

DISEÑO DE UN INSTRUMENTO PARA VALORAR LA AGUDEZA VISUAL DEL OJO HUMANO POR MEDIO DE DISTINTOS ESTIMULOS VISUALES

DESIGN OF AN INSTRUMENT TO ASSESS THE VISUAL ACUITY OF THE HUMAN EYE USING DIFFERENT VISUAL STIMULI

Miguel Angel Ortega Carrillo

Universidad de Guanajuato, México
ma.ortegacarrillo@ugto.mx

Geovanni Hernández Gómez

Universidad de Guanajuato, México
geov.hernandez@ugto.mx

Luis Manuel Ledesma Carrillo

Universidad de Guanajuato, México
lm.ledesma@ugto.mx

Recepción: 12/noviembre/2025

Aceptación: 28/diciembre/2025

Resumen

El presente trabajo de investigación propone el diseño de un instrumento digital para valorar la agudeza visual del ojo humano frente a distintos estímulos visuales, emulando la tradicional prueba de Snellen. El objetivo es desarrollar un sistema preciso y confiable que proporcione una medición cuantitativa de la visión humana, considerando estímulos como movimiento, contraste, distancia y tamaño de los optotipos. La metodología incluye la caracterización de la prueba de Snellen, la implementación de un arreglo óptico, experimentación con un grupo de *sujetos* de prueba, el procesamiento y análisis de datos para obtener resultados objetivos. Se espera que el dispositivo tenga un impacto positivo en la conciencia de la salud visual, proporcionando un método accesible y de bajo costo para un posterior diagnóstico temprano de problemas refractivos. La implementación de este instrumento puede contribuir significativamente en las áreas de salud visual y tecnología, facilitando la detección y monitoreo de enfermedades visuales.

Palabras Clave: Agudeza visual, Prueba de Snellen, estímulo visual, ojo humano, optotipo.

Abstract

This research paper proposes the design of a digital instrument to assess the visual acuity of the human eye in response to different visual stimuli, emulating the traditional Snellen test. The objective is to develop a precise and reliable system that provides a quantitative measurement of human vision, considering stimuli such as motion, contrast, distance, and the size of the optotypes. The methodology includes the characterization of the Snellen test, the implementation of an optical array, experimentation with a group of test subjects, and the processing and analysis of data to obtain objective results. The device is expected to have a positive impact on visual health awareness by providing an accessible and low-cost method for the subsequent early diagnosis of refractive problems. The implementation of this instrument could contribute significantly to the field of visual health and technology, facilitating the detection and monitoring of visual diseases.

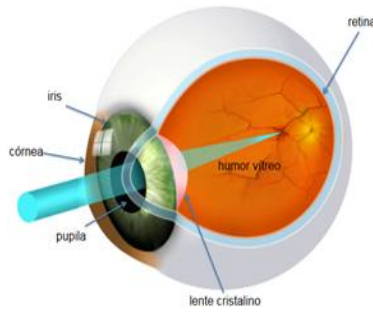
Keywords: Visual acuity, Snellen Test. Visual stimuli, human eye, optotype.

1. Introducción

El ojo humano es sin duda el instrumento óptico más importante que existe, y al igual que los instrumentos ópticos diseñados por el hombre, el ojo humano también tiene sus limitaciones [Malacara, 2015]. Es bastante simple, ya que está constituido por menos lentes que cualquier sistema sofisticado.

La Figura 1 muestra la estructura del ojo humano con las partes principales y esenciales que lo conforman.

La córnea está diseñada para transmitir luz hacia dentro del ojo, y, además, es el principal componente óptico en este sistema, que induce a los haces de luz a cambiar de dirección. Los componentes celulares y extracelulares, que le dan forma a la córnea, presentan la misma composición química básica de otras células y tejidos del cuerpo que normalmente esparcen la luz extensamente, lo que hace que sean opacos. Sin embargo, la forma en que se encuentran organizados las células y demás componentes que le dan forma a la córnea, reduce la variabilidad del índice de refracción dentro de ella y, por lo tanto, también el esparcimiento [Benedek, 1971].



Fuente: [Pérez, 2011]

Figura 1 Diagrama del ojo humano.

La pupila del ojo regula la cantidad de luz que llega a la retina y además determina la contribución de difracción y aberraciones a la calidad de la imagen retiniana. Para pupilas pequeñas, la calidad óptica depende de la difracción y el efecto de las aberraciones es pequeño, mientras que, para pupilas grandes, la contribución de las aberraciones domina sobre la difracción. El tamaño óptimo de pupila que proporciona la mejor calidad óptica depende de la magnitud y distribución de las aberraciones en cada ojo; ese tamaño óptimo se sitúa, en promedio, en torno a 3 mm . La mejor calidad de imagen se obtendría con un ojo ideal libre de aberraciones y el mayor diámetro de pupila; es decir, cercano a los 8 mm , propio de un individuo joven [Marcos, 2005].

El lente cristalino es un lente flexible, que se encuentra entre la córnea y la retina. La función del lente cristalino es recoger los rayos de luz que entran al ojo y dirigirlos enfocados a la retina. Para poder llevar a cabo su función, el lente cristalino tiene dos propiedades ópticas principales que son, como en la córnea, la transparencia y el poder de refracción [Krag, 2003].

