en la retina, haciendo que ésta pierda su funcionalidad momentáneamente y se aletargue
- Los filtros ópticos, son eficaces a la hora de reducir las molestias ocasionadas por el exceso de luz deslumbrante.
- La dinámica pupilar, permite que haya una visión sin aberraciones ópticas ni fenómenos fotópicos que dificulten, de manera incluso incapacitante, la conducción.

4. Objetivos

El objetivo principal de este estudio se basa en evaluar la influencia y efectividad de los sistemas pasivos a la hora de reducir el deslumbramiento incapacitante en la conducción nocturna en personas jóvenes.

Los objetivos específicos de este estudio son:

- Valorar la sensibilidad al contraste y el efecto de los deslumbramientos en un simulador semidinámico de conducción nocturna.
- Estudiar cómo afectan las distintas intensidades lumínicas en la función visual.
- Comparar diferentes filtros ópticos para ver su desempeño a la hora de reducir la incapacitación de distintas intensidades deslumbrantes.

5. Metodología

5.1 Participantes

Los participantes de este estudio fueron todos mayores de edad y sin patología que les produjera una disminución de la AV.

Fueron excluidas aquellas personas que estén bajo medicación que afecte al sistema visual.

Los participantes en el estudio fueron reclutados por los alumnos del Grado de Óptica y Optometría. Todos ellos fueron debidamente informados sobre la metodología del trabajo y los riesgos asociados antes de la realización del estudio a través del consentimiento informado, el cual firmaron antes del inicio del estudio.

5.2 Método

Las pruebas realizadas fueron las siguientes:

- Medida de la agudeza visual del paciente con corrección (AVcc) mediante el optotipo Early Treatment Diabetic Retinopathy Study (EDTRS).
- Medida objetiva de la refracción del sujeto mediante el Autorefractómetro Nidek ARK 30
- Medida objetiva del diámetro pupilar mediante un sistema con doble cámara de Scheimpflug Galilei G4 (Ziemer)
- Medida de la aberrometría corneal con el dispositivo WaveLight® Topolyzer™ VARIO a través de los diferentes resultados de los polinomios de Zernike.

- Medida de la pupilometría dinámica con el dispositivo WaveLight® Topolyzer™ VARIO. En esta prueba, el paciente será estimulado durante un minuto por una luz que se enciende y se apaga, donde podremos observar el tamaño medio y el mínimo de miosis y el tamaño máximo y medio de la midriasis.
- Estudio de los efectos deslumbramientos con la medida de la SC con el test Pelli Robson en un simulador semidinámico

El simulador semidinámico está formado por una luz ambiente de baja intensidad, colocada a un metro frente al test Pelli Robson. A un lado del test se colocó un foco con dos intensidades luminosas que recrea las intensidades de una fuente xenón y una fuente halógena.

El paciente se tuvo que adaptar a la oscuridad durante un periodo de aproximadamente 7 minutos y posteriormente se realizó la medida de la SC sin deslumbramientos y con deslumbramientos.

Para valorar la medida de la SC, el paciente tuvo que decir antes de ser estimulado, el último triplete de letras que era capaz de leer. Posteriormente, se indujo al paciente con un deslumbramiento y comentó a qué triplete tuvo que cambiar tras recibir la luz de la prueba. Este proceso le repetimos con los diferentes filtros y lentes del estudio.

Figura 1. Elementos que conforman el simulador de deslumbramiento.



5.3 Análisis estadístico

Para realizar el análisis estadístico tomamos las siguientes variables:

- Como variable principal consideramos la SC con las distintas intensidades de deslumbramiento y con el uso de los diferentes filtros.
- Consideramos como variable secundaria de la medida subjetiva de la sensación de deslumbramiento (Escala de Boer) con las dos intensidades lumínicas utilizadas: el deslumbramiento xenón y el deslumbramiento halógeno.
- Las variables de control fueron las siguientes:
 - Edad
 - Sexo
 - AVcc
 - Pupilometría medida mediante el dispositivo WaveLight® Topolyzer™ VARIO, en la que calcularemos las siguientes variables:
 - La miosis media, calculada como la media entre la miosis del ojo derecho (OD) y del ojo izquierdo (OI).
 - La midriasis media, calculada como la media entre la midriasis del OD y del OI.
 - La miosis mínima media, calculada como la media entre la miosis mínima del OD y del OI.
 - La midriasis máxima media, calculada como la media entre la midriasis máxima del OD y del OI.
 - Aberrometría corneal media, calculada como media de las medidas del RMS del OD y RMS del OI

El procesamiento estadístico de la base de datos construida con las diversas mediciones y registros a los que se sometió a los sujetos se realizó gracias al programa informático Statistical Package for the Social Sciences (SPSS) versión 23 de la empresa International Business Machine (IBM) versión para Windows.

Se procedió a realizar un análisis estadístico descriptivo de todas las variables objeto de estudio. Se empleó el test de Shapiro-Wilk, debido a que el tamaño de la muestra es pequeño, para conocer la normalidad de la distribución de los datos.

