



Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

TREBALL FINAL DE GRAU

CARACTERITZACIÓ ESPECTRAL I FOTOMÈTRICA D'UNA TAULETA. MESURA DE L'AGUDESESA VISUAL SOTA DIFERENTS TEMPERATURES DE COLOR DE LA PANTALLA

Àngela Fernàndez Fernàndez

Montserrat Tàpias Anton
Jaume Escofet Soteras
DEPARTAMENT D'ÒPTICA I OPTOMETRIA

21/06/2022

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

CARACTERITZACIÓ ESPECTRAL I FOTOMÈTRICA D'UNA TAULETA. MESURA DE L'AGUDESESA VISUAL SOTA DIFERENTS TEMPERATURES DE COLOR DE LA PANTALLA

RESUM

Objectius: En aquest estudi es realitza el calibratge fotomètric així com el calibratge espectral i cromàtic de la pantalla d'una tauleta Samsung Galaxy Tab A7 SM-T500. A més, s'analitza si la temperatura de color correlacionada (TCC) de la pantalla afecta l'agudesesa visual dels observadors.

Mètode: Per al calibratge fotomètric, s'han utilitzat 15 llenços acromàtics de diferents nivells de gris (NG) entre 0 i 255, uniformes, i mitjançant un luminàncímetre se n'ha mesurat la luminància en 5 punts diferents de la pantalla de la tauleta i per a cinc dels deu modes de pantalla diferents.

Per al calibratge espectral i cromàtic s'ha mesurat la irradiància espectral de la pantalla per als deu modes diferents de la tauleta, fet que permet conèixer la TCC i la distribució espectral de cadascun d'ells.

Per veure la influència de la TCC sobre l'agudesesa visual dels observadors, es realitzen dos tipus diferents de cartes d'optotips amb anells de Landolt en les 8 orientacions: quatre amb passos grans, de 0.1 unitats logMAR, i quatre amb passos petits, de 0.02 unitats logMAR. S'ha presentat aleatòriament una carta de cada tipus amb cadascun dels dos modes de pantalla de TCC extrema a un total de quinze observadors.

Resultats i conclusions:

Els resultats del calibratge fotomètric donen una relació no lineal entre els nivells de gris de la tauleta i els valors de luminància.

Els resultats del calibratge espectral i cromàtic donen un espectre típic d'una llum pc-LED. En disminuir la TCC la intensitat del pic més elevat, a 450 nm, disminueix. S'ha verificat que, segons la fracció de Weber, l'observador percep les diferències de luminància per als deu modes diferents de pantalla en els valors extrems del rang de nivell de grisos.

Els resultats de les AV s'han representat en dos tipus de gràfics diferents: un de dispersió i l'altre de Bland-Altman. En ells s'aprecia que la TCC no afecta la relació que hi ha entre l'escala gran (0.1 logMAR) i la petita (0.02 logMAR) ni tampoc al valor de l'agudesesa visual dels observadors.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudeza visual sota diferents temperatures de color de la pantalla



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

CARACTERIZACIÓN ESPECTRAL Y FOTOMÉTRICA DE UNA TABLETA. MEDIDA DE LA AGUDEZA VISUAL BAJO DIFERENTES TEMPERATURAS DE COLOR DE LA PANTALLA

RESUMEN

Objetivos: En este estudio se realiza la calibración fotométrica así como la calibración espectral y cromática de la pantalla de una tableta Samsung Galaxy Tab A7 SM-T500. Además, se analiza si la temperatura de color correlacionada (TCC) de la pantalla afecta la agudeza visual de los observadores.

Método: Para la calibración fotométrica, se han utilizado quince lienzos acromáticos de diferentes niveles de gris (NG) entre 0 y 255, uniformes, y mediante un luminancímetro se ha medido la luminancia en cinco puntos diferentes de la pantalla de la tableta y para cinco de los diez modos de pantalla diferentes.

Para la calibración espectral y cromática se ha medido la irradiancia espectral de la pantalla para los diez modos diferentes de la tableta, hecho que permite conocer la TCC y la distribución espectral de cada uno de ellos.

Para ver la influencia de la TCC sobre la agudeza visual de los observadores, se realizan dos tipos diferentes de cartas de optotipos con anillos de Landolt en las ocho orientaciones: cuatro con pasos grandes, de 0.1 unidades logMAR, y cuatro con pasos pequeños, de 0.02 unidades logMAR. Se ha presentado aleatoriamente una carta de cada tipo con cada uno de los dos modos de pantalla de TCC extrema a un total de quince observadores.

Resultados y conclusiones:

Los resultados de la calibración fotométrica dan una relación no lineal entre los niveles de gris de la tableta y los valores de luminancia.

Los resultados de la calibración espectral y cromática dan un espectro típico de una luz pc-LED. Al disminuir la TCC la intensidad del pico más elevado, a 450 nm, disminuye. Se ha verificado que, según la fracción de Weber, el observador percibe las diferencias de luminancia para los diez modos diferentes de pantalla en los valores extremos del rango de nivel de grises.

Los resultados de las AV se han representado en dos tipos de gráficos diferentes: uno de dispersión y el otro de Bland-Altman. En ellos se aprecia que la TCC no afecta la relación que hay entre la escala grande (0.1logMAR) y la pequeña (0.02logMAR) ni tampoco al valor de la agudeza visual de los observadores.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla



GRAU EN ÒPTICA I OPTOMETRIA

SPECTRAL AND PHOTOMETRIC CHARACTERISATION OF A TABLET. MEASUREMENT OF VISUAL ACUITY UNDER DIFFERENT SCREEN COLOUR TEMPERATURES.

ABSTRACT

Purpose:

In this study, a photometric calibration and spectral and chromatic calibration of the display of a Samsung Galaxy Tab A7 SM-T500 tablet is performed. Furthermore, it is analysed whether the correlated colour temperature (CCT) of the display affects the visual acuity of the observers.

Methodology:

For the photometric calibration, 15 achromatic canvases of different grey levels (NG) between 0 and 255, uniform, were used, and using a luminance meter, their luminance was measured at 5 different points on the tablet screen and for five of the ten different display modes.

For the spectral and chromatic calibration, the spectral irradiance of the display has been measured for the ten different modes of the tablet, which allows us to know the CCT and the spectral distribution of each of them.

To see the influence of the CCT on the visual acuity of the observers, two different types of optotype charts are made with Landolt rings in the 8 orientations: four with large steps, of 0.1 logMAR units, and four with small steps, of 0.02 logMAR units. One chart of each type with each of the two extreme TCC display modes was randomly presented to a total of fifteen observers.

Results and conclusions:

The photometric calibration results give a non-linear relationship between tablet grey levels and luminance values.

Spectral and chromatic calibration results give a typical spectrum of a pc-LED light. With decreasing CCT the intensity of the highest peak at 450 nm decreases. It has been verified that, according to the Weber fraction, the observer perceives the luminance differences for the ten different display modes at the extreme values of the grey level range.

The VA results have been plotted in two different types of graphs: a scatter plot and a Bland-Altman plot. They show that the CCT does not affect the ratio between the large (0.1 logMAR) and the small (0.02 logMAR) scale, nor does it affect the visual acuity value of the observers.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

1. INTRODUCCIÓ	5
1.1. OBJECTIUS	5
2. MARC TEÒRIC	6
2.1. MAGNITUDS RADIOMÈTRIQUES I FOTOMÈTRIQUES EMPRADES	6
2.2. AGUDESESA VISUAL	8
3. MÈTODE EXPERIMENTAL	11
3.1. MATERIAL I MÈTODES	11
3.2. CALIBRATGE DE LA TAULETA	16
3.2.1 CALIBRATGE ESPECTRAL I CROMÀTIC	16
3.2.2 CALIBRATGE FOTOMÈTRIC	17
3.3. REALITZACIÓ D'OPTOTIPS	17
3.4. CARACTERÍSTIQUES DEL GRUP D'OBSERVADORS	20
3.5. REALITZACIÓ DE MESURES	20
4. RESULTATS I DISCUSSIÓ	21
4.1 CALIBRATGE DE LA TAULETA	21
4.1.1 CALIBRATGE ESPECTRAL I CROMÀTIC	21
4.1.2 CALIBRATGE FOTOMÈTRIC	22
4.2 MESURES AGUDES VISUAL	24
5. CONCLUSIONS	30
REFERÈNCIES	31
ANNEXOS	32

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

1. INTRODUCCIÓ

En aquest treball es procedeix a realitzar el calibratge cromàtic, espectral i fotomètric de la pantalla d'una tauleta Samsung Galaxy Tab A7 SM-T500 per poder-la utilitzar com a estimulador visual.

Un cop feta aquesta caracterització, es procedeix a confeccionar unes cartes d'agudesesa visual per a visió propera, per poder ser testades a la pantalla de la tauleta per un grup d'observadors sota les dues temperatures de color extremes d'aquesta.

Les cartes d'optotips s'han fet en dos escalats diferents, un de passos grans, de 0.1logMAR i un altre de passos petits, 0.02logMAR per tal de comprovar amb més rigorositat l'efecte de la TCC sobre l'AV i sobre la relació entre les dues escales.

1.1. OBJECTIUS

- OBJECTIUS GENERALS:
 - Poder utilitzar la tauleta com a mitjà per a la presentació de tests visuals.
 - Realitzar el calibratge espectral i cromàtic de la pantalla de la tauleta per a les diferents temperatures de color (TCC).
 - Realitzar el calibratge fotomètric per a diferents nivells de gris de la pantalla de la tauleta.
- OBJECTIUS ESPECÍFICS:
 - Confeccionar unes cartes d'optotips seguint la norma ISO 8596.
 - Mesurar l'agudesesa visual a un grup d'observadors mostrant els optotips a la pantalla de la tauleta sota dues TCC diferents.
 - Veure l'efecte de la TCC sobre l'agudesesa visual.
 - Analitzar la validesa en la interpolació que s'utilitza en optometria a l'hora de valorar el test de Bailey Lovie i comprovar si la TCC hi exerceix alguna influència.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

2. MARC TEÒRIC

2.1. MAGNITUDS RADIOMÈTRIQUES I FOTOMÈTRIQUES EMPRADES

- Irradiància espectral (E_e): Es defineix com el flux radiant dF_{de} (contingut en totes les longituds d'ona visible) que incideix sobre la unitat de superfície dS .
La unitat d'irradiància en el SI és W/m^2
La densitat de irradiància espectral E_{de} com la densitat de flux radiant dF_{de} que incideix sobre la unitat de superfície dS .

$$E_{de}(\lambda) = \frac{dF_{de}(\lambda)}{dS}$$

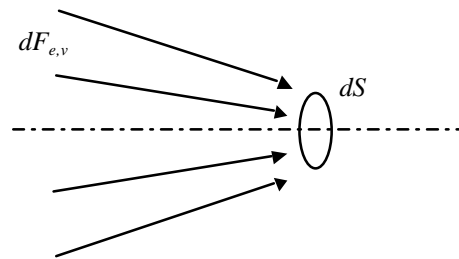


Figura 1: Densitat de flux radiant elemental dF_{de} rebut pel receptor de superfície dS .