Aunque el ojo humano es menos complejo que muchos sistemas ópticos artificiales, que a menudo comprenden muchos lentes, esta estructura simple se adapta bien a los requisitos del sistema visual: la formación de imágenes de buena calidad de los objetos, colocados a diferentes distancias en un gran campo de visión [Artal, 2015], esto gracias al cristalino, el cuál posee un índice de refracción graduado lo cual le permite corregir aberraciones de forma pasiva y eficiente, que además, al ser un lente flexible y que no es perfectamente esférica, posee una curvatura o poder de convergencia que puede ser cambiada a voluntad lo cual propicia enfocar la imagen

sobre la retina [Malacara, 2015] a diferencia de los sistemas ópticos artificiales que necesitan múltiples lentes para corregir aberraciones. Una aberración óptica puede describirse como una imperfección en el sistema óptico, produciendo imágenes defectuosas que no permite obtener una copia clara y exacta del objeto de fijación. Las aberraciones ópticas más comunes son el astigmatismo y miopía.

Existen enfermedades patológicas que afectan al ojo humano. La miopía, hipermetropía, astigmatismo y glaucoma son las más comunes. Todas estas enfermedades a excepción del glaucoma, pueden identificarse mediante un examen ocular básico de agudeza visual. La agudeza visual se define como la capacidad del sistema visual para diferenciar dos puntos próximos entre sí y separados por un ángulo determinado [Aguado, 2016]. Un examen de agudeza visual se realiza por medio de la prueba de Snellen, el cual consiste en leer una serie de letras de distintos tamaños que están plasmadas en un cartel sobre la pared, la persona se encuentra a 6 metros de distancia de él, conforme la persona muestre dificultad para leer las letras, puede concluirse si hay algún problema con la salud visual de la persona. Cuando la imagen no está enfocada sobre la retina es necesario el uso de lentes con el fin de corregir el error de refracción presente. La Figura 2 muestra dos aberraciones en el ojo humano (miopía e hipermetropía) y un ojo saludable (emétrope). Decimos que el ojo es emétrope cuando no tiene defectos de refracción, y amétrope cuando sí los tiene [Malacara, 2015].

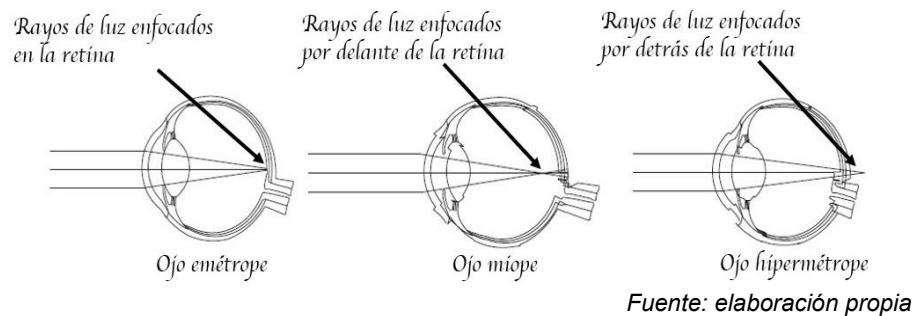


Figura 2 Aberraciones comunes del ojo humano.

Si el ojo es amétrope, la corrección se puede hacer con lentes de contacto colocados sobre la córnea, o por medio de anteojos colocados en armazones especiales de tal manera que la superficie posterior (vértice) de la lente esté a

14 mm de distancia de la córnea. Si se cambia esta distancia se altera la potencia efectiva de la lente, porque cambia el efecto de los lentes sobre la luz que entra en el ojo, esto se debe a los principios de la óptica geométrica, específicamente a cómo los lentes divergentes y convergentes forman imágenes. Existen dos tipos de ametropías, ametropía esférica y ametropía no esférica. A su vez existen dos clases de ametropía esférica: la miopía y la hipermetropía [Malacara, 2015]. Un ojo con miopía, se define como un error refractivo esférico causado por una potencia de refracción excesiva en relación con la curvatura corneal y el grosor del cristalino y/o aumento del diámetro anteroposterior del globo ocular, los cuales producen una refracción de la luz a un punto focal por delante de la retina [Cavazos-Salias, 2019]. El astigmatismo es la condición óptica en la cual los rayos de luz paralelos que inciden en el ojo no son refractados igualmente por los meridianos principales, es decir tienen diferente poder refractivo [Bermúdez, 2006]. Si el ojo relajado enfoca la imagen de objetos muy lejanos detrás de la retina, decimos que el ojo tiene hipermetropía. Un ojo hipermetrope puede ver con claridad los objetos simplemente aumentando su potencia mediante la acomodación, pero entonces el ojo nunca estará relajado, es decir sin acomodación, ni siquiera para objetos lejanos [Malacara, 2015].

Pueden existir otros factores adicionales a las enfermedades patológicas mencionadas, la prolongada exposición de la vista a las pantallas de los dispositivos electrónicos que forman parte del día a día, desde celulares, computadoras, tablets, pantallas de televisión, hasta las nuevas tecnologías de realidad virtual como los Apple vision Pro y Meta Quest, que al ser dispositivos nuevos en el mercado, no se tiene la certeza de cuanto daño visual pueden causar, pero que se sabe con seguridad que lo habrá, debido a que su uso sería prácticamente la mayor parte del tiempo. La edad es otro factor, ya que conforme la persona crezca, el deterioro visual es comprensible. El estudio para la comprensión de la agudeza visual del ojo humano a distintos estímulos como contraste, distancia, cambios de movimiento, es relevante en varias disciplinas. En ingeniería puede ser de gran importancia para el desarrollo de prototipos, instrumentos y aplicaciones dirigidas al comportamiento y monitoreo del ojo humano. Con la finalidad de realizar mediciones, que permitan

obtener parámetros como la agudeza visual, el ángulo de visión, etc, que puedan ayudar a determinar el estado actual del ojo humano. Este estudio es la base para el diseño y desarrollo del instrumento de medición que pueda valorar la agudeza visual del ojo humano de manera eficaz y confiable utilizando la tecnología para emular la prueba de Snellen.