Para buscar posibles diferencias entre los resultados obtenidos con las distintas relaciones de SC en las situaciones ambientales sin deslumbramiento (SD), con deslumbramiento tipo xenón (DX) y con deslumbramiento tipo halógeno (DH). En la distribución por grupos se evaluó la hipótesis de igualdad de medias utilizando el contraste t-Student para dos muestras independientes. En el caso de que no sea posible asumir la normalidad utilizamos la alternativa no paramétrica del test t-Student, el contraste U de Mann-Whitney. Si las muestras están relacionadas, utilizamos el test de Wilcoxon.

Para las correlaciones entre las distintas variables, cuando sea posible asumir la hipótesis de normalidad se utilizará el coeficiente de correlación de Pearson. En caso de que no sea posible asumir esta hipótesis, el coeficiente rho de Spearman.

El nivel de significación estadística aceptado fue del 5% ($p < 0,05$). Quedarán al borde de la significancia las comprendidas entre 0,05 y 0,1.

6. Resultados

Las variables utilizadas serán cuantitativas y se describirán utilizando la media, desviación típica (DT), el intervalo de confianza (IC) del 95% para la media, la mediana (Med) y los valores máximo (Máx) y mínimo (Mín). Además, se comprueba la hipótesis de normalidad utilizando en contraste de Shapiro-Wilk (SW).

6.1 Variables Principales: Medida de la SC en condiciones mesópicas sin el uso de filtros y la medida de la SC con filtro 450, lente Essidrive de Essilor y la lente Drivesafe de Zeiss.

Tabla 1. Medida de la SC sin filtro

SC sin filtro					IC 95%		Ho: Normalidad				
	N	Media	DT	Inf.	Sup.	Med	Mín	Máx	SW	p-valor	
SD	22	1,27	0,03	1,21	1,32	1,20	1,05	1,65	0,764	< 0.001	
DX	22	0,91	0,03	0,91	1,03	1,05	0,75	1,20	0,762	<0.001	
DH	22	0,99	0,03	0,94	1,04	1,05	0,75	1,20	0,754	<0.001	

N = Número sujetos, DT = Desviación típica, IC = Intervalo de confianza, Inf = Límite inferior, Sup = Límite superior, Med = Mediana, Mín = Mínimo, Máx= Máximo, SW = Shapiro Wilk

La SC obtenida en condiciones mesópicas fue claramente superior en la situación con deslumbramiento (**SD**) que en aquellos momentos que se aplicaba algún tipo de deslumbramiento. La media de la SC SD fue de **1.27** logSC mientras que la media de la SC **DX** fue de **0.91** logSC y la media de la SC **DH** fue de **0.99** logSC.

Tabla 2. Medida de la SC con el filtro CFP 450

				IC 95%					Ho: Normalidad		
SC 450		N	Media	DT	Inf.	Sup.	Med	Min	Máx	SW	p-valor
	SD	22	1,24	0,02	1,78	1,29	1,20	1,05	1,65	0,701	< 0.001
	DX	22	0,9	0,03	0,82	0,97	0,95	0,50	1,05	0,776	< 0.001
	DH	22	0,98	0,02	0,93	1,03	1,05	0,75	1,05	0,646	< 0.001

N = Número sujetos, DT = Desviación típica, IC = Intervalo de confianza, Inf = Límite inferior, Sup = Límite superior, Med = Mediana, Mín = Mínimo, Máx= Máximo, SW = Shapiro Wilk

La SC en condiciones mesópicas SD con el filtro CPF 450 fue superior que bajo las condiciones de algún deslumbramiento (**1.24 logSC SD** frente a **0.9 logSC del DX** y **0.98 logSC del DH**).

Tabla 3. Medida de la SC con la lente Essidrive de Essilor

				IC 95%					Ho: Normalidad		
SC Essidrive		N	Media	DT	Inf.	Sup.	Med	Min	Máx	SW	p-valor
	SD	22	1,25	0,2	1,21	1,29	1,20	1,05	1,35	0,732	<0,001
	DX	22	0,97	0,03	0,91	1,03	1,05	0,75	1,05	0,622	<0,001
	DH	22	1,01	0,03	0,95	1,07	1,05	0,75	1,35	0,665	<0,001

N = Número sujetos, DT = Desviación típica, IC = Intervalo de confianza, Inf = Límite inferior, Sup = Límite superior, Med = Mediana, Mín = Mínimo, Máx= Máximo, SW = Shapiro Wilk

La SC, en este caso con la lente Essidrive, vuelve a ser superior en condiciones mesópicas SD (**1.2477 logSC**) frente al DX (**0.97 logSC**) y al DH (**1.01 logSC**). Además, podemos observar que cuando existe un deslumbramiento, la SC es superior a la del resto de los filtros, incluso es superior a la SC medida sin ningún filtro y sin ningún deslumbramiento.

Tabla 4. Medida de la SC con lente Drivesafe de Zeiss

				IC 95%					Ho: Normalidad		
SC Drivesafe		N	Media	DT	Inf.	Sup.	Med	Min	Máx	SW	p-valor
	SD	22	1,23	0,24	1,18	1,28	1,20	1,05	1,35	0,804	0,001
	DX	22	0,92	0,05	0,85	0,99	1,05	0,60	1,05	0,689	<0,001
	DH	22	0,97	0,03	0,91	1,03	1,05	0,75	1,05	0,622	<0,001

N = Número sujetos, DT = Desviación típica, IC = Intervalo de confianza, Inf = Límite inferior, Sup = Límite superior, Med = Mediana, Mín = Mínimo, Máx= Máximo, SW = Shapiro Wilk

La sensación al contraste media SD es de **1.23 logSC** mientras que es inferior en condiciones de deslumbramiento, siendo menor en la situación del DX (**0.92 logSC**) frente a la situación del DH (**0.97 logSC**).