- Il·luminància o il·luminació: Es defineix com el flux lluminós dF_v que incideix sobre la unitat de superfície dS .
La unitat de il·luminància o il·luminació en el SI és el lux (lx) $1lx=1lm/m^2$
Es defineix la densitat d'il·luminància o densitat d'il·luminació E_{dv} com la densitat de flux lluminós espectral dF_{de} que incideix sobre la unitat de superfície dS .

$$E_{dv}(\lambda) = \frac{dF_{dv}(\lambda)}{dS}$$

Per exemple, la figura 2 mostra la irradiància espectral relativa (normalitzada a 1) d'una font de llum incandescent i la figura 3 la irradiància espectral relativa d'un pc-LED, altrament dit, led blanc.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

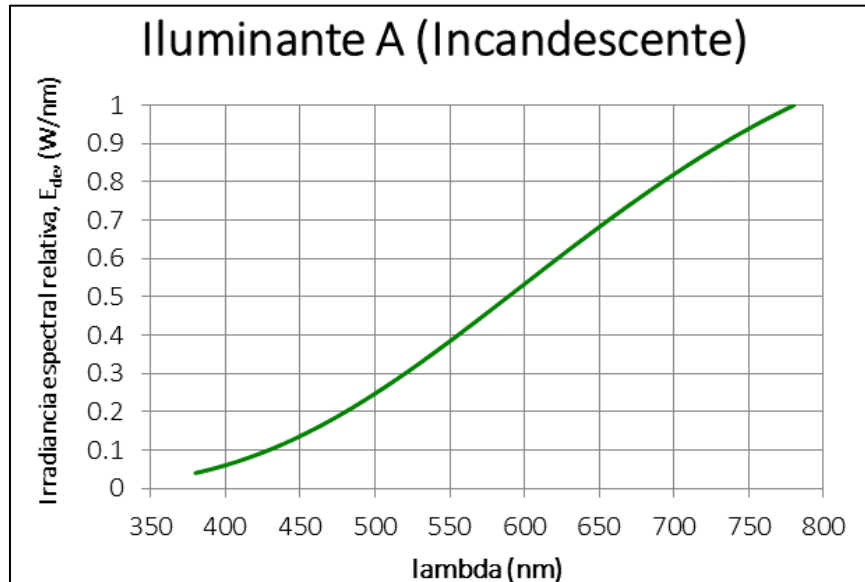


Figura 2: Irradiància espectral relativa d'una font de llum incandescent.

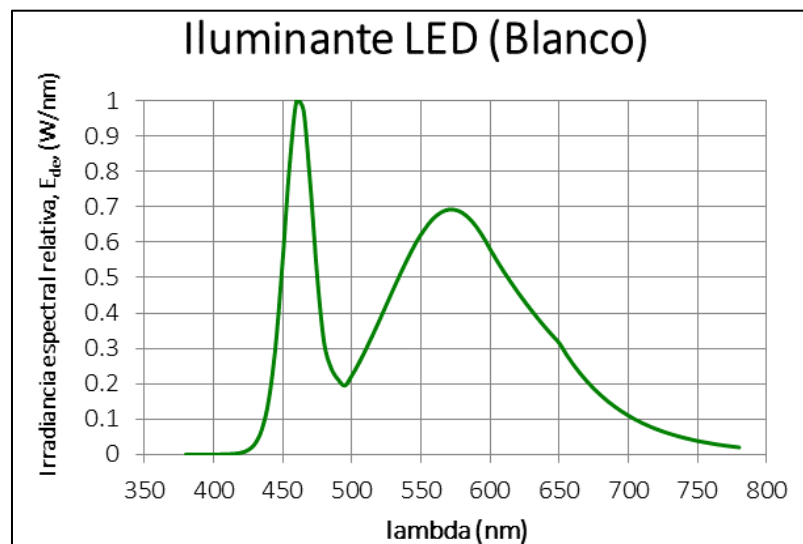


Figura 3: Irradiància espectral relativa d'una font de llum led.

- **Temperatura de color (TCC):** es defineix comparant el seu color dins de l'espectre lluminós amb el de la llum que emet un cos negre escalfat a una temperatura determinada. Per aquest motiu s'expressa en Kèlvins (K) tot i que no reflecteix expressament una unitat de temperatura. Es a dir, quan parlem de temperatura de color, estem parlant de la calidesa o fredor de la llum emesa per una font.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

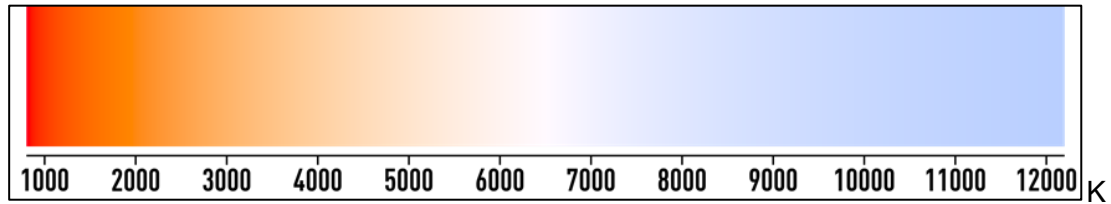


Figura 4: Calidesa de la llum i temperatura de color (Font Viquipèdia).

- **Luminància L_v :** es defineix com la densitat angular i superficial de flux lluminós que emergeix d'una superfície dS seguint una direcció determinada i dins d'un angle sòlid $d\Omega$.

També es pot definir com el quocient de la intensitat lluminosa I_v d'una superfície i l'àrea aparent d'aquesta superfície.

Es refereix a la quantitat de llum que percep l'ull humà després de reflectir-se sobre la superfície de qualsevol objecte.

La unitat de luminància en el SI és $\text{cd/m}^2 = \frac{\text{lm}}{\text{m}^2 \text{srad}} = \frac{\text{cd}}{\text{m}^2}$.

La fórmula de la luminància és:

$$L_v = \frac{dF_v(\theta)}{dS_{\perp} d\Omega} = \frac{dI_v(\theta)}{dS_{\perp}} = \frac{dI_v(\theta)}{dS \cos \theta}$$

[J. Escofet Soteras, M. S. Millán García-Varela, E. Pérez Cabré. (2004) *Óptica geomètrica*.]

2.2. AGUDESESA VISUAL

L'agudesesa visual és la capacitat que té el nostre sistema visual per a distingir detalls de forma nítida i a una distància i condicions determinades. Per tant, ens indica la possibilitat de veure detalls d'un objecte sobre un fons uniforme o de veure que dos objectes llunyans molt propers estan, efectivament, separats.

L'agudesesa visual es mesura mitjançant optotips que el pacient ha d'identificar, tant en visió llunyana com llegint en visió propera.

L'agudesesa visual té diferents unitats de mesura, les utilitzades en aquest treball són:

L'agudesesa visual decimal, que s'obté a partir de la inversa de l'angle (amb minuts d'arc) que forma el mínim detall, s , de la lletra amb la distància d'observació. La mida de la lletra és 5 vegades la mida del detall.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

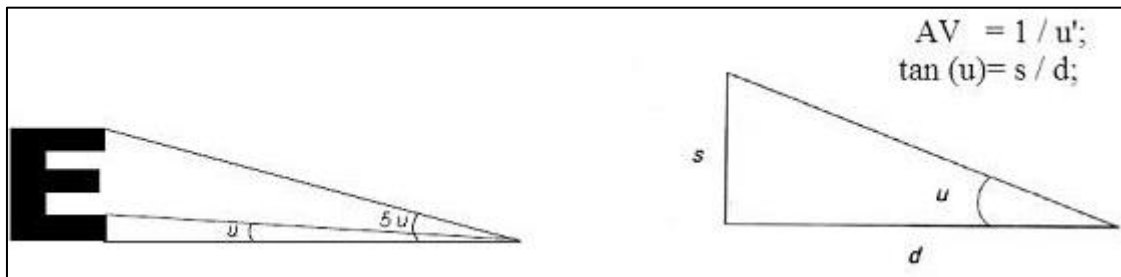


Figura 5: Representació del càlcul de l'agudesesa visual decimal amb una E de Snellen. (Font: <https://www.redalyc.org/journal/5396/539656981006/html/>)

L'altra unitat de mesura que he utilitzat és el LogMAR, que els valors d'agudesesa logarítmica s'obtenen calculant el logaritme de l'angle mínim de resolució (AMR). Per exemple, quan amb la notació decimal parlem d'AV 1, sabem que l'AMR és 1 minut d'arc. Com el logaritme de 1 és 0, l'AV logarítmica correspon a 0.

A les cartes d'optotips logMAR les lletres o símbols canvien de mida d'una línia a l'altra amb progressió geomètrica, multiplicant per un factor d'1'26. Amb aquesta progressió, cada 3 files es duplica la mida de les lletres. Si apliquem el logaritme a l'angle que subtendeix cada mida de la lletra, convertim la seqüència geomètrica en una seqüència lineal, en la que cada fila canvia 0,1 unitats de logMAR.

Per tant, com que cada línia conté 5 lletres podem assignar que a cada lletra el valor de 0'02logMAR. Així, es pot anar restant 0'02 unitats de logMAR, de la darrera fila llegida completa, per cada lletra que identifiqui el pacient de la següent fila, el qual permet estandarditzar la seva mesura. Aquest és el sistema de comptatge optomètric proposat per Bailey-Lovie. [Ian L. Bailey , Jan E. Lovie-Kitchin, (2013) *Visual acuity testing. From the laboratory to the clinic*].

[Bailey IL, Lovie JE (2013). *Prueba de agudeza visual. Del laboratorio a la clínica. Investigación de la visión* 90: 2-9].