Estado del Arte

La digitalización de las pruebas de agudeza visual ha experimentado un crecimiento significativo en los últimos años gracias al desarrollo de dispositivos móviles, sistemas de proyección calibrados y plataformas de evaluación visual automatizada. El objetivo de estas iniciativas ha sido reproducir las condiciones estandarizadas de pruebas como Snellen o Estudio para el Tratamiento Temprano de la Retinopatía Diabética (ETDRS/ Early Treatment Diabetic Retinopathy Study), y a su vez introducir nuevas capacidades como control de luminancia, captura automática de respuestas y registro de datos en tiempo real. Diversos estudios han demostrado que los optotipos digitales pueden igualar o incluso superar la precisión de las pruebas físicas tradicionales cuando se calibran adecuadamente. Marmor [2020] señala que las cartas digitales permiten ajustar con precisión el tamaño angular de los optotipos, garantizando una visualización equivalente a los estándares logMAR sin depender de impresiones físicas, las cuales pueden presentar variabilidad en contraste, desgaste o iluminación ambiental. Otras investigaciones adicionales, realizadas por [Lee et al., 2021], han evaluado la consistencia de las pruebas digitales entre diferentes pantallas y proyectores, concluyendo que, bajo condiciones controladas, los resultados son comparables con las pruebas clínicas convencionales. El uso de aplicaciones móviles también ha incrementado la accesibilidad a la evaluación visual. Peek Acuity, desarrollada por [Bastawrous et al., 2015], ha sido validada clínicamente en diversos países de bajos recursos, demostrando ser una alternativa viable para campañas comunitarias de salud visual. Este tipo de herramientas aprovechan la portabilidad de los dispositivos móviles y su capacidad para registrar información automáticamente, aunque presentan limitaciones relacionadas con variaciones en tamaño de pantalla, brillo y

calibración del dispositivo. En años recientes, las pruebas digitales se han expandido hacia el análisis de estímulos visuales más complejos, como variaciones de contraste, movimiento y luminancia. [Ponce-García et al., 2025] desarrollaron y validaron OPTOTAB®+, un dispositivo digital que permite evaluar tanto la agudeza visual como la sensibilidad al contraste de manera integrada, demostrando una alta correlación con los métodos clínicos de referencia. Por su parte [Channa et al., 2023] propusieron un modelo de evaluación automatizada basado en respuestas oculares capturadas mediante cámaras de alta velocidad, integrando algoritmos de machine learning para la detección temprana de defectos refractivos. Otro avance relevante es la incorporación de realidad virtual (VR) y aumentada (AR) en la evaluación visual. [Zhou et al., 2023] diseñaron un entorno inmersivo para medir la agudeza visual bajo condiciones de contraste variable y movimiento, demostrando que estos sistemas pueden simular condiciones visuales reales de manera más fiel que las pruebas estáticas. Sin embargo, su elevado costo y complejidad técnica limitan su adopción en entornos no especializados. A pesar de estos avances, muchos de los sistemas actuales dependen de dispositivos especializados o requieren procedimientos de calibración complejos que limitan su implementación en entornos educativos o comunitarios. En este sentido, el instrumento propuesto en el presente trabajo aporta una alternativa accesible y replicable, al emplear un proyector convencional y un entorno óptico controlado para garantizar la proporcionalidad de los optotipos, manteniendo la estructura de la prueba de Snellen y añadiendo la capacidad de registrar respuestas de manera automatizada. A diferencia de aplicaciones móviles que dependen de la calibración individual del dispositivo, nuestro sistema se basa en un arreglo óptico fijo que asegura la estandarización de la prueba, ofreciendo así un equilibrio entre precisión, accesibilidad y bajo costo.

2. Métodos

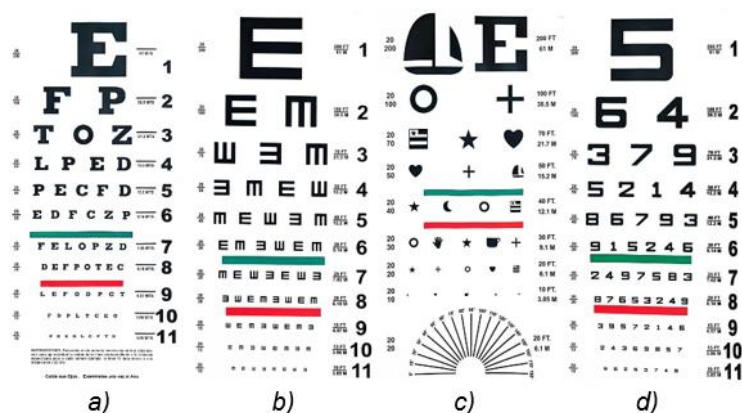
Para el desarrollo de este proyecto se llevan a cabo 2 fases: la primera es la caracterización de la Prueba de Snellen y la segunda es la digitalización de la prueba de Snellen. La primera fase consiste en estudiar y entender todo lo que

engloba la prueba física, desde cómo se realiza la prueba, los pasos que se deben seguir, conocer la distancia a la que se efectúa la prueba, por mencionar las más importantes, esto es primordial para posteriormente digitalizar la prueba elaborando un entorno controlado con un arreglo óptico que emule la prueba real.