6.2 Variables Secundarias

Tabla 5. Medida de la sensación del deslumbramiento bajo DX y DH.

Escala Boer		N	Media	DT	IC 95%		Med	Min	Máx	Ho: Normalidad	
					Inf.	Sup.				SW	p-valor
	DX	22	4,95	0,30	4,32	4,59	5	2	8	0,963	0,543
	DH	22	5,60	0,24	5,08	6,10	6	3	8	0,938	0,179

N = Número sujetos, DT = Desviación típica, IC = Intervalo de confianza, Inf = Límite inferior, Sup = Límite superior, Med = Mediana, Mín = Mínimo, Máx= Máximo, SW = Shapiro Wilk

La sensación de deslumbramiento fue de **4,95 con el deslumbramiento de xenón** mientras que la sensación de deslumbramiento con la sensación **halógena era 5,60**. Considerando que en la escala de Boer el 1 era una sensación insoportable, el 5 una sensación molesta mientras que el valor de 9 se considera inapreciable, podemos considerar que el deslumbramiento xenón crea una sensación mayor de deslumbramiento que aquel que genera las luces halógenas.

6.3 Variables de control

Tabla 6. Variables de control

	N	Media	DT	IC 95%		Med	Min	Máx	Ho: Normalidad	
				Inf.	Sup.				SW	p-valor
Edad	22	21,68	0,32	21,02	22,34	21,5	15	25	0,94	0,196
AVcc	22	-0,09	0,18	-0,12	-0,05	-0,07	-0,26	0	0,876	0,01
Miosis media	22	3,00	0,08	2,83	3,17	2,91	2,46	3,89	0,951	0,334
Miosis mínima	22	2,79	0,07	2,64	2,94	2,72	2,23	3,41	0,952	0,351
Midriasis media	22	6,11	0,12	5,86	6,37	6,21	4,97	6,99	0,968	0,655
Midriasis máxima	22	6,34	0,12	6,09	6,59	6,45	5,32	7,19	0,958	0,45
Ø pupilar medio	21	3,16	0,10	2,94	3,37	3,17	2,21	4,03	0,958	0,476
Aberrometría	22	0,91	0,15	0,59	1,2	0,75	0,45	3,9	0,413	<0,001

N = Número sujetos, DT = Desviación típica, IC = Intervalo de confianza, Inf = Límite inferior, Sup = Límite superior, Med = Mediana, Mín = Mínimo, Máx= Máximo, SW = Shapiro Wilk

En este estudio, analizamos 22 personas, siendo la media de edad de 21.68 años. La AV binocular con corrección media de todos los participantes fue de -0.09 logMar, lo que equivale aproximadamente 1.25 en escala decimal.

En relación a la dinámica pupilar, la miosis media fue de 3,00 mm, siendo la mínima de 2.79 mm, mientras que la midriasis media fue de 6.11 mm y la máxima fue de 6.34 mm. La aberrometría corneal tenía un valor de 91 µm y el valor del diámetro pupilar medio de 3.16 mm.

6.4 Diferencias entre grupos

Tabla 7. Valoración de las diferencias existentes entre ambos deslumbramientos y la situación inicial.

	p- valor
SD - DX	p<0,0001
SD - DH	p<0,0001
DX - DH	0,244

En esta tabla comparamos si existe alguna diferencia significativa en la SC respecto a una situación con deslumbramiento y sin ello. Podemos valorar que ambos deslumbramientos (halógeno y xenón) producen una diferencia estadísticamente significativa en cuanto a la variación que produce en la SC. Mientras que, entre ambos deslumbramientos, no encontramos valores estadísticamente significativos.

Tabla 8. Diferencias de la SC con los diferentes filtros en ausencia de deslumbramiento

		p - valor
SC sin filtro SD	SC 450 SD	0,268
	SC Essidrive SD	0,317
	SC Drivesafe SD	0,101

En la situación en la que no existe deslumbramiento, no encontramos ninguna diferencia estadísticamente significativa que nos indique una clara variación de la SC sin ningún y con los filtros y lentes del estudio.

Tabla 9. Diferencias de la SC con los diferentes filtros con DX.

		p - valor
SC sin filtro DX	SC 450 DX	0,011
	SC Essidrive DX	1
	SC Drivesafe DX	0,121

Cuando se aplica un DX, solamente encontramos que el deslumbramiento en el filtro CPF 450 es estadísticamente significativo respecto a un valor normal.

Tabla 10. Diferencias de la SC con los diferentes filtros con DH.

		p - valor
SC sin filtro DH	SC 450 DH	0,336
	SC Essidrive DH	0,279
	SC Drivesafe DH	0,61

En la situación con DH, no encontramos ningún valor estadísticamente significativo que nos indique una clara variación de la SC de comparar la medida sin ningún filtro y con los filtros del estudio.