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

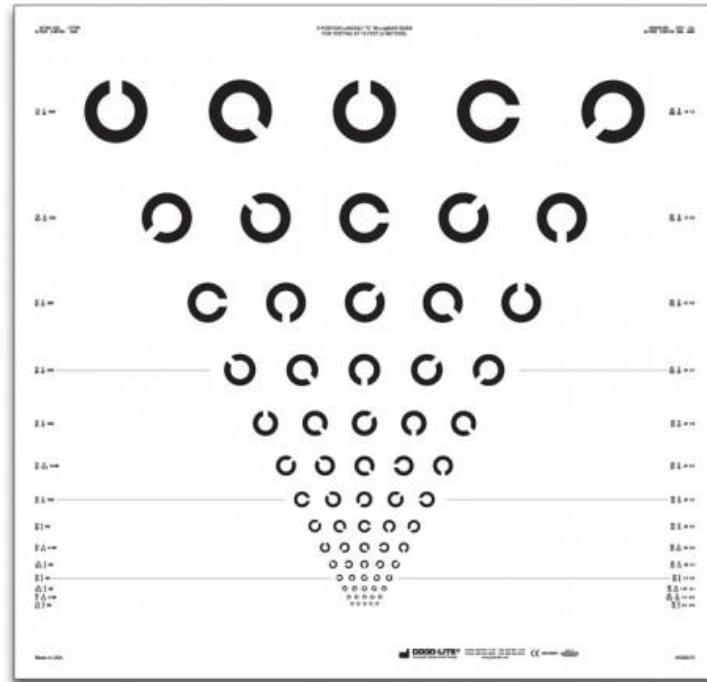


Figura 6: Carta d'anells de Landolt amb escala logarítmica. (Font: <https://www.precision-vision.com>)

Existeixen diferents optotips. L'utilitzat en aquest treball es l'anell de Landolt, que són circulars però amb un traçat no continu, sinó amb una discontinuïtat que el pacient ha d'identificar.

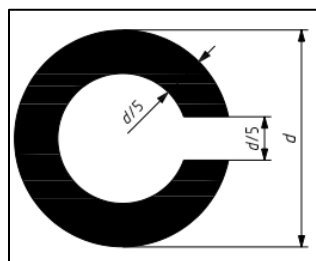


Figura 7: C de Landolt (Font: BSI (2009) *Ophthalmic optics — Visual acuity testing — Standard optotype and its presentation (ISO 8596:2009)*)

És normal en aquestes proves la presència de l'optotip en forma circular i en diferents mides i posicions. El pacient en aquest cas haurà de resoldre on està la discontinuïtat: amunt, avall, esquerra,...

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

3. MÈTODE EXPERIMENTAL

3.1. MATERIAL I MÈTODES

Per a la realització del mètode experimental s'ha utilitzat el material següent:

1. Luminancímetre: El luminancímetre ha estat el Minolta LS-100.



Figura 8: Luminancímetre utilitzat per al calibratge fotomètric.

Support: s'utilitza per fixar el luminancímetre.

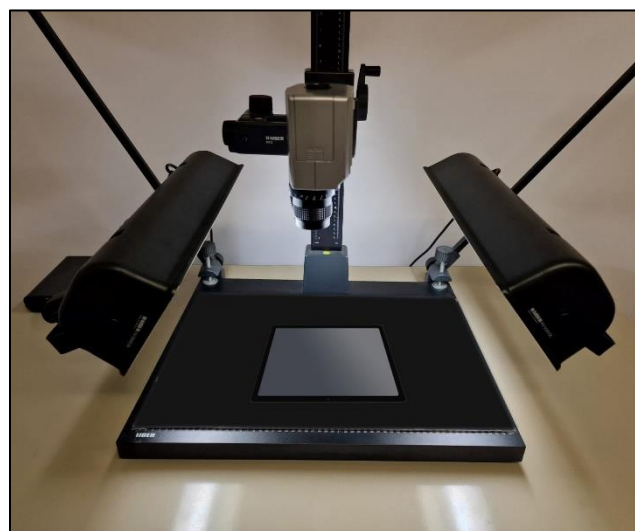


Figura 9: Estatu de reproducció del calibratge fotomètric.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

2. Lent d'aproximació: Lent positiva de potència +1.00D que s'adapta al luminancímetre per poder fer mesures a distàncies curtes.



Figura 10: Lent d'aproximació de +1.00D utilitzada al calibratge fotomètrica.

3. Tauleta:

La tauleta que es vol caracteritzar, la Samsung Galaxy Tab A7 SM-T500, presenta les característiques següents:

Marca	Samsung Galaxy Tab A7
Model	SM-T500
Número de sèrie	R9TR90GZBAF
Mides	247.6 x 157.4 x 7 mm
Pes	477g
Diagonal pantalla	10,4 polsades = 264 mm
Superfície pantalla	307,9cm ²
Nombre de píxels	2000 x 1200 píxels
Relació aspecte	5:3
Resolució	~ 224 ppi

Taula 1: Característiques de la tauleta Samsung Galaxy Tab A7 SM-T500.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

La tauleta permet els següents ajustaments:

- Mode clar o fosc. Es pot activar manualment o programar perquè s'activi segons l'hora del dia per geolocalització.
- Brillantor. Pot ser adaptativa o manual. En el mode adaptatiu la brillantor varia segons la llum que li arriba a la pantalla. En el mode manual la brillantor l'escull l'usuari que és com vam procedir.
- Escut de confort ocular. Permet escollir la temperatura de color de la pantalla.
- Mida i estil de la lletra. Permet augmentar o disminuir la mida de la lletra i variar la tipografia.
- Temps d'espera de la pantalla o temps d'apagada quan la tauleta no es fa servir. Vam triar el més llarg de tots.



Figura 11: Tauleta on s'ha fet tot el procediment.

(Font: <https://www.efecto2000.es/prod/tablet-y-ebook/207326-tablet-samsung-galaxy-tab-a7-t500-2020-104-3gb-32gb-gris-8806090707193.html>)

4. Màscara: A fi de seleccionar unes determinades zones de la pantalla de la tauleta s'ha elaborat una màscara de cartolina amb cinc forats quadrats segons ens mostra en la figura 11. En aquestes regions es mesurarà la luminància de la pantalla per després fer una mitjana ponderada.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

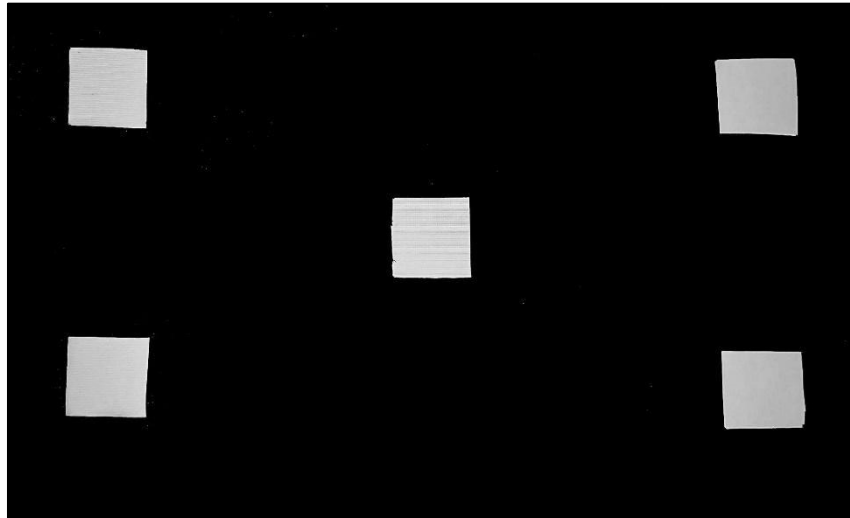


Figura 12: Cartolina utilitzada al calibratge fotomètric.

5. Espectroradiòmetre: És l'aparell utilitzat pel calibratge espectral i cromàtic de la tauleta, mesura la irradiància per a diferents TCC. Es tracta del model OHSP-350F que mesura la irradiància espectral de la tauleta en l'interval de longituds d'ona que va de 380-780 nm.

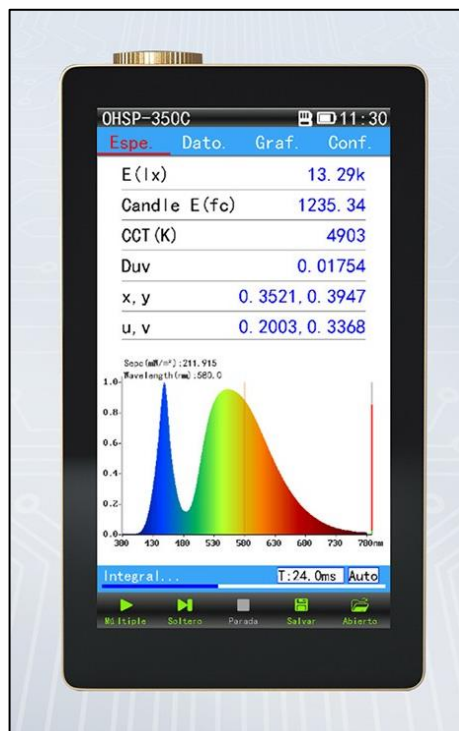


Figura 13: Espectroradiòmetre utilitzat per al calibratge espectral.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

6. Llum extensa: És tracta d'un llum tipus flexo que està col·locat en un racó i enfocat al costat contrari de la tauleta i s'utilitza com a llum d'ambient perquè l'observador no tingui la pupil·la tant midriàtica.



Figura 14: Llum puntual utilitzada a la mesura de les AV.

7. Mentonera: Peça que s'utilitza per recolzar la barbata i el front, perquè tots els pacients estiguin a la mateixa distància i que estava collada a la taula.
8. Oclusor: Estri utilitzat per a tancar un ull per tal de realitzar les mesures monocularment.



Figura 15: Oclusor.