La segunda fase es la recolección de datos a través de la medición de los ojos de *sujetos* de prueba de un grupo heterogéneo. Esta base de datos es con la cual se efectúa un procesamiento de forma que se utilizan para obtener una valoración de la agudeza visual y la salud visual general del usuario.

Caracterización de la carta de Snellen

Para obtener una valoración de la agudeza visual el método más utilizado es por medio de la prueba de la carta de *Snellen*, que utiliza optotipos estandarizados los cuales son un conjunto de letras, signos o figuras de diversos tamaños como se muestra en la Figura 3. La carta de la Figura 3a es la carta más común y tradicional de la carta de Snellen. La carta de la Figura 3b es usada para personas que no saben leer o no saben el alfabeto latino, donde la persona debe indicar la orientación (arriba, abajo, izquierda, derecha) de la letra E. La carta de la Figura 3c está diseñada para niños que aún no saben leer ni reconocer letras o números, también es útil para personas con dificultades cognitivas o de lenguaje. La carta de la Figura 3d es utilizada para niños que saben reconocer números, pero no letras, siendo niños pequeños que ya pueden identificar números.



Fuente: elaboración propia

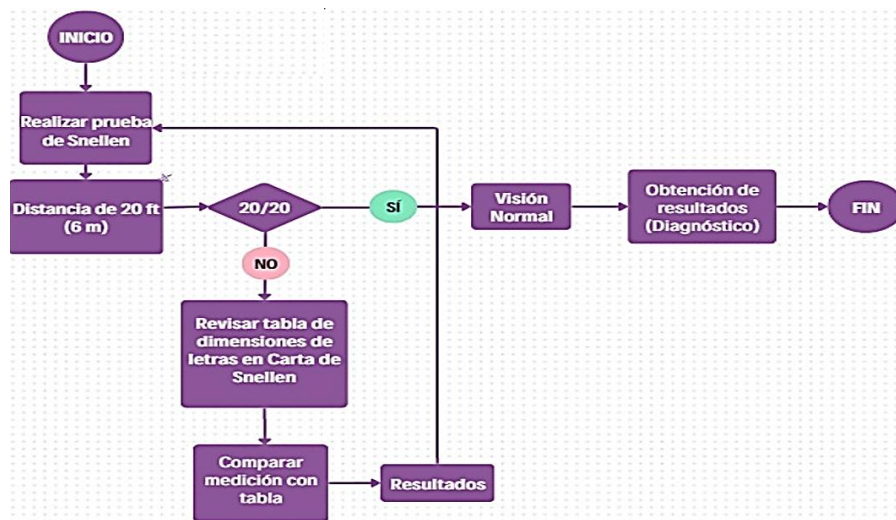
Figura 3 Optotipos estandarizados.

Las características de los optotipos estandarizados son las siguientes [Aguado, 2016]:

- Todas las letras o símbolos tienen una legibilidad similar.
- Todas las *líneas* de *optotipos* tienen el mismo número de letras o símbolos (idealmente, cinco).
- El espacio horizontal entre las letras o símbolos es igual su anchura y el espacio vertical entre las *líneas* es igual la altura de las letras o símbolos de la línea inferior.
- Utilizan como escala de medida el logaritmo del ángulo mínimo de resolución (logMAR).
- La diferencia entre cada *línea* es homogénea. Tiene una progresión geométrica y cada *línea* supone una variación de 0.1 *unidades* logarítmicas, lo que representa una diferencia en la agudeza de diez veces respecto a la *línea* adyacente.
- Los optotipos deben ser negros sobre un fondo blanco, con una luminancia de entre 80 y 160 cd/m^2 .

Es importante caracterizar el tamaño y tipo de optotipos, así como el procedimiento de exploración, debido a que permite obtener parámetros importantes, como identificar qué tipo de carta utilizar dependiendo las peculiaridades del sujeto de prueba. Debido a esto se considera que existan casos donde el sujeto de prueba no sepa leer, no pueda hablar, o no reconozca el símbolo del optotipo. En cuanto a la prueba de Snellen, consiste en solicitar al sujeto de prueba cubrir un ojo con la palma de la mano, y que comience a leer en voz alta los símbolos, números o letras que están plasmadas en la carta, comenzando desde la letra más grande y siguiendo las letras de las siguientes *líneas* donde su tamaño se va reduciendo, hasta donde el paciente sea capaz de ver con claridad, y se repite el proceso, pero ahora cubriendo el otro ojo, esto es para poder tener obtener un resultado más certero a una valoración de la agudeza visual que posee cada ojo. En la Figura 4 podemos observar un esquema de la prueba de Snellen. Se puede ver el proceso general de la prueba de Snellen, donde se comienza con la realización de la prueba

a una distancia de 6 m (20 pies), si el sujeto de prueba puede leer claramente y sin errores hasta la línea 8 (20/20), significa que posee una vista saludable o visión normal y se obtienen un resultado o diagnóstico, en caso de que no pueda leer claramente hasta la línea 8, se debe hacer una comparativa entre las mediciones obtenidas y los valores de las fracciones que cada línea ofrece para poder dar una valoración de la agudeza visual y así para poder obtener un resultado o diagnóstico apropiado.