6.5 Asociación entre variables

Las asociaciones positivas estadísticamente significativas fueron marcadas de un color amarillo, mientras que aquellas que son estadísticamente significativas pero negativas tienen un color rojo. Para indicar que existen valores al borde de la significancia, se emplea la misma gama de colores, pero de menor intensidad.

Tabla 11. Asociación entre sensibilidad al contraste sin deslumbramiento frente a los filtros de estudio.

				Ho: rho = 0
		N	rho	p - valor
SC sin filtro SD	SC 450 SD	22	0,444	0,038
	SC Essidrive SD	22	0,697	P<0,0001
	SC Drivesafe SD	22	0,4	0,065
SC 450 SD	SC Essidrive SD	22	0,358	0,102
	SC Drivesafe SD	22	0,366	0,094
SC Essidrive SD	SC Drivesafe SD	22	0,417	0,053

Se observa una correlación directa significativa entre los valores de la SC sin filtro y las medidas de la SC con los filtros CPF 450 y la lente Essidrive, y al borde de la significancia con la lente Drivesafe. También, que la relación entre la lente Drivesafe y el filtro CPF 450, y la relación entre la lente Drivesafe y Essidrive, se encuentran al borde de la significancia.

Tabla 12. Asociación entre SC con deslumbramiento xenón frente al uso de los filtros.

				Ho: rho = 0
		N	rho	p - valor
SC sin filtro DX	SC 450 DX	22	0,766	P<0,0001
	SC Essidrive DX	22	0,359	0,1
	SC Drivesafe DX	22	0,515	0,014
SC 450 DX	SC Essidrive DX	22	0,535	0,01
	SC Drivesafe DX	22	0,66	0,001
SC Essidrive DX	SC Drivesafe DX	22	0,337	0,125

Se observa una correlación directa significativa entre los valores de la SC entre la situación sin filtro respecto a aquella en la que utilizaban tanto el filtro CPF 450 como el Essidrive. Es especialmente significativo, que toda relación en torno al filtro CPF 450 es estadísticamente significativa.

Solamente encontramos en el borde de la significancia la relación entre la situación sin filtro y la situación con el Essidrive. No existe relación entre la SC con deslumbramiento con el Drivesafe y el Essidrive.

Tabla 13. Asociación entre SC con deslumbramiento halógeno frente al uso de los filtros.

		Ho: rho = 0		
		N	rho	p - valor
SC SIN FILTRO DH	SC 450 DH	22	0,682	P<0,0001
	SC Essidrive DH	22	0,77	P<0,0001
	SC Drivesafe DH	22	0,309	0,161
SC 450 DH	SC Essidrive DH	22	0,773	P<0,0001
	SC Drivesafe DH	22	0,765	P<0,0001
SC ESSEDRIVE DH	SC Drivesafe DH	22	0,592	0,004

En esta relación se observa correlación directa en todos casos excepto en la relación entre la situación sin filtro y la lente Drivesafe.

Tabla 14. Relación entre variables control

		Ho: rho = 0		
		N	rho	p - valor
Edad	AVcc	22	0,113	0,617
	Aberración	22	-0,337	0,125
	Miosis media	22	-0,111	0,623
	Miosis mínima	22	-0,183	0,416
	Midriasis media	22	-0,344	0,117
	Midriasis máxima	22	-0,392	0,071
AVcc	Aberración	22	-0,023	0,917
	Miosis media	22	0,297	0,179
	Miosis mínima	22	0,239	0,284
	Midriasis media	22	0,333	0,13
	Midriasis máxima	22	0,335	0,128
Aberración	Miosis media	22	0,162	0,471
	Miosis mínima	22	0,143	0,526
	Midriasis media	22	-0,028	0,903
	Midriasis máxima	22	-0,037	0,871
Miosis media	Miosis mínima	22	0,946	P<0,0001
	Midriasis media	22	0,778	P<0,0001
	Midriasis máxima	22	0,753	P<0,0001
Miosis mínima	Midriasis media	22	0,699	P<0,0001
	Midriasis máxima	22	0,701	P<0,0001
Midriasis media	Midriasis Máxima	22	0,982	P<0,0001
Ø pupilar medio	Edad	21	-0,279	0,22
	AVcc	21	0,114	0,612
	Aberración	21	0,09	0,699
	Miosis media	21	0,66	0,001
	Miosis mínima	21	0,651	0,001
	Midriasis media	21	0,63	0,002
	Midriasis máxima	21	0,63	0,001

En el análisis de las variables de control podemos observar, una correlación directa entre los diferentes valores de la pupilometría dinámica (miosis media y mínima y midriasis máxima y media).

También, encontramos una relación inversa al borde de la significancia en la que podemos apreciar que, a mayor aumento de la edad, se produce una disminución de la midriasis máxima.

7. Discusión

Como se puede apreciar en los resultados durante la investigación, la SC es menor cuando se estimula al paciente con un deslumbramiento (da igual si es xenón o halógeno), que aquél medido en condiciones mesópicas SD.

Durante el estudio de los diferentes filtros y lentes que hemos utilizado, podemos decir que todos ellos producen una variación en la SC, pero no apreciamos diferencias estadísticamente significativas para decir o recomendar cuál de los filtros/lentes es mejor en condiciones de deslumbramiento. Solamente encontramos una diferencia estadísticamente significativa al utilizar el filtro CPF 450 bajo DX.