9. Bancs òptics i suports: S'utilitzen per suportar la tauleta, perquè estigui a la mateixa distància per totes les mesures.
La figura 15 mostra la mentonera, els bancs òptics i el suport per aguantar la tauleta.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

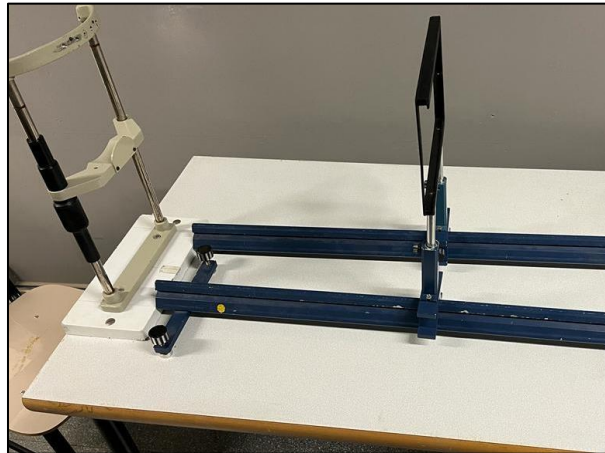


Figura 16: Esquema del muntatge per la presa de mesures de les AV per diferents TCC.

3.2. CALIBRATGE DE LA TAULETA

A fi de poder utilitzar la tauleta com a mitjà per a la presentació de tests visuals, és necessari fer-ne la caracterització espectral i cromàtica (amb un espectroradiòmetre) i fotomètrica (amb un luminàncímetre) per poder fer el disseny correcte dels tests.

3.2.1 CALIBRATGE ESPECTRAL I CROMÀTIC

El calibratge espectral i cromàtic consisteix a mesurar la irradiància espectral per a les diferents temperatures de color que ens proporciona la pantalla de la tauleta.

Amb el capçal de l'espectroradiòmetre perpendicularment a la tauleta i a 20 cm de distància vam mesurar la irradiància espectral de la pantalla per als deu modes que permet ajustar la tauleta.

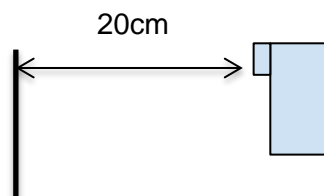


Figura 17: Esquema de la presa de mesures durant el calibratge espectral i cromàtic.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

3.2.2 CALIBRATGE FOTOMÈTRIC

El calibratge fotomètric consisteix a determinar la relació existent entre els diferents nivells de gris, NG, que pot assolir la imatge amb els seus corresponents valors de luminància.

Per fer això, en primer lloc he fet llenços acromàtics de 2000 x 1200 píxels, uniformes, de diferents nivells de gris, amb passos de cinc en cinc, des de 0 fins 255 NG. D'aquest conjunt de llenços se'n van agafar els quinze següents amb els NG següents:

255, 250, 230, 210, 190, 170, 150, 130, 110, 90, 70, 50, 30, 10, 0.

Mitjançant un luminancímetre vaig mesurar, amb la sala a les fosques, la luminància dels llenços anteriors en cinc punts diferents de la pantalla, per als quinze NG diferents i per a cinc TCC diferents: 7580K, 7260K, 6793K, 6132K i 5503K

Per afinar més en els resultats he pres mesures en cinc punts diferents de la pantalla, segons es mostra en la figura 18, i s'ha agafat el seu valor promig.

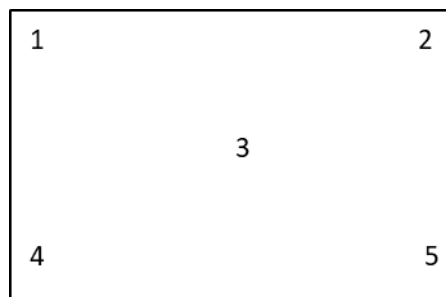


Figura 18: Esquema amb els llocs de mesura de luminància en la pantalla de la tauleta.

Degut que la distància entre el luminancímetre i la tauleta era molt curta el luminancímetre no podia prendre la mesura. Mitjançant l'acoblament d'una lent d'aproximació al luminancímetre es va poder enfocar la pantalla i realitzar la mesura.

El luminancímetre estava fixat a 50cm de la pantalla i per fer les cinc mesures es movia la tauleta, així m'assegurava que sempre es feia a la mateixa distància i inclinació.

3.3. REALITZACIÓ D'OPTOTIPS

En la realització d'optotips se'n van fer vuit de diferents, tots amb la mateixa tipologia, la C de Landolt, i amb la possibilitat que l'orientació de la C de Landolt estigui col·locada en vuit posicions diferents.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

A fi de que les posicions de les C siguin totalment a l'atzar, s'ha fet un programa que garanteix l'aleatorietat de les orientacions dels optotips en el test.

Quatre cartes d'optotips són amb passos de 0.1logMAR des de 0.1 fins a -0.2, és a dir des de 0.79 fins a 1.56 d'agudesesa visual decimal i les altres quatre cartes són amb passos de 0.02logMAR i també des de 0.1 fins -0.2logMAR.

Per fer aquests optotips s'ha utilitzat el programa d'edició d'imatges Photoshop. En primer lloc es necessitava saber quina era la C més gran que hi cabia en un llenç de 2000 x 1200 píxels.

La mida de l'anell de Landolt més gran era de 380 pts i mesurava 133mm de diàmetre exterior. Per tant, coneixent l' AV_{decimal} i la distància d'observació, 500mm, podem saber s i llavors la mida que ha de tenir la lletra, ja que aquesta és cinc vegades s.

Per exemple:

Si l' $AV = -0.2\text{logMAR}$, l'agudesesa decimal val: $AV_{\text{decimal}} = 10^{-(0.2)} = 1.58$

El valor de s vindrà donat per:

$$s = \frac{\pi \cdot \text{Dobs}}{10800 \cdot AV_{\text{decimal}}} = \frac{\pi \cdot 500}{10800 \cdot 1.58} = 0.092\text{mm}$$

I la mida de la lletra serà: $5 \cdot s = 0.459\text{mm}$, fent la proporció, corresponen a 1.31 pts.

En cada carta el conjunt d'optotips de diferent mida s'han posat en un llenç de 2000 x 1200 píxels que correspon a la mida de la pantalla de la tauleta. La figura 19 i 20 mostra la imatge d'una carta d'optotips.

Tal i com podem veure en la figura 19 la carta d'optotips de passos grans, de 0'1logMAR té una columna i quatre files, en cada una d'elles hi ha cinc anells de Landolt en posicions diferents. A la primera fila els pts utilitzats són 2'62 i una AV de 0'1logMAR, 0.79 AV_{decimal} .

La figura 20 esta representant l'optotip de passos petits, de 0'02logMAR, la qual té quatre columnes i quatre files diferents amb cinc anells de Landolt en posicions diferents. Al costat de cada fila hi ha representada l'AV decimal. Els optotips es llegeixen de d'alt a baix i al acabar la columna, es llegeix la primera fila de la segona columna.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

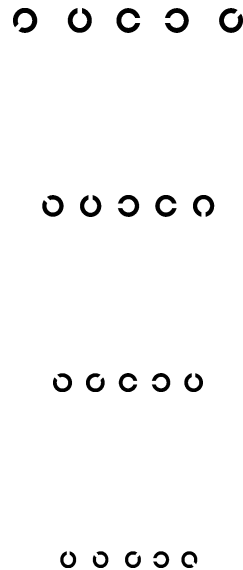


Figura 19: Versió ampliada d'una carta d'optotips de passos de 0'1 logMAR dels quatre utilitzats per a la presa d'AV per a diferents TCC.

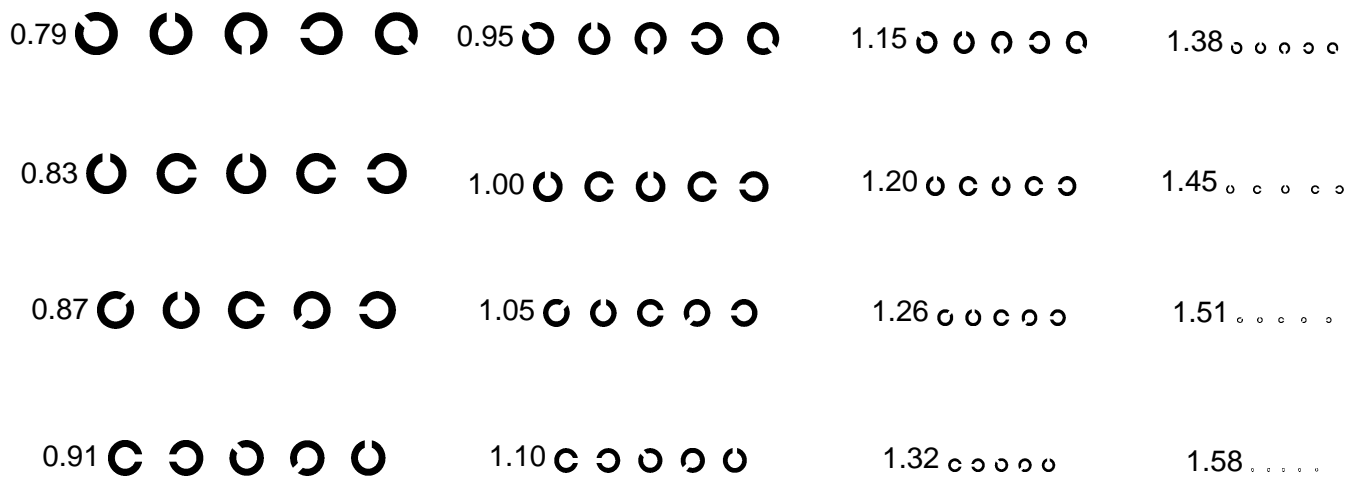


Figura 20: Versió ampliada d'una carta d'optotips de passos de 0'02 logMAR dels 4 utilitzats per la presa d'AV per a diferents TCC.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudes visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

3.4. CARACTERÍSTIQUES DEL GRUP D'OBSERVADORS

A l'hora d'escollir la mostra, s'han seguit els criteris d'inclusió següents:

- Tenir una edat entre 18 i 30 anys.
- No patir cap patologia ocular.
- Tenir una agudes visual decimal monocular en ambdós ulls en visió propera superior a 0.79.

La mida de la mostra analitzada ha sigut de 15 persones, les quals 10 eren dones i 5 eren homes d'edat 20.8 ± 1.2 anys. Tots ells compleixen els criteris que he esmentat.

3.5. REALITZACIÓ DE MESURES

Es presenten les cartes d'optotips en format pdf, a través de la pantalla de la tauleta. La tauleta està subjectada amb un suport de fusta pintat de color negre, per no desviar l'atenció de l'observador. A l'altura on els ulls del pacient quedin al centre de la tauleta.

Les mesures s'han pres amb la sala a les fosques i amb una llum extensa, tipus flexo encarada a un racó. L'observador posa la barbata i la front a una mentonera subjectada a la taula per no haver-hi cap canvi en la distància d'observació.