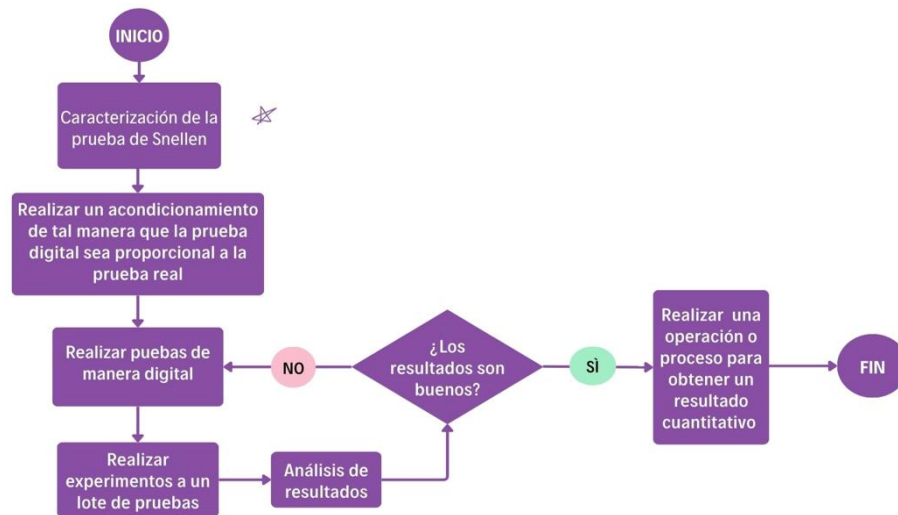
Fuente: elaboración propia

Figura 4 Esquema de la prueba de la carta de Snellen.

Prototipo propuesto del instrumento de medición

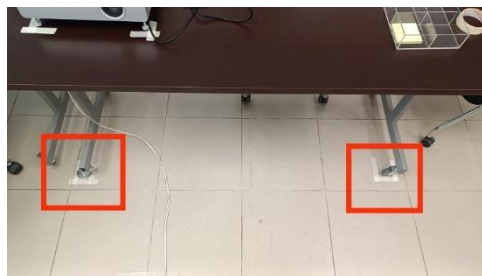
Una vez caracterizada la prueba de la carta de Snellen, se describen las etapas posteriores que el instrumento de medición propuesto va a realizar y que se muestran en la Figura 5. La primera etapa es la caracterización de la carta de Snellen, donde se engloba todo el concepto de cómo realizar la prueba, y a partir de esto se pueda adaptar un entorno controlado para realizar la prueba digital intentando que sea proporcional a la prueba real. Este entorno controlado fue realizado en el laboratorio de Bee Software Laboratory, llevando a cabo las pruebas en un mismo horario para tratar de asegurar una iluminación constante en el laboratorio y evitar una variación considerable con la luz solar. También se aseguraron las distancias, lugares destinados del proyector, la mesa donde está

el proyector y la pantalla de proyección, así como el lugar donde el sujeto de prueba debe posicionarse para realizar la prueba (Figuras 6 y 7). Teniendo el entorno controlado, se realizan pruebas experimentales de funcionamiento digitalmente para asegurarse de que exista proporcionalidad con la prueba real, esto se realiza por medio de la visualización de los optotipos a través del proyector.



Fuente: elaboración propia

Figura 5 Esquema general del instrumento de medición propuesto.



a) Mesa.



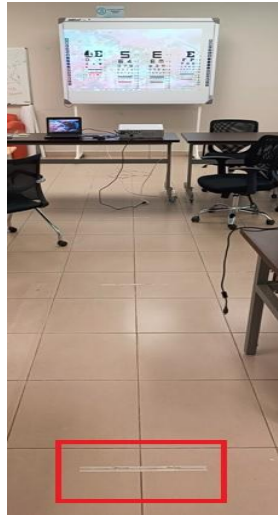
b) proyector.



c) pantalla de proyección.

Fuente: elaboración propia

Figura 6 Marcas que aseguran la posición óptima



Fuente: elaboración propia

Figura 7 Marca que indica exactamente la distancia (6 m) donde el sujeto de prueba debe posicionarse.

Posteriormente se realizan las pruebas o experimentos a un conjunto de *sujetos* de prueba para obtener una base de datos de las mediciones. Una vez que se obtenga esta base de datos se realiza un análisis de resultados para poder obtener conclusiones y a partir de esto, determinar si los resultados son buenos o no, en caso de que no, se realiza la prueba nuevamente para asegurarse de que la medición fue correcta, en caso de que sí, se obtiene el resultado cuantitativo.

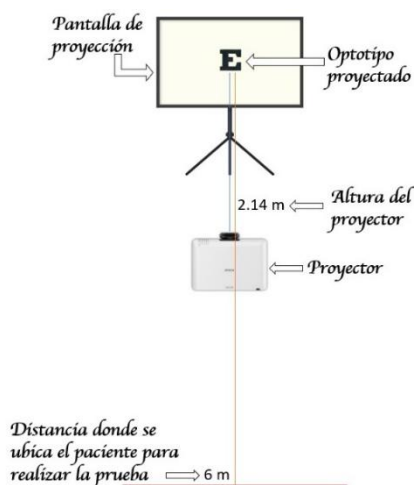
Etapas del instrumento propuesto de medición:

- Desarrollo y acondicionamiento de un entorno controlado para la realización de las pruebas digitales
- Experimentación a un lote de pruebas.
- Análisis de resultados

Si los análisis de resultados muestran valores aceptables, entonces se procede a adquirir el resultado final de la medición. Esta medición será cuantificable, ya que el usuario podrá conocer de manera numérica una valoración de la agudeza visual que posee y a partir de eso, tomar las medidas correspondientes para un tratamiento adecuado que le permita tratar su salud visual en caso de tener una valoración no favorable.