Lo que sí podemos apreciar la correlación existente entre los diferentes valores de la pupilometría dinámica y el tamaño pupilar. Encontramos una correlación inversa entre la midriasis máxima y la edad, debido al debilitamiento del músculo dilatador de la pupila¹¹. Esta diferencia de cambio es más apreciable con edades superiores no en personas jóvenes, por eso es un dato que se encuentra en torno al borde para considerarlos estadísticamente significativo.

7.1 Discusión de los métodos utilizados

De forma habitual, realizamos la valoración de la calidad de la visión únicamente con la medición de la AV. Esta medición siempre se realiza a un contraste del 100%, con lo que, si durante la vida diaria observamos objetos y formas de menor contraste, no veremos de una forma óptima como la visión que llegamos a conseguir dentro del gabinete.

Para observar correctamente un objeto no solo dependemos de la AV como única medida de la calidad de la visión, también necesitamos considerar la SC, que es la capacidad del sistema visual en diferenciar un objeto del fondo.

Mediremos cómo se produce esta variación de la SC utilizando el Test Pelli Robson, debido a la facilidad de uso, ya sea para los pacientes y para los instructores, y también debido a la rapidez de realización de la prueba.

Examinamos cómo se modificaba la sensibilidad al contraste frente al deslumbramiento, utilizando dos fuentes deslumbrantes que simulan las luces

de los coches que actualmente nos encontramos en el parque motor, como son las luces halógenas y las luces de xenón.

Para calcular el diámetro pupilar utilizamos el Galilei G4, es un forma de medir el tamaño pupilar de forma objetiva con el cual, eliminamos la valoración subjetiva del observador lo que puede generar un problema en la medida.^{12,13}

7.2 Discusión de resultados obtenidos

Como se sabía antes de realizar la experimentación, se producirá una disminución de la sensibilidad al contraste cuando el paciente es deslumbrado por algún tipo de fuente luminosa, independientemente del tipo que fuera.¹⁴

Se puede observar una similitud de los resultados obtenidos respecto a los DX y DH, existiendo una mínima diferencia en cuanto a la SC que se consigue con cada uno, siendo menor en el DX.

Respecto al uso de filtros, no existen claras diferencias entre el estado normal (sin ningún tipo de filtro) y en la situación en la que utilizamos el filtro CPF 450 y las lentes Drivesafe y Essidrive. Solamente apreciamos una diferencia clínicamente significativa con la lente Essidrive, en la cual los pacientes tras ser deslumbrados tenían mayor SC respecto al uso del filtro CPF 450 y la lente Drivesafe e incluso respecto a los valores de SC que tenemos sin filtro. Con lo cual, no se pueden observar resultados estadísticamente significativos para destacar la utilidad y la funcionalidad de estos filtros/lentes.

La sensación de molestia generada por el DX y el DH fue prácticamente similar con un valor aproximado de 5, que se considera como una sensación aceptable. Los valores obtenidos se consideran normales en el rango de edad que se ha estudiado (18-30 años).¹⁵

7.3 Limitaciones del Estudio

Como en todo tipo de investigación, existen una serie de limitaciones:

- Por un lado, el tamaño muestral no resultó muy extenso debido a que la experimentación se planeó inicialmente con un simulador totalmente dinámico que no llegó a estar a punto y se acabó realizando sobre un simulador semidinámico en un tiempo más reducido. Pese a ello, pudimos encontrar diferencias y asociaciones estadísticamente significativas.
- El estudio es representativo de la población adulta que no supera los 30 años, por lo que los resultados no se pueden extrapolar directamente a población présbita o de la tercera edad

- La situación de la fuente deslumbrante no era la equidistante con respecto a todas las letras, ya que se situaba a la izquierda del test de SC, lo que muchas veces imposibilitaba que el paciente no pudiera identificar el triplete que se encontraba en torno a la zona de deslumbramiento. Esta disposición era así ya que habitualmente los coches circular por el lado derecho, recibiendo el deslumbramiento del coche que circula de frente por la parte izquierda.

8. Conclusión

Tras los resultados de la experimentación llegamos a las siguientes con

- Dentro del simulador, podemos apreciar como los diferentes deslumbramiento sí que producen una disminución de la SC, en especial aquel que se produce por la fuente luminosa de xenón.
- Podemos valorar que, aunque sea mayor la intensidad de la fuente luminosa (mayor en el xenón que en el halógeno), no se produce disminución brusca de la SC que nos impida a discriminar los objetos. Además, la sensación de deslumbramiento que nos generan ambos deslumbramientos es prácticamente similar.
- En población adulta con edad inferior a 30 años, el único filtro que demuestra una eficacia en disminuir el impacto de fuentes deslumbrantes sobre la SC es el CPF 450, en concreto para el deslumbramiento DX.