Aquests optotips s'han passat a quinze observadors monocularment.

Amb l'ull esquerre tapat per l'occludor, primer es passa una carta d'optotips a l'atzar de les quatre que tenen els passos grans ($\Delta \log \text{MAR} = 0.1$) i una altra a l'atzar dels 4 que tenen els passos petits ($\Delta \log \text{MAR} = 0.02$), amb la temperatura de color més freda, la màxima, 7850K. Després es repeteix el procés amb una carta d'optotips de passos grans i una altra de passos petits, totes dues triades a l'atzar, per la temperatura de color més càlida, mínima, 5500K. Finalment es repeteix tot el procediment per l'ull esquerre.



Figura 21: Pacient durant la presa de les AV per diferents TCC.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

4.1 CALIBRATGE DE LA TAULETA

4.1.1 CALIBRATGE ESPECTRAL I CROMÀTIC:

Pel que fa a l'anàlisi de resultats del calibratge espectral i cromàtic, la figura 22 mostra la irradiància espectral per les temperatures de color corresponents, TCC, de 7580K, 7204K, 6363K i 5500K.

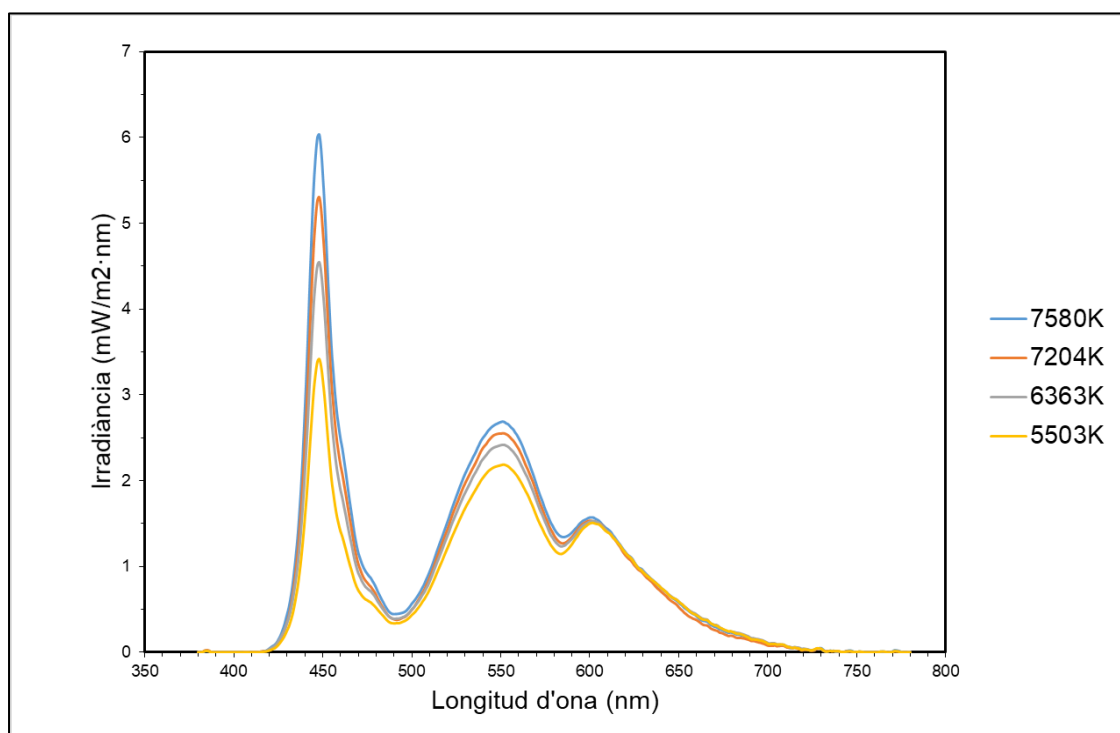


Figura 22: Representació gràfica de la irradiància espectral de la pantalla de la tauleta per a les diferents TCC

Al gràfic podem observar l'espectre típic d'una llum pc-LED, amb un pic a 450 nm (llum blava), un altre menys elevat a 550 nm (llum verda) i un altre aproximadament a 610 nm (llum vermella). Aquest gràfic també mostra que quan la llum és més freda (valor més alt de la TCC) la intensitat del pic blau és més gran. També s'observa que en tornar-se la llum més càlida (disminució de la TCC) la intensitat d'aquest pic disminueix.

La pantalla de la tauleta està formada per phosphor converted LED, pc-LED blancs, que es basen en l'aproximació d'un xip LED blau recobert d'un fòsfor groc. Tal com s'ha mencionat abans és possible originar llum blanca LED amb diferents TCC variant la quantitat, densitat i mida de les partícules de fòsfor. [Al-Amri, M. D., El-Gomati, M. M., & Zubairy, M. S. (2016). *Optics in our time. In Optics in Our Time* (pp. 1–504)].

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla



Figura 23: Esquematzació de l'obtenció de llum blanca pc-LED (Font: Al-Amri, M. D., El-Gomati, M. M., & Zubairy, M. S. (2016). *Optics in our time. In Optics in Our Time* (pp. 1–504))

4.1.2 CALIBRATGE FOTOMÈTRIC:

Pel que fa a l'anàlisi de resultats del calibratge fotomètric, les figures 24 i 25 en mostren el resultat. En aquests gràfics es pot observar la relació que formen la luminància amb els nivells de gris de la pantalla de la tauleta. A primer cop d'ull es veu que la relació no és lineal.

Analitzant el gràfic de la figura 24 es veu que a l'interval $0 \leq NG < 160$ la luminància decreix en augmentar la TCC. En canvi, a l'interval $160 < NG \leq 255$ la luminància creix en augmentar la temperatura de color. S'observa un punt d'invariància al voltant de $NG = 160$.

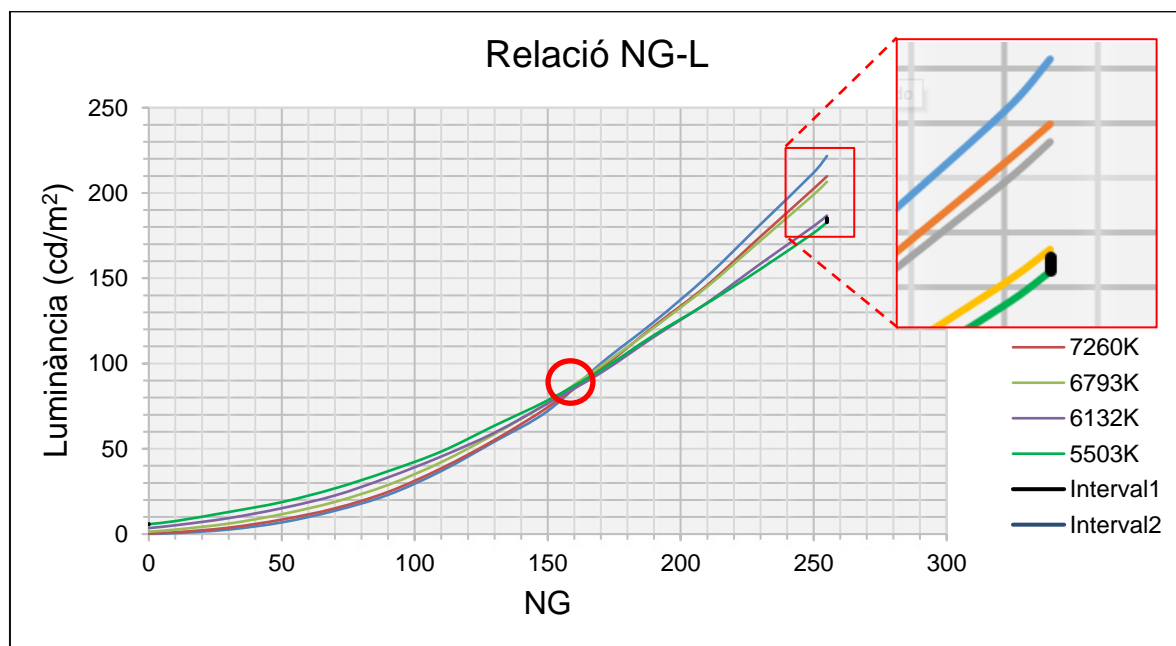


Figura 24: Representació gràfica de la luminància respecte els NG a les 5 TCC.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

A continuació analitzarem si aquest comportament és detectat per l'observador a partir de la llei de Weber del llindar diferencial, que és la mínima quantitat en la que pot canviar la intensitat d'un estímul per produir un canvi de sensació detectable. Weber va observar que la magnitud d'aquest llindar diferencial depenia de la intensitat de l'estímul de partida.

La llei de Weber es formula dient que l'increment de la magnitud que hauria d'experimentar un estímul perquè el subjecte el percebi que s'ha produït un canvi és una proporció constant de la seva magnitud inicial.

En el cas de la percepció de la luminància la llei de Weber s'expressa com:

$$K = \frac{\Delta L}{L}$$

On K és un valor constant o fracció de Weber, ΔL és el llindar diferencial i L la luminància de referència.

En el nostre cas s'ha determinat gràficament el valor de K a l'annex 1 a partir de [*Contrast Enhancement Using Sensitivity Model-Based Sigmoid Function, 2019, School of Electrical Engineering, Korea University, Seoul 02841, South Korea de Seung Park, Yong-Goo Shin , and Sung-Jea Ko , (Fellow, IEEE)*] trobant el valor de:

$$K = 0.013$$

A la figura 24 podem observar l'interval 1, on $\Delta L = L \times K = 182'84 \times 0'013 = 2'38 \text{ cd/m}^2$. Dels gràfics s'extreu que la diferència de valors de la luminància per NG = 255 entre la TCC=7580 K i 6132 K es $\Delta L = 3'94 \text{ cd/m}^2$, del que es dedueix que l'observador percebrà aquest canvi en el valor de la TCC per a aquest valor màxim de nivell de gris.

Si repetim el procés en l'interval 2 de la figura 24, on $\Delta L = 5'82 \times 0'013 = 0'076 \text{ cd/m}^2$ també es notarà la diferència.

Com es pot observar, els valors de llindar diferencial, de ΔL , són molt petits. En conseqüència, el subjecte nota la diferència de luminàncies en relació als NG extrems per a les diferents TCC corresponents. L'únic lloc on no es notarà aquesta diferència serà al voltant del punt d'intersecció o d'invariància de les diferents TCC (cercle vermell).