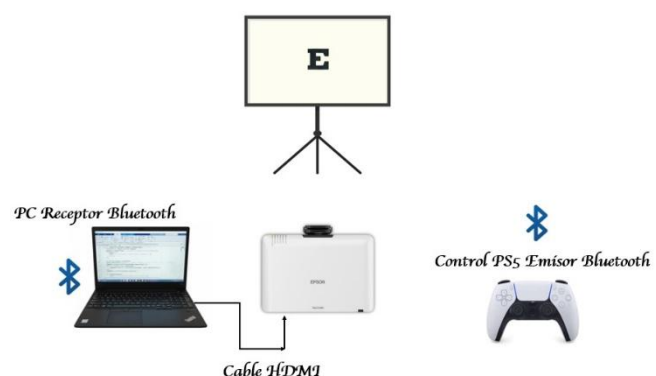
Desarrollo y acondicionamiento de un entorno controlado para la realización de las pruebas digitales

Desarrollar un entorno controlado que simule la prueba real de Snellen y se mejore, el cual se elabora con el estudio previo de la caracterización, en esta instancia se diseña un esquema del primer arreglo óptico (Figura 8), donde un proyector muestra diversos optotipos que son proporcionales a los de la carta real, por medio del software de MATLAB. El programa muestra a través del proyector los 36 optotipos de la carta estándar de manera aleatoria para variar el tamaño, siendo por el momento el estímulo a trabajar y además evitar que los *sujetos* de prueba aprendan el patrón de los optotipos y asegurar una lectura real y no aprendida. Las pruebas se emplean con la misma distancia de 6 m entre el usuario y el optotipo, al iniciar la prueba se muestra un optotipo de manera aleatoria, el sujeto de prueba lo visualiza, utiliza un control de PS5 (Sony,2020) conectado vía Bluetooth, donde presiona el botón X para indicar que no identifica el optotipo y presiona el botón O para indicar que si lo identifica, al final de la prueba, se muestra una ventana con el número de aciertos y errores que obtuvo el usuario. La Figura 9 muestra el diagrama de conexiones, donde para utilizar el control de PS5 fue necesario apoyarse por medio del programa DS4Windows como “traductor” para el mapeo de los botones para que MATLAB pudiera entender el control de PS5, debido a que reconoce de manera natural sólo los controles de Xbox 360/Xbox One.



Fuente: elaboración propia.

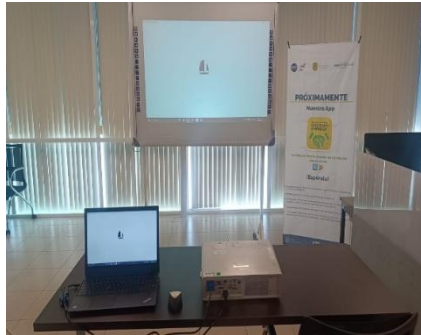
Figura 8 Arreglo óptico propuesto.



Fuente: elaboración propia.

Figura 9 Diagrama de conexiones.

En la Figura 10 se observa la implementación del arreglo óptico para la realización de las pruebas.



Fuente: elaboración propia

Figura 10 Arreglo óptico implementado.

3. Resultados

Para evaluar el desempeño del instrumento digital propuesto, se realizaron pruebas experimentales a 15 *sujetos* (30 ojos evaluados), utilizando los optotipos de carta de Snellen estándar digitalizada y proyectada en condiciones controladas. Se registraron el porcentaje de aciertos obtenidos en cada *línea* de la carta, desde 20/200 hasta 20/20, con un total progresivo de optotipos por *línea*. El porcentaje de aciertos se calculó por medio la Ecuación 1.

$$\text{Porcentaje} = \frac{\text{Aciertos}}{\text{Optotipos por líneas}} * 100 \quad (1)$$

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos con 15 *sujetos* de prueba con la carta estándar de Snellen. El color azul indica donde hubo errores, desde la *línea* 1 hasta la *línea* 7, el color mamey utilizado en la línea 8, indica donde hubo errores.

Análisis de resultados de las pruebas

Esta etapa es de suma relevancia, ya que consiste en realizar un análisis de resultados que permita comparar las mediciones realizadas con los parámetros correctos, esto con la finalidad de poder determinar que pruebas son aceptables y cuales no, gracias a esto, se puede dirigir el proceso adecuado para cada medición realizada.

Tabla 1 Resultados obtenidos en la carta estándar de Snellen.

Sujeto	Lectura ojo	Línea 1 20/200	Línea 2 20/100	Línea 3 20/70	Línea 4 20/50	Línea 5 20/40	Línea 6 20/30	Línea 7 20/25	Línea 8 20/20
1	Izquierdo	100%	100%	100%	100%	80%	67%	57%	38%
	Derecho	100%	100%	100%	100%	100%	67%	57%	38%
2	Izquierdo	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%
	Derecho	100%	100%	100%	50%	80%	100%	100%	100%
3	Izquierdo	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Derecho	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
4	Izquierdo	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Derecho	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
5	Izquierdo	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%
	Derecho	100%	100%	100%	100%	100%	83%	43%	0%
6	Izquierdo	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Derecho	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
7	Izquierdo	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Derecho	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
8	Izquierdo	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Derecho	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	75%
9	Izquierdo	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
	Derecho	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
10	Izquierdo	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%	0%
	Derecho	100%	100%	100%	100%	60%	17%	0%	0%
11	Izquierdo	100%	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%
	Derecho	100%	100%	67%	0%	0%	0%	0%	0%
12	Izquierdo	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
	Derecho	100%	100%	100%	100%	100%	100%	0%	0%
13	Izquierdo	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
	Derecho	100%	100%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
14	Izquierdo	100%	100%	100%	100%	100%	100%	86%	88%
	Derecho	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%
15	Izquierdo	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%
	Derecho	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	88%

Fuente: elaboración propia.