9. Bibliografía

1. ¿Cómo nos movemos? (2014). Recuperado de: <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/carpeta-informativa-del-ceneam/novedades/como-nos-movemos.aspx>
2. Gruber, N., Mosimann, U. P., Müri, R. M. & Nef, T. Vision and Night Driving Abilities of Elderly Drivers. *Traffic Inj. Prev.* **14**, 477–485 (2013).
3. DGT. *Informe Accidentes España 2013*. (2013). Recuperado de: https://sedeapl.dgt.gob.es/WEB_IEST_CONSULTA/informePersonalizado.faces
4. Mahjoob, M., Heydarian, S. & Koochi, S. Effect of yellow filter on visual acuity and contrast sensitivity under glare condition among different age groups. *Int. Ophthalmol.* **36**, 509–514 (2016).
5. Stafford Sewall, A. A., Whetsel Borzendowski, S. A., Tyrrell, R. A., Stephens, B. R. & Rosopa, P. J. Observers' judgments of the effects of glare on their visual acuity for high and low contrast stimuli. *Perception* **45**, 755–767 (2016).
6. Gupta, N., Lata, H. & Kaur, A. Effect of glare on night time driving in alcoholic versus non-alcoholic professional drivers. *Int. J. Appl. Basic Med. Res.* **2**, 128–131 (2012).
7. Puell, M. C., Palomo, C., Sánchez-Ramos, C. & Villena, C. Mesopic contrast sensitivity in the presence or absence of glare in a large driver population. *Graefe's Arch. Clin. Exp. Ophthalmol.* **242**, 755–761 (2004).
8. Maniglia, M., Thurman, S. M., Seitz, A. R. & Davey, P. G. Effect of varying levels of glare on contrast sensitivity measurements of young healthy individuals under photopic and mesopic vision. *Front. Psychol.* **9**, 1–7 (2018).
9. Juan José Navarro Valls, U. E. de M. *Tesis Doctoral - Efecto de la luz cenital difusa sobre la SC y la AV en la conducción mesópica*. Tesis Doctoral (2012).
10. Cayado, A., Tutor, F., José, M. & López, M. ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO Y EFICACIA DE LOS FILTROS ÓPTICOS EN PATOLOGÍAS OCULARES. Revisión bibliográfica Trabajo Fin de Máster Espectro electromagnético, filtros ópticos y patologías oculares. (2014).
11. James Garrity, MD, Whitney and Betty MacMillan Professor of Ophthalmology, Mayo Clinic College of Medicine. EFECTOS DEL ENVEJECIMIENTO SOBRE LOS OJOS – MANUAL MSD. Recuperado de: <https://www.msmanuals.com/es-es/hogar/trastornos-off%C3%A1lmos/biolog%C3%ADa-de-los-ojos/efectos-del-envejecimiento-sobre-los-ojos>
12. Domínguez-Vicent A, Monsálvez-Romín D, Águila-Carrasco AJ Del, García-Lázaro S, Montés-Micó R, Domínguez-Vicent A, et al. Measurements of anterior chamber depth, white-to-white distance, anterior chamber angle, and pupil diameter using two Scheimpflug imaging devices.
13. Bastante Chinchon, Miriam; Holgueras López, Alfredo; Maldonado López, Miguel Jose. Influencia del diámetro pupilar en la medida objetiva de la opacidad del cristalino mediante densitometría Scheimpflug. (2018)
14. Mainster, M. A., & Turner, P. L. (2012). Glare's Causes, Consequences, and Clinical Challenges After a Century of Ophthalmic Study. *American Journal of Ophthalmology*, *153*(4), 587–593. doi:10.1016/j.ajo.2012.01.008
15. Lin, Y., Liu, Y., Sun, Y., Zhu, X., Lai, J., & Heynderickx, I. (2014). Model predicting discomfort glare caused by LED road lights. *Optics Express*, *22*(15), 18056. doi:10.1364/oe.22.018056

Anexos

1. Consentimiento informado



Desarrollo de un Sistema Adaptativo de Optimización de la Visión
para la Conducción durante la Noche (SAOVC-N)

Hoja de información al paciente



1. INTRODUCCIÓN

Conducir es una tarea compleja que requiere la implicación total del sistema visual, el cual se ve deteriorado con el paso de los años, especialmente en lo que a la pérdida de calidad de los medios ópticos del ojo se refiere, pudiendo afectar a la habilidad y seguridad en la conducción, particularmente por la noche.

Según estudios previos, los conductores con disminución en su visión siguen una serie de autorregulaciones: conducen menos a menudo, distancias más cortas, a menos destinos, más despacio y en zonas conocidas y evitan conducir en situaciones de lluvia, hora punta o por la noche, lo que limita su actividad, limitando su independencia. La disminución de la sensibilidad al contraste es una señal que está significativamente ligada con esta autorregulación.

En definitiva, es más probable que los conductores con pérdida de calidad de los medios ópticos del ojo dejen de conducir comparados con aquellos que no la tienen. Dejar de conducir se ha asociado a depresión en este grupo poblacional, con el detrimento en la calidad de vida que esto supone para la persona.

Todos estos inconvenientes se multiplican cuando se trata de conducir en condiciones de oscuridad, puesto que la tarea es aún más compleja y exigente debido a un mayor deterioro de la sensibilidad al contraste, la necesidad de una buena dinámica pupilar, y la influencia de deslumbramientos producidos por otras fuentes luminosas como pueden ser los faros de los coches que circulan en sentido contrario.