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudes visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

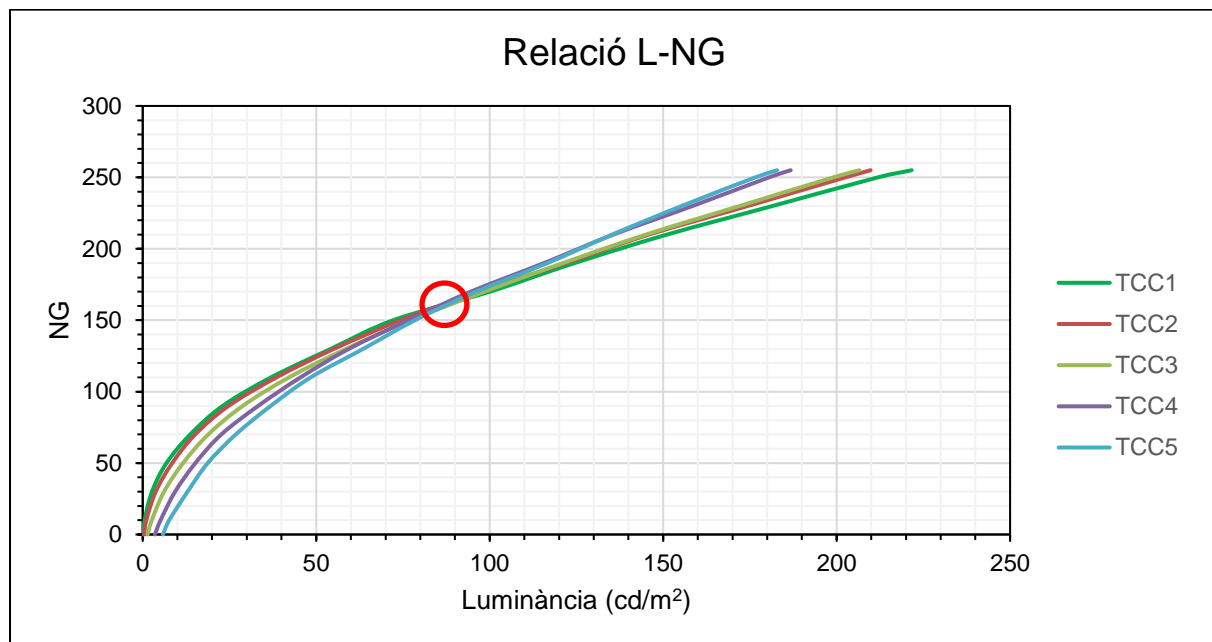


Figura 25: Representació gràfica de la luminància respecte els NG a les 5 TCC diferents (mateixa representació que en la figura y però a la inversa)

4.2 MESURES AGUDES VISUAL

Els resultats de les AV dels quinze observadors s'han representat en dos tipus de gràfics diferents: un de dispersió i l'altre de Bland-Altman.

Per a l'anàlisi dels resultats s'han considerat dos enfocaments diferents: per una banda, s'han comparat els valors logMAR emprats en dues temperatures de color diferents, la mínima de 5500K i la més freda de 7580K; per altra banda, s'han comparat les dues escales que s'han utilitzat per fer la carta d'optotips, una de passos grans de 0.1logMAR i l'altra de passos petits de 0.02logMAR.

A la figura 26 es compara la TCC= 5500K amb la TCC = 7580K en AU. En el gràfic (a) per l'escala gran 0.1logMAR i en el (b) per l'escala petita 0.02logMAR. En cadascun dels gràfics hi ha representada la bisectriu i el coeficient de correlació R.

En els dos gràfics de la figura 26 la correlació és molt elevada i es pot observar que la dispersió depèn de la magnitud, aquest fenomen s'anomena heteroscedasticitat [homoscedasticitat. (s. f.). Viquipèdia.

https://ca.wikipedia.org/wiki/Homoscedasticitat#Conseq%C3%BC%C3%A8ncies_d%27estimar_en_pres%C3%A8ncia_d%27heteroscedasticitat]. És a dir, per AV_{decimals} més altes (logMAR negatius), la dispersió és més elevada. Per tant, la distribució dels punts experimentals té forma de vano. A partir de logMAR = 0 hi ha com una mena de frontera, on es pot observar que per valors de logMAR baixos, AV_{decimals} elevades, la dispersió és més elevada.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

Si comparem el gràfic (a) de figura 26, que és el que compara les dues TCC per a l'escala gran, amb el gràfic (b), que és el que compara les dues TCC per a l'escala petita. Podem observar que en la figura (a) tot i ser la correlació molt alta, $R = 0.8654$, és menor que la de la figura (b), la de l'escala petita, amb una $R = 0.9622$, ja que hi ha un grau d'exactitud similar en els dos gràfics, però un grau de precisió major amb l'escala petita. El fet de que el núvol de punts és més gran en l'escala gran que en l'escala petita ens ho explica.

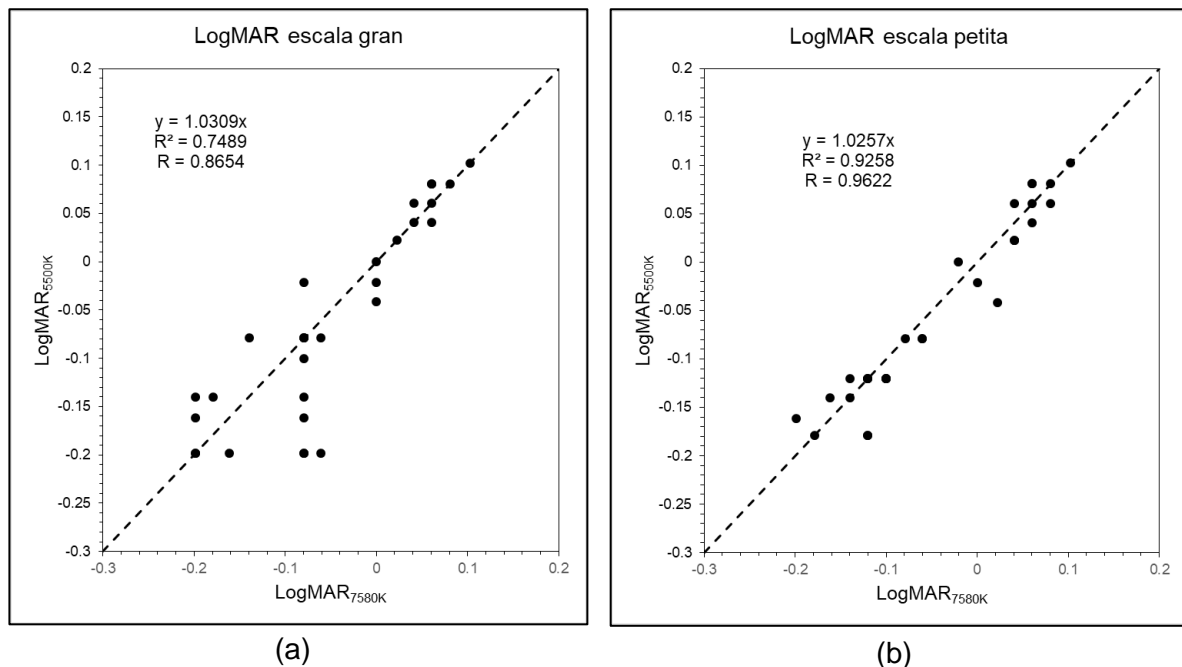


Figura 26: Representació de les mesures d'agudesesa visual monocular (ambdós ulls) per a les TCC extremes de 7580K i 5500K emprant, (a) l'escala gran i (b) l'escala petita. Als gràfics hi ha dibuixada la bisectriu ($R = 1$).

Una altra manera de representar les dades és mitjançant la representació de Bland-Altman.

En aquesta representació s'ha fet el mateix tipus de tractament que en les figura 26. Però en la figura 27, els gràfics són de la diferència entre $\log\text{MAR}_{7580\text{K}}$ i $\log\text{MAR}_{5503\text{K}}$ front a la seva mitjana.

Són gràfics més informatius que ens permeten investigar qualsevol relació possible entre l'error de mesurament i el valor real. La concordança aquí no es veu amb els coeficients de correlació, sinó amb que les diferències siguin molt properes a 0. La mitjana d'aquestes ens donarà el grau d'exactitud i que els límits de confiança del 95% siguin molt estrets, ens donaran la precisió .

En aquests gràfics s'han determinat els límits de confiança del 95%, descrits per Bland Altman. S'anomenen límits d'acord [J. Martin Bland, Douglas G. Altman.(1986) *Statistical methods for assessing agreement between*

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

two methods of clinical measurement]. De fet, aquests límits són l'interval on es trobaran el 95% de les diferències, són el biaix que resumeix la falta d'acord i permeten quantificar el desajust.

Per estimar aquest interval es fa a través de la mitjana de totes les diferències (M) i la desviació estàndard de les diferències (SD).

Límit superior= $M+2*SD$

Límit inferior= $M-2*SD$

La decisió de la concordança depèn del context en el que s'estan realitzant les mesures. En aquest cas, com s'ha dit abans, podem observar que les dades es dispersen més a mesura que augmenta el valor de l'AV_{decimal} (logMAR negatiu).

La mitjana del gràfic (c) de la figura 27 és de 0.0122 i els límits van de 0.1125 a -0.0882 i al gràfic (d) la mitjana és de 0.0079 i els límits van de 0.0565 a -0.0407.

Aquests valors ens indiquen que en el gràfic (d) hi ha menys dispersió i els resultats són més precisos si utilitzem l'escala petita de passos de 0.02logMAR.