Analizando la Tabla 1, se observa el porcentaje de aciertos que tiene el ojo izquierdo y ojo derecho de los *sujetos* de prueba para cada *línea* de la carta, el porcentaje se obtiene realizando el cociente del número de aciertos entre el total de *optotipos*, el número de *optotipos* corresponde al número de *línea*, es decir *línea* 1: 1 *optotipo*, *línea* 2: 2 *optotipos*, *línea* 3: 3 *optotipos*, *línea* 4: 4 *optotipos*, *línea* 5: 5 *optotipos*, *línea* 6: 6 *optotipos*, *línea* 7: 7 *optotipos*, *línea* 8: 8 *optotipos*, *línea* 9: 9 *optotipos*, *línea* 10: 10 *optotipos* y *línea* 11: 11 *optotipos*. Entonces el porcentaje es un equivalente de los aciertos obtenidos en la lectura, por ejemplo, para el sujeto 1, la lectura del ojo izquierdo en la *línea* 5 marca 80%, esto indica que acertó 4 *optotipos*

de 5. Posteriormente este porcentaje es comparado con el 100% que posee una persona con vista saludable, siendo la *línea 8* la *línea* de referencia. La *línea 8* se usa como referencia debido a que es la distancia a la que una persona con vista saludable, puede observar los objetos sin dificultad alguna, en el sistema internacional es 6/6 (20/20), quiere decir, lo que un paciente puede ver a 6 m (20 *pies*) de distancia lo puede ver una persona con vista saludable a esos mismos 6 m (20 *pies*) de distancia, en la *línea 7* se tiene 6/7.6 (20/25), quiere decir, lo que el paciente puede ver a 6 m (20 *pies*) de distancia lo puede ver una persona con vista saludable a una distancia mayor de 7.6 m (25 *pies*), en la *línea 6* se tiene 6/9.1 (20/30), quiere decir, lo que el paciente puede ver a 6 m (20 *pies*) de distancia lo puede ver una persona con vista saludable a una distancia mayor de 9.1 m (30 *pies*), y así para cada *línea*. Las *líneas 9, 10 y 11* no se consideran, ya que una persona que pueda leer estas *líneas*, significaría que tiene una agudeza visual superior a una vista saludable de la *línea 8*. De los 15 *sujetos* de prueba, se observa y concluye que los *sujetos 4 y 6*, poseen una vista saludable, los *sujetos 9, 11 y 13* muestran una vista con grandes dificultades, y el *sujeto 7*, posee una vista prácticamente nula. También se puede concluir que los *sujetos* de prueba con problemas visuales, muestran un índice ligeramente superior de problemas en el ojo derecho. La experiencia de los *sujetos* de prueba fue positiva, ya que se mostraron abiertos a realizar la prueba y así mismo dar recomendaciones para poder mejorar, a su vez se sorprendieron de los resultados obtenidos y la dificultad que muestra la lectura de los optotipos de las distintas distancias.

4. Discusión

Los resultados obtenidos en la experimentación con los 15 *sujetos* de prueba permiten constatar que el instrumento digital diseñado tiene la capacidad de reproducir de manera confiable la prueba de Snellen, mostrando coherencia con los valores clínicos establecidos y diferenciando entre *sujetos* con visión normal y *sujetos* con deficiencias visuales.

La precisión del sistema al cuantificar los aciertos y errores en cada *línea* de la carta constituye una evidencia de que es posible digitalizar un procedimiento tradicional

sin comprometer su validez diagnóstica. Un aspecto destacado de la prueba fue la facilidad de uso y la aceptación positiva por parte de los participantes, quienes percibieron la prueba digital como una experiencia clara, objetiva y en algunos casos más atractiva que la prueba convencional. Esto es relevante, ya que la usabilidad del instrumento representa un factor clave para que pueda ser adoptado tanto en entornos clínicos como en campañas de salud pública o incluso en entornos educativos.

La tendencia observada en algunos *sujetos* a presentar un mayor índice de errores en el ojo derecho abre la puerta a un análisis más profundo, ya que podría estar relacionada con variables individuales, como el dominio ocular determinando si son zurdos o diestros, la fatiga visual considerando el orden con el que se comience a realizar la prueba, o la iluminación que a pesar de tener el entorno controlado, se puede implementar un entorno más riguroso para tratar de tener una variación de iluminación mínima durante la prueba.

Ampliar la muestra de participantes permitirá discernir si esta tendencia es una coincidencia o un patrón recurrente que deba ser considerado en futuros ajustes del instrumento.

Por otra parte, es importante señalar que, aunque el prototipo digital se diseñó en un entorno controlado con condiciones de iluminación estandarizadas, en escenarios reales el sistema se enfrentará a factores externos como variaciones de luminosidad ambiental, distracciones visuales o diferencias en la distancia de observación. Estas limitaciones deberán ser atendidas en futuras fases de desarrollo, incluyendo pruebas en entornos no controlados y la incorporación de algoritmos de corrección que compensen dichos factores.

Finalmente, la digitalización de la prueba no sólo conserva las ventajas de la carta de Snellen tradicional, sino que añade nuevas posibilidades: la recolección automática de datos, la integración con bases de datos de salud, y la capacidad de introducir estímulos adicionales como variaciones en contraste, movimiento o patrones de luminancia. Estas mejoras no sólo aumentan la robustez del diagnóstico, sino que también permiten expandir el uso del instrumento hacia áreas de investigación en neurociencia visual, ergonomía, educación y tecnología médica.

5. Conclusiones

El presente trabajo permitió demostrar que la digitalización de la prueba de Snellen es factible y efectiva, constituyéndose en una herramienta confiable para la valoración de la agudeza visual.