2. OBJETIVO DEL ESTUDIO

El objetivo principal de este proyecto consiste en el desarrollo y la evaluación de un Sistema Adaptativo para la Optimización de la Visión en Conducción Nocturna (SAOVC-N), comparándolo con otros sistemas pasivos (filtros de absorción selectiva).

Una vez desarrollado este nuevo sistema adaptativo, analizaremos su efectividad en sujetos de estudio ante deslumbramientos representativos de los faros de cruce de un vehículo y lo compararemos con otros sistemas pasivos mediante la misma metodología, así como la combinación de ambos (adaptativo y pasivo).

3. DURACIÓN DE LA PARTICIPACIÓN DEL SUJETO

El estudio finalizará cuando se realicen las medidas necesarias, que habitualmente se llevan a cabo en 1 ó 2 visitas. Los datos obtenidos serán recogidos para realizar el estudio estadístico y la posterior divulgación científica.

Usted podrá retirarse del estudio siempre que lo desee.

Iniciales del Paciente _____ Fecha _____

Versión 1.0 de 01 de agosto de 2017.

Página 1 de 4



4. CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Criterios de inclusión

- Pacientes con 55 o más años de edad.
- Comprender y firmar el consentimiento informado previamente a la realización de las pruebas.

Criterios de exclusión

- Padecer algún tipo de patología que disminuya su visión, a excepción de la opacidad de medios ópticos.
- Estar bajo medicación que afecte a la función visual.
- No cumplir con los criterios de inclusión.

5. PROCEDIMIENTOS DEL ESTUDIO

Realizaremos una serie de medidas en un simulador de conducción nocturna, donde será valorada su sensibilidad al contraste mediante un optotipo Pelli-Robson y mediante otros escenarios más realistas, controlando el contraste de los objetos en ese escenario. También evaluaremos cómo las distintas intensidades deslumbrantes (halógeno, xenón y led) afectan a la misma sin hacer uso de ningún sistema de optimización de la visión, haciendo uso del nuevo sistema de optimización adaptativa, haciendo uso de sistemas pasivos (filtros de absorción selectiva y similares) y haciendo uso de combinaciones de ambos sistemas (adaptativo y pasivo).

También efectuaremos una exploración oftalmológica mediante una batería de pruebas que comprenden:

- Medida de la agudeza visual con corrección mediante un optotipo ETDRS sin deslumbramiento y con deslumbramiento con el dispositivo BAT
- Densitometría del cristalino mediante un sistema con doble cámara de Scheimpflug (Galilei G4)
- Aberrometría corneal con el dispositivo WaveLight® Topolyzer™ VARIO
- Pupilometría dinámica con el WaveLight® Topolyzer™ VARIO
- Evaluación de la superficie anterior del ojo mediante lámpara de hendidura

Durante los procedimientos debe colaborar y prestar atención a las indicaciones de la persona que realice las pruebas.

6. RIESGOS Y MOLESTIAS RAZONABLEMENTE PREVISIBLES PARA EL PARTICIPANTE

La única molestia que sufrirán los pacientes del presente estudio es la provocada por los deslumbramientos que simulan la iluminación de los faros de los coches que circulan en sentido contrario durante la noche, por lo que se puede afirmar que durante la adquisición de la información no existen molestias significativas y no existe ningún tipo de riesgo, puesto que el ambiente es totalmente controlado.

Si tiene alguna pregunta, por favor consulte a su médico oftalmólogo.

Iniciales del Paciente _____ Fecha _____



7. BENEFICIOS PARA EL PARTICIPANTE Y EL RESTO DE LA POBLACIÓN

Gracias a los resultados obtenidos en este estudio podremos dar a conocer el potencial real de los sistemas de optimización de la visión para conducción nocturna, para tratar de alcanzar una conducción más cómoda y segura, con la finalidad de que la sociedad se pueda beneficiar de sus ventajas en el día a día.

8. CONFIDENCIALIDAD

Sus datos formarán parte de la base de datos del IOBA, cuyo responsable es el Gerente de la Fundación General de la Universidad de Valladolid. En todo momento se seguirán las normativas establecidas en la Ley Orgánica 15/1999, de 13 de diciembre, de Protección de Datos de Carácter Personal (BOE núm. 298, de 14-12-1999, pp. 43088-43099), lo cual garantiza el que su identificación será siempre confidencial fuera del equipo oftalmológico que cuidará su salud. Sólo se emplearán los datos de su historia clínica para correlacionarlos con los obtenidos en los análisis de los datos, estando en todo momento de este estudio desvinculado su nombre de los mismos.

Los resultados de este estudio podrán ser divulgados en revistas científicas, congresos y otro tipo de reuniones médicas, pero siempre guardando la confidencialidad de sus datos personales.

Otra información relevante

A partir de los estudios que se realicen se podría obtener información de importancia para su salud y la de sus familiares. La información que se obtenga del análisis le será comunicada, exclusivamente a Vd., cuando sea relevante para su salud.

Si usted decide retirar el consentimiento para participar en este estudio, ningún dato nuevo será añadido a la base de datos. También debe saber que puede ser excluido del programa si los responsables del estudio lo consideran oportuno.

9. COMPENSACIÓN

No recibirá ninguna compensación económica por participar en este estudio.