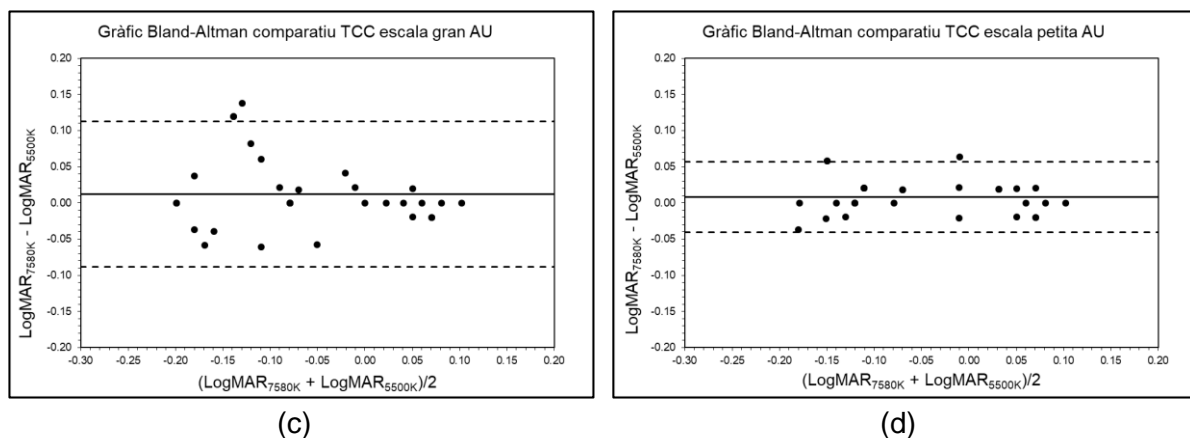


Figura 27: Representació de Bland-Altman de les mesures d'agudesesa visual monocular (ambdós ulls) per a les TCC extremes de 7580K i 5500K emprant, (c) l'escala gran 0.1logMAR i (d) l'escala petita 0.02logMAR. Als gràfics hi ha dibuixada la mitjana de les diferències i els límits de de confiança del 95%.

Durant la mesura de les agudeses visuals els subjectes manifestaven enlluernament i fatiga amb la TCC = 7580K però els feia la sensació de veure-ho més definit. En canvi, amb la TCC = 5500K no van manifestar cap queixa.

Per comprovar si realment el logMAR emprat en les dues TCC diferents de 7580K i 5500K són equivalents, es tracta de veure com s'assemblen les equacions de la figura 26 amb el

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudeza visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

model $y=x$. A través del programa Minitab s'ha calculat l'interval de confiança de cadascun dels 2 coeficient de la x .

Coeficient de la x	Interval del 95% de confiança
1.0309 (Escala gran)	(0.8487, 1.2131)*
0.9495 (Escala petita)	(0.8346, 1.0644)**

Taula 2: Valors extrets amb el Minitab per a la comprovació de les AV logarítmiques en les 2 TCC diferents, 7580K i 5500K.

Tant per a l'escala gran com per l'escala petita els intervals de confiança denoten que el coeficient de la x pot valer 1 i que el model $y = x$ és vàlid per a aquest ajustament i es pot considerar que ambdues AV logarítmiques són equivalents.

A continuació, es representa la comparació de l'escala logarítmica petita (passos de 0.02logMAR) enfront a l'escala logarítmica gran (passos de 0.1logMAR).

Aquesta caracterització s'ha fet amb l'objectiu de veure si la interpolació utilitzada clínicament en la carta de Bailey-Lovie, en la qual es resta 0.02logMAR per cada lletra llegida és correcta.

[Bailey IL, Lovie JE (2013). Prueba de agudeza visual. Del laboratorio a la clínica. Investigación de la visión 90: 2-9.].

En els dos gràfics de la figura 28, la correlació és molt similar i elevada. Pel gràfic (a) per la TCC freda, 7580K la $R= 0.9071$ i pel gràfic (b) per la TCC càlida, 5500K $R=0.9327$. La distribució de punts en els dos gràfics és homogènia al voltant de la bisectriu

Tot i haver fet les mesures amb les TCC extremes, 7580K i 5500K, que els coeficients de correlació siguin tant similars i elevats i que la distribució sigui homogènia, ens diu que la comparació d'escala és la mateixa sigui quina sigui la TCC.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudes visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

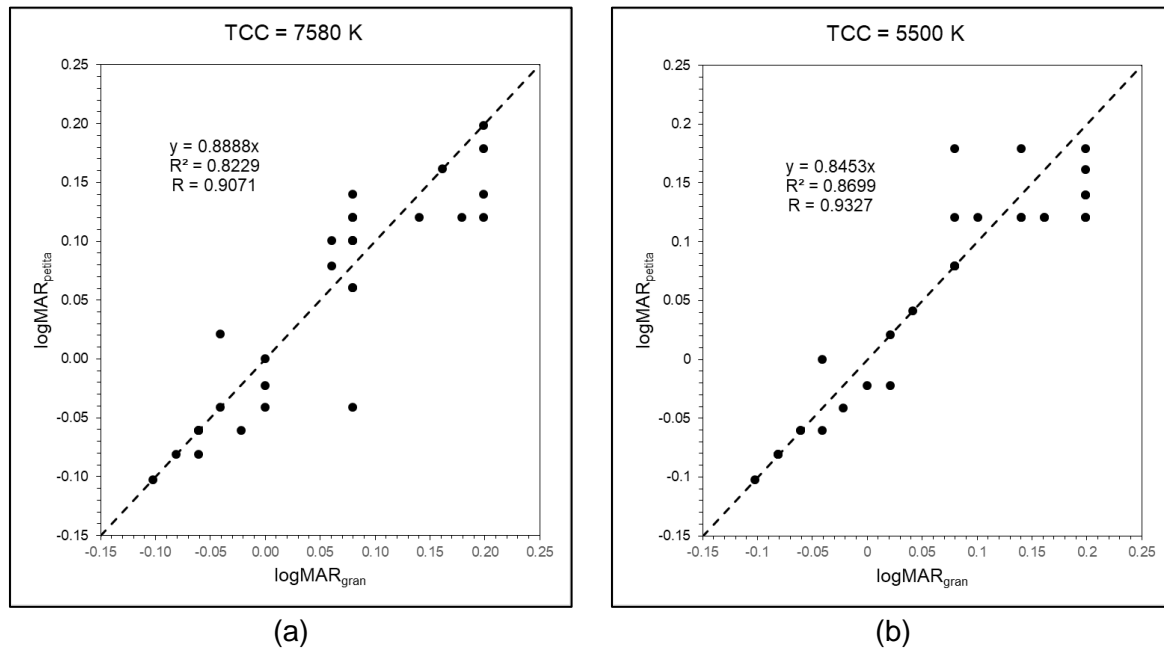


Figura 28: Representació de les mesures d'agudes visual monocular (ambdós ulls) per a l'escala petita ($\Delta\log\text{MAR} = 0.02$) i gran ($\Delta\log\text{MAR} = 0.1$) emprant, (a) TCC freda, 7580K i (b) la TCC més càlida, 5500K. Als gràfics hi ha dibuixada la bisectriu ($R = 1$).

En la representació de Bland-Altman de la figura 29 s'ha fet el mateix tractament de les dades de la figura 28. Són gràfics de la diferència entre $\log\text{MAR}_{\text{escalagran}}$ i $\log\text{MAR}_{\text{escalapetita}}$.

La mitjana del gràfic (c) de la figura 29 és de 0.0062 i els límits van de 0.0858 a -0.0734 i al gràfic (d) la mitjana és de 0.0104 i els límits van de 0.0848 a -0.0639.

Llevat a la distribució dels punts, es pot observar que pràcticament els dos gràfics de la figura 29 són iguals, ja que tant les mitjanes i els límits de confiança del 95% són quasi iguals.

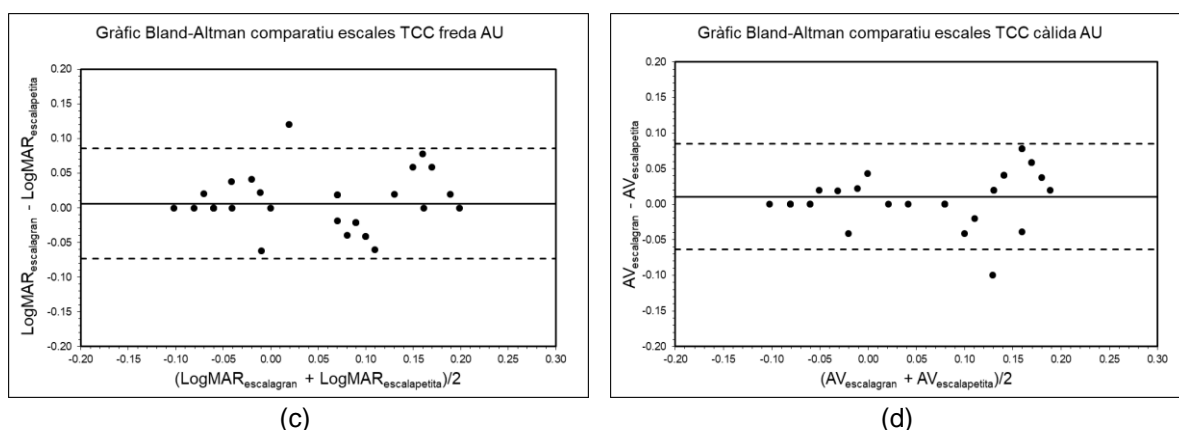


Figura 29: Representació de Bland-Altman de les mesures d'agudes visual monocular (ambdós ulls) per a les escales gran ($\Delta\log\text{MAR} = 0.1$) i petita ($\Delta\log\text{MAR} = 0.02$) emprant, (c) la TCC més freda,

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

7580K i (d) la TCC = 5500K. Als gràfics hi ha dibuixada la mitjana de les diferències i els límits de de confiança del 95%.

Podem treure la conclusió de que la TCC no afecta a la relació entre l'escala gran i petita. Les diferències obtingudes entre les dues escales es mantenen sigui quina sigui la TCC del fons que facis servir, és a dir no afecta a la semblança o diferència de resultats que puguis obtenir.

Per acabar de comprovar si realment ambdues escales són equivalents, es tracta de veure com s'assemblen les equacions de la figura 28 amb el model $y = x$. A través del programa Minitab s'ha calculat l'interval de confiança de cadascun dels 2 coeficient de la x .

Coeficient de la x	Interval del 95% de confiança
0.8888 (7850K)	(0.7527, 1.0249)*
0.8453 (5500K)	(0.7404, 0.9502)**

Taula 3: Valors extrets del Minitab per la comprovació de l'equivalència de ambdues escales.

* El valor de l'interval de confiança denota que el coeficient de la x pot valer 1 i que el model $y = x$ és vàlid per a aquest ajustament i es pot considerar que ambdues escales són equivalents.

**En aquest, cas el coeficient de la x mai no pot valer 1 i el model $y = x$ queda descartat per a l'ajustament (i, per tant, no podem considerar ambdues escales totalment equivalents) però, tot i així, les diferències mostrades entre les dues escales a 5500K (properes a 0.1) són similars a les obtingudes amb TCC = 7850K, tal i com s'ha comentat abans i, a més, l'interval de confiança de les diferències per a ambdues TCC presenta la mateixa amplada.

Aleshores, dels valors dels pendents de la taula 3, es pot afirmar que la mesura de l'AV amb l'escala petita dona valors logMAR significativament inferiors (per tant, valors d'AV_{decimal} majors) a 5500K que a 7850K. Aquesta diferència de comportament podria ser deguda a la reduïda mida de la mostra. Incrementant el número d'observadors, el més assenyat seria suposar que les relacions entre les dues escales a les dues TCC s'ajustessin al model $y = x$ de manera similar.

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

5. CONCLUSIONS

- El espectre de la pantalla de la tauleta és el típic d'una llum pc-LED o phosphor converted led.
- Quan la llum de la pantalla és més freda (valor més alt de la TCC) la intensitat del pic blau és més gran. També s'observa que en tornar-se la llum més càlida (disminució de TCC) la intensitat d'aquest pic disminueix.
- La relació entre els nivells de gris de la tauleta i els valors de luminància és no lineal.
- L'observador percep les diferències de luminància per als deu modes de TCC diferents de la pantalla en els valors extrems del rang de nivell de grisos.
- A aproximadament $NG = 160$ i per una luminància d'aproximadament $85-90 \text{ cd/m}^2$ hi ha un punt d'invariància de la TCC i un interval al voltant d'ell on l'observador no percep les diferències de luminància.
- El logMAR mesurat als quinze observadors en les dues TCC, 7580 K i 5500 K és equivalents tant per l'escala petita ($\Delta\text{logMAR} = 0.02$) com per l'escala gran ($\Delta\text{logMAR} = 0.1$)
- Per TCC = 7580 K l'escala gran ($\Delta\text{logMAR} = 0.1$) i l'escala petita ($\Delta\text{logMAR} = 0.02$) són equivalents.
- Per TCC = 5500 K l'escala gran ($\Delta\text{logMAR} = 0.1$) i l'escala petita ($\Delta\text{logMAR} = 0.02$) no són equivalents probablement degut a la reduïda mostra de pacients.
- La TCC no afecta la relació que hi ha entre l'escala gran ($\Delta\text{logMAR} = 0.1$) i la petita ($\Delta\text{logMAR} = 0.02$).

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudeza visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

REFERÈNCIES

J.M. Artigas, P. Capilla, A. Felipe i J. Pujol (1995) *OPTICA FISIOLÒGICA, Psicofísica de la visió.*

S.S Stevens, Lawrence E. Marks (1986) *PSYCHO-PHISICS, Introduction to Its Perceptual, Neural, and Social Prospects.*

Contrast Enhancement Using Sensitivity Model-Based Sigmoid Function (2019) School of Electrical Engineering, Korea University, Seoul 02841, South Korea de Seung Park, Yong-Goo Shin , anf Sung-Jea Ko , (Fellow, IEEE)

Homoscedasticitat. (s.f.). Viquipèdia.

https://ca.wikipedia.org/wiki/Homoscedasticitat#Conseq%C3%BC%C3%A8ncies_d%27estimar_en_pres%C3%A8ncia_d%27heteroscedasticitat

J. Martin Bland, Douglas G. Altman.(1986) *Statiscal methods for assessing agreement bwtween two methods of clinical measurement*

Bailey IL, Lovie JE (2013). *Prueba de agudeza visual. Del laboratorio a la clínica. Investigación de la visión 90: 2-9*

BSI (2009) *Ophthalmic optics — Visual acuity testing — Standard optotype and its presentation (ISO 8596:2009)*

Prof. Teresa Matilla Rodríguez, Prof. Dr. Guillermo Bueno del Romo, *Optonet Vision Unit* www.optonet.es

Ian L. Bailey , Jan E. Lovie-Kitchin, (2013) *Visual acuity testing. From the laboratory to the clinic.*

J. Escofet Soteras, M. S. Millán García-Varela, E. Pérez Cabré. (2004) *Óptica geomètrica.*

Al-Amri, M. D., El-Gomati, M. M., & Zubairy, M. S. (2016). *Optics in our time. In Optics in Our Time (pp. 1–504)*

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

ANNEXOS

Annex 1.

Determinació de K en la percepció de luminàncies:

Segons el gràfic de la figura 29 de la referència [*Contrast Enhancement Using Sensitivity Model-Based Sigmoid Function, 2019, School of Electrical Engineering, Korea University, Seoul 02841, South Korea de Seung Park, Yong-Goo Shin , anf Sung-Jea Ko , (Fellow, IEEE)*] a partir de l'eix vertical podem trobat el valor de K.

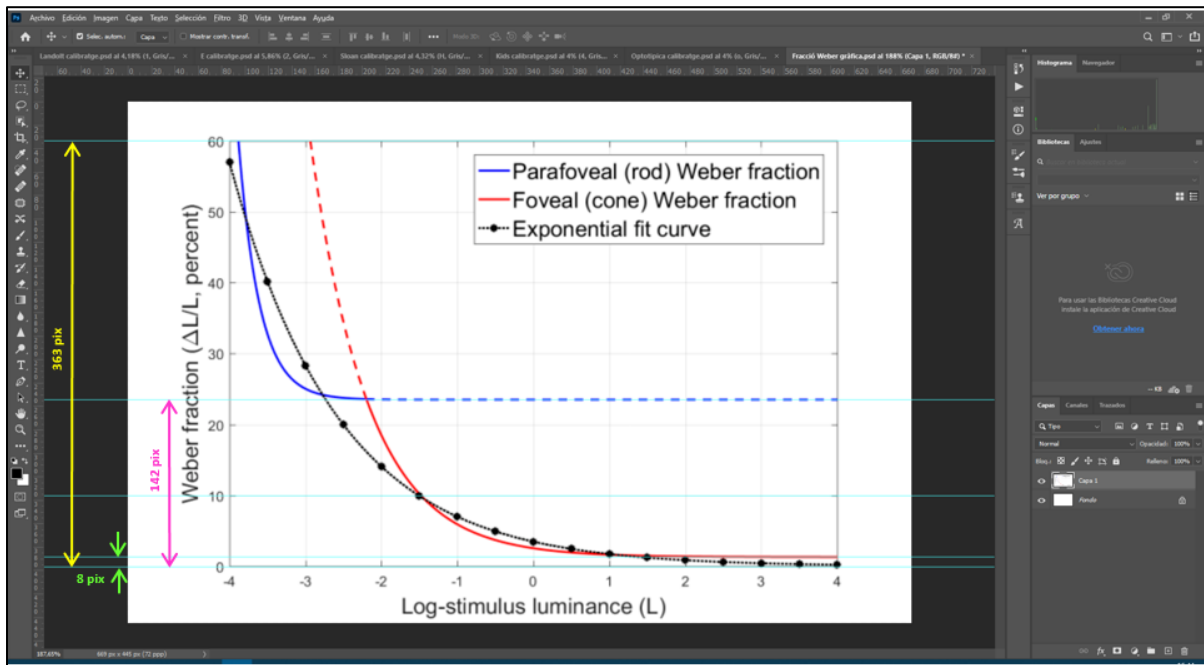


Figura 28: Extrapolació de la fracció de Weber de manera gràfica amb Photoshop.

Aquest gràfic fa referència a l'article *Contrast Enhancement Using Sensitivity Model-Based Sigmoid Function, 2019, School of Electrical Engineering, Korea University, Seoul 02841, South Korea de Seung Park, Yong-Goo Shin , anf Sung-Jea Ko , (Fellow, IEEE)* que replica els resultats de *G.Wyszecki and W. S. Stiles, Color Science. New York, NY, USA:Wiley,1982.*

D'aquesta gràfica es pot extrapolar el valor de la fracció de Weber de manera gràfica amb Photoshop, posant les guies de manera acurada. Llavors, fent una proporció, en traiem el valor:

$$\frac{0.6}{363} = \frac{K}{8} \Leftrightarrow K = 0,013$$

Caracterització espectral i fotomètrica d'una tauleta. Mesura de l'agudesesa visual sota diferents temperatures de color de la pantalla

Annex 2:

SEXE	EDAT	UD				UE			
		$\Delta\text{LogMAR} = 0.1$		$\Delta\text{LogMAR} = 0.02$		$\Delta\text{LogMAR} = 0.1$		$\Delta\text{LogMAR} = 0.02$	
		$\log\text{MAR}_{750\text{K}}$	$\log\text{MAR}_{550\text{K}}$	$\log\text{MAR}_{750\text{K}}$	$\log\text{MAR}_{550\text{K}}$	$\log\text{MAR}_{750\text{K}}$	$\log\text{MAR}_{550\text{K}}$	$\log\text{MAR}_{750\text{K}}$	$\log\text{MAR}_{550\text{K}}$
F	21	0.161	0.199	0.161	0.140	0.199	0.199	0.199	0.161
F	21	0.140	0.079	0.121	0.179	0.199	0.140	0.121	0.179
M	21	0.079	0.161	0.121	0.121	0.079	0.199	0.121	0.121
F	21	0.179	0.140	0.121	0.121	-0.041	-0.041	0.021	0.000
M	19	0.199	0.199	0.179	0.179	0.199	0.161	0.140	0.121
F	21	0.061	0.199	0.100	0.121	-0.060	-0.041	-0.081	-0.060
F	19	0.079	0.199	0.140	0.140	0.079	0.079	0.061	0.079
F	21	0.079	0.100	0.100	0.121	0.079	0.140	0.100	0.121
F	20	0.061	0.079	0.079	0.079	0.079	0.079	0.061	0.079
M	24	-0.102	-0.102	-0.102	-0.102	0.000	0.021	0.000	0.021
M	22	0.079	0.079	0.100	0.121	-0.022	-0.022	-0.060	-0.041
F	20	-0.060	-0.081	-0.060	-0.081	-0.081	-0.081	-0.081	-0.081
F	21	-0.041	-0.060	-0.041	-0.060	-0.060	-0.060	-0.060	-0.060
F	20	-0.060	-0.081	-0.060	-0.081	0.079	0.021	-0.041	-0.022
M	21	0.000	0.000	-0.041	-0.022	0.000	0.041	-0.022	0.041

Taula 4: Resultats de les AV logarítmiques emprades per les dues TCC diferents, 7850K i 5500K dels 15 observadors escollits.