El prototipo desarrollado cumplió con el objetivo de cuantificar la visión de manera precisa y reproducible, por medio del estímulo visual variación tamaño del optotipo, ofreciendo resultados coherentes con los estándares clínicos y validando la utilidad de la tecnología en la detección de problemas refractivos.

Los resultados obtenidos con los *sujetos* de prueba permiten destacar varios aportes significativos:

- Reproducción fiel de la prueba tradicional: El instrumento digital conserva la esencia de la carta de Snellen, garantizando que las mediciones sean comparables a las de la prueba convencional.
- Accesibilidad y bajo costo: Al prescindir de equipos clínicos especializados, el sistema puede convertirse en una alternativa viable para instituciones educativas, centros comunitarios o consultorios de bajo recurso.
- Automatización y objetividad: La prueba digital permite registrar automáticamente aciertos y errores, reduciendo la dependencia del juicio del examinador y minimizando sesgos.
- Potencial de escalabilidad: La digitalización abre la posibilidad de implementar el sistema en dispositivos portátiles o incluso aplicaciones móviles, favoreciendo la detección temprana de problemas visuales en un mayor número de personas.

Se concluye que el instrumento diseñado demuestra en principio una alternativa en la integración de la tecnología en la salud visual, contribuyendo no sólo al diagnóstico inicial de alteraciones refractivas, sino también a la concientización de la población sobre la importancia de evaluar y monitorear su visión.

Como líneas de trabajo futuro, se recomienda:

- Ampliar la muestra de *sujetos* de prueba para incrementar la validez estadística de los resultados.

- Incorporar diferentes tipos de estímulos visuales (contraste, movimiento, cambios de color y luminancia) que permitan explorar aspectos más complejos de la visión humana.
- Validar el instrumento frente a métodos clínicos avanzados, como la refractometría automatizada o el uso de optotipos digitales certificados.

En síntesis, este proyecto constituye un primer paso sólido hacia el desarrollo de dispositivos digitales accesibles para la salud visual, con gran potencial de impacto en el ámbito clínico, educativo y social.

6. Referencias y Bibliografía

- [1] A. Bastawrous, H. Rono, I. Livingstone, H. Weiss, S. Jordan, and H. Kuper, Development and validation of a smartphone-based visual acuity test (Peek Acuity), *JAMA Ophthalmology*, vol. 133, no. 8, pp. 930–937, Agosto 2015.
- [2] Aguado, J.G., Ruiz-Cabello, F.J.S., Revuelta, J.C., Rico, O.C., Olcina, M.J.E. and Sánchez-Ventura, J.G., Valoración de la agudeza visual, *Journal of Pediatrics Aten Primaria*, vol. 18, no. 71, pp. 8, julio 2016.
- [3] Artal, P., Image Formation in the Living Human Eye, *Annual Review of Vision Science*, vol. 1, no. 1, pp. 19, julio 2015.
- [4] Benedek, G., Teoría de la transparencia del ojo, *Óptica aplicada*, 1971.
- [5] Bermúdez, M.B., López, Y., and Figueroa, L.F., Astigmatismo en niños, *Revista Ciencia y Tecnología Para la Salud Visual y Ocular*, vol. 1, no. 7, pp. 57-62, diciembre 2006.
- [6] Cavazos S., C.G., Montemayor-Saldaña, N., Salum-Rodríguez, L., Villareal-Del Moral, J.E. and Garza-Leon, M., Prevalencia de Miopia Y Factores de Riesgo Asociados en Estudiantes de Medicina en Monterrey, *Revista Mexicana de Oftalmología*, vol. 93, no. 1, no. 1, pp. 246-253, septiembre 2019.
- [7] Channa, R., Ivers, M.M., and Woreta, F.A., Automated Visual Acuity Assessment using Intelligence and Eye tracking, *Ophthalmology Science*, vol.3, no.1, pp.100-108, 2023.

- [8] Krag, S., Andreassen, T.T., Mechanical properties of the human posterior lens capsule, *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, vol.144, Febrero 2003.
- [9] Lee, S.Y., Kim, J.H., and Park, K.H., Comparison of Visual Acuity Measurements using a Digital chart versus a Standard Snellen Chart, *Clinical and Experimental Optometry*., vol.104, no.5, pp. 621-627, 2021.
- [10] Malacara, D., *Óptica Básica*, 3rd edición, pp.163-164, 2015.
- [11] Marcos, S., Calidad óptica del ojo, *Investigación y Ciencia*, no.345, pp.66-74, 2005.
- [12] Marmor, M.F., Digital eye charts: Progress and pitfalls, *Journal of Ophthalmology and Visual Research*., vol.15, no.3, pp.245-251, 2020.
- [13] Pérez, I.K., Estudio del Esparcimiento de la luz en el ojo humano, Tesis Doctoral, Instituto Nacional de Astrofísica, Óptica y Electrónica, Tonantzintla, Pue, México, 2011.
- [14] Ponce-García, V., Silva-Viguera, M.-C., García-Romera, M.-C., Guerra-Sancho, Y., Heredia-Ríos, N., Bautista-Llamas, M.-J., Validation and Evaluation of Visual Acuity and Contrast Sensitivity with a New Digital Device: OPTOTAB®+, *Ophthalmic Physiol. Opt.*, vol.43, no. 5, junio 2025.
- [15] Zhou, Y. Wang, L., and Zhang, X., Virtual Reality-Based visual acuity testing: A comparative study with traditional methods, *Virtual Reality*., vol. 27, no.1, pp.89-98, 2023.