10. PERSONA DE CONTACTO

Se le anima a que consulte con su médico del estudio cualquier duda sobre este estudio o este consentimiento informado: Dr. Miguel J Maldonado López, (resto del equipo investigador: Dr. Alberto Mansilla Gallo, Dr. Alberto López Miguel, Dra. Begoña Coco Martín)
Números de contacto: 983183534 – 983186371.

11. PARTICIPACIÓN

Usted dispondrá del tiempo suficiente para decidir sobre su participación en el estudio. Su participación en este estudio es totalmente voluntaria. Si usted decide no participar en el estudio, o si decide abandonar el estudio antes de su finalización, su atención médica habitual en este centro no se verá perjudicada en modo alguno.

Iniciales del Paciente _____ Fecha _____



DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO

Desarrollo de un Sistema Adaptativo de Optimización de la Visión para la Conducción durante la Noche (SAOVC-N).

Al firmar abajo, yo declaro que:

- 1) He leído, o me han leído, y entiendo completamente el contenido del formulario de información adjunto, Versión 1.0 de 01 de agosto de 2017.
- 2) He tenido la oportunidad de preguntar y obtener respuestas satisfactorias a cada una de mis preguntas.
- 3) Acepto de forma voluntaria participar en este estudio de investigación y sé que puedo retirarme en cualquier momento.
- 4) La persona del equipo investigador: _____, me ha explicado la información para el paciente y el formulario de consentimiento y comprendo lo que implica la investigación.
- 5) He comprendido completamente que el Comité Ético Independiente, o los representantes de las autoridades regulatorias, pueden examinar mis registros médicos donde aparece mi nombre para verificar la exactitud de la información obtenida y entiendo que estas personas tendrán el deber de manejar esta información con confidencialidad, utilizándola solamente con un objetivo legítimo para la salud pública.
- 6) Se me entregará una copia firmada y fechada de este formulario de consentimiento para mis propios archivos.

Nombre del paciente	Firma	Fecha
(Debe ser firmado y fechado por el paciente)		

Representante legalmente autorizado	Firma	Fecha
(Debe ser firmado y fechado por el representante legalmente autorizado -si aplica-)		

Investigador Principal	Firma	Fecha
(Debe ser firmado y fechado por el Investigador Principal)		

Persona que participó en la discusión del CI	Firma	Fecha
(Debe ser firmado y fechado por la persona que participó en la discusión del CI)		

Iniciales del Paciente _____ Fecha _____

2. Hoja de recogida de datos

Datos

Nº Paciente: _____

Nombre: _____

F.de Nacimiento: _____

Sexo: _____

AV						
Sin Corrección		Con Corrección		AV con BAT		
OD:				Deslumbramiento Bajo	OD	OI
OI:				Deslumbramiento Medio	OD	OI
AO:				Deslumbramiento Alto	OD	OI

AV con BAT Filtro		
Deslumbramiento Bajo	OD	OI
Deslumbramiento Medio	OD	OI
Deslumbramiento Alto	OD	OI

AV con BAT Filtro		
Deslumbramiento Bajo	OD	OI
Deslumbramiento Medio	OD	OI
Deslumbramiento Alto	OD	OI

AV con BAT Filtro		
Deslumbramiento Bajo	OD	OI
Deslumbramiento Medio	OD	OI
Deslumbramiento Alto	OD	OI

Auto RX	
OI	OD

∅ pupilar	OD	OI

AV con Estenopeico y Con Corrección

Pupilometría Dinámica							
OD				OI			
Midriasis		Miosis		Midriasis		Miosis	
Media	Máxima	Media	Mínima	Media	Máxima	Media	Mínima

SC							
SIN FILTRO		FILTRO 450		ESSEDRIVE		DRIVESAFE	
Sin deslum:		Sin deslum:		Sin deslum:		Sin deslum:	
Xenón		Xenón		Xenón		Xenón	
Halógeno		Halógeno		Halógeno		Halógeno	
SC Inicial:				Pregunta Molestia:			

HOAs		Z	OD			OI		
3er Orden	Coma	Z (3,-1)						
		Z (3,1)						
		Total						
	Trifoil	Z (3,-3)						
		Z (3,3)						
		Total						
4º orden	Esférica	Z (4,0)						
	Tetrafoil	Z (4,-4)						
		Z (4,4)						
		Total						
	Astigmatismo Secundario	Z (4,-2)						
		Z (4,2)						
Total								
5º orden	Coma	Z (5,-1)						
		Z (5,1)						
		Total						
6º orden	Spherica	Z (6,0)						
RMS TOTAL								

$$RMS\ TOTAL = \sqrt{(coma\ like)^2 + (spherical\ like)^2 + (total\ trifoil)^2 + (total\ tetrafoil)^2 + (total\ astigmatism\ 2^\circ)^2}$$

$$Coma\ like \rightarrow Coma\ total\ 3er\ orden + 5o\ orden = \sqrt{(total\ coma\ 3er)^2 + (total\ coma\ 5o)^2}$$

$$Spherical\ like \rightarrow Spherical\ total\ 4o\ orden + 6o\ orden = \sqrt{(esfera\ 4a)^2 + (esfera\ 6a)^2}$$

Observaciones: