

Evaluación de procesos atencionales por medio de instrumentos de seguimiento ocular

Luis Alejandro Muñoz Salas

Estudiante Diseño Industrial
Pontificia Universidad Javeriana
Carrera 7 No. 40-62,
Móvil 300 646 49 00
l.munozs@javeriana.edu.co

Laura Steffany Angulo Vergara

Estudiante Diseño Industrial
Pontificia Universidad Javeriana
Móvil 300 513 41 30
Laura.angulo@javeriana.edu.co

Diego Alejandro Piracoca

Estudiante de Diseño Industrial
Pontificia Universidad Javeriana
Móvil 300 358 5590
dpiracoca@javeriana.edu.co

Abstract

En los últimos años el *eye tracking* se ha visto cada vez más aplicado en campos de la evaluación de tareas con el fin de reconocer ciertos comportamientos inconscientes del ser humano, una de estas áreas de aplicación es en la ergonomía cognitiva, donde se sugiere el sistemas de seguimiento ocular como un puente para obtener información que ayude a reconocer una dificultad de una tarea/actividad (1) (Palinko et. all, 2010), caso que se aplica en actividades de vigilia por medio de interfaces digitales como en ATC (Air Traffic Control), actividad que exige de una alta concentración y de una atención dividida por las múltiples tareas a resolver por parte de los controladores, cuyo objetivo es proporcionar seguridad, orden y eficiencia en el control de tráfico aéreo; una actividad en donde, cualquier error puede significar un accidente de bajo o alto riesgo.

Por tal motivo se han realizado experimentos sobre el número de fijaciones y la dilatación de la pupila, teniendo en cuenta que no pueden comprobar la existencia de una carga cognitiva, es decir, que se debe realizar una triangulación de varias pruebas para así poder concluir la existencia de una alta o baja dificultad en un trabajo. En consecuencia de esto, en la literatura se han planteado métodos para la recolección de

datos que comprueben la concentración de una persona por medio de este tipo de sistemas, que en este caso se enfocan en la convergencia y divergencia de los ojos, método utilizado por (2) (Searle et all, 2016), para comprobar el comportamiento entre la distancia de los ojos en tareas de concentración; para ello, se plantea el uso de este método en conjunto con la pupilometría y el número de fijaciones desde eye tracking además del tiempo en que se completa la tarea, número de errores y un test de percepción del usuario.

Con esto se busca ver la viabilidad de la convergencia y divergencia por medio de sistemas de seguimiento ocular para la comprobación de cargas cognitivas y así, poder pensar en métodos más exactos para evaluar la carga cognitiva en usuarios que requieren tener una vigilia por un tiempo prolongado al interactuar con sistemas complejos de control, impactando de manera positiva estos lugares de trabajo, al estimular un bienestar en el rediseño de puestos de trabajo entorno a estos contextos que actualmente requieren de una mejoría.

Palabras clave: Vergencia ocular, Pupilometría, Biométricas, carga cognitiva.

Introducción

Actualmente dentro de los procesos atencionales los aspectos fisiológicos como cognitivos tienen una fuerte correlación. Para este caso se da la mención especial de la carga cognitiva con los cambios en la estructura del ojo, dichas alteraciones son visibles a través de la tecnología del seguimiento ocular, la cual permite hacer estudio de la pupila, fijaciones, sacadas y parpadeos para determinar con estos datos un estado atencional cognitivo.

De las anteriores manifestaciones fisiológicas del ojo, Stern (3) y citado por Cabrall (4) determina al tipo de parpadeo endógeno como aquel que permite identificar carga mental debido a la alta demanda atencional de alguna tarea. Adicionalmente, se encuentra una relación entre el número de fijaciones, duración de la fijación, número de sacadas, duración de la sacada, amplitud de la sacada y el diámetro de la pupila como otros factores para la caracterización de alguna carga cognitiva (4). Por ejemplo, el aumento del diámetro de la pupila permite relacionarse a diferentes tareas como de vigilancia, memoria, cálculos mentales y

comprensión de oraciones, este tipo de fenómenos es conocido como respuesta pupilar invocada o *task-evoked pupillary response* (TEPR), en otras palabras, estados de concentración en un persona (5) y citado por (4).

La aplicabilidad y la relevancia dada en este tipo de comportamientos se ha visto argumentada desde el planteamiento de diversos casos, en los cuales se busca evaluar la carga cognitiva de una tarea, pero para llegar a tal resultado se debe inducir a un estado alto de atención para crear concentración y hacer el análisis de datos. Marinescu (6) logra tal objetivo por medio de un juego con diversos momentos de dificultad, triangulando y concluyendo la relación entre el diámetro de la pupila con la carga cognitiva de los participantes.

Cabrall (4) por medio de un estudio en bases de datos encuentra la relación directa entre el tempo de la fijación de una persona con su carga cognitiva. Respecto al tema de la vergencia, Mays (7) encuentra una relación entre este factor con la carga cognitiva, por lo cual, esto permite estimarla con la atención cognitiva ya que al generar una atención focalizada en una persona este movimiento involuntario del ojo se hace presente, demostrando que es posible calcular el nivel de concentración por un estímulo.

Muchos de los anteriores factores fueron aplicados con el fin de evaluar algunos estados de carga mental, más sin embargo, el enfoque para la vergencia en los procesos atencionales se plantea como un fenómeno por corroborar porque, al igual que el factor de diámetro de pupila, la duración en las fijaciones, el número de fijaciones entre otras más, también puede ser un elemento para complementar los procesos en los cuales se generen valoraciones a la concentración, atención y carga mental.

Por lo anterior, el presente documento traza como objetivo comprobar la relación entre el fenómeno de la vergencia como puente para la evaluación de procesos atencionales, para apoyar dicha corroboración se utiliza una herramienta con base a dos planos cartesianos GazeLeft/RightX/Y. Por último, los elementos que permitirán afirmar de manera más concisa la existencia de la concentración serán a partir del diámetro de la pupila, el número y duración de la fijación.

Metodología

Esta prueba tuvo como muestra 16 participantes, donde la mitad fueron hombres y la otra mitad mujeres.

El diseño del prueba, se tuvo en cuenta la simplicidad de la imagen como un ente de apoyo para la focalización de la atención en un área determinada, teniendo en cuenta la teoría de percepción visual y el test de Wartegg (8) como referentes para el desarrollo formal de la prueba, con el fin que el sujeto no tuviera estímulos permutables que alterarán los resultados.

Para ello fue necesario el desarrollo visual y proyectivo, de esa forma entregar al sujeto un material a resolver en el instante, no con el fin de medir su capacidad resolutive sino poder observar el reflejo físico por la elaboración de una respuesta.

De esa forma se diseñó un material visual similar para no irrumpir a un estímulo innecesario, por ello se contenía lo siguiente y como mostrado en la *figura 1.*:

- 1) Un conteo para mantener el estado de vigilia y espera al sujeto de prueba.
- 2) La representación de un punto.
- 3) Sistema de diferenciador de la imagen para encontrar las figuras geométricas propuesta con el fin de señalar una dirección.
- 4) Una segunda representación de un punto.
- 5) Focalización del punto y simultáneamente la focalización del aro que cubre el punto.

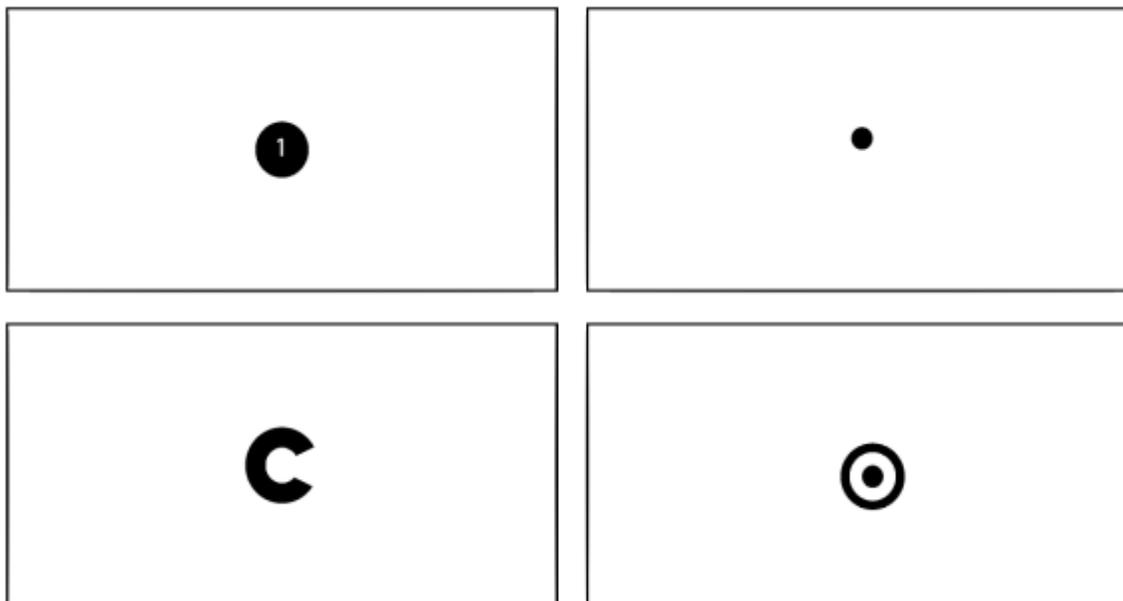


Figura1. visualización de las fases de la prueba.

Para lo anterior era necesario el uso de instrumento de medición biométrica, en este caso son las gafas de seguimiento ocular Tobii Glasses Pro 2, se debe hacer un buen planteamiento y aislamiento del estímulo que se utilizará para evaluar la vergencia ocular de los participantes, para ello es necesario tener en cuenta 3 factores importantes **antes de ejecutar la prueba:**

1. **Participante:** Aun cuando en el seguimiento ocular es muy leve la cantidad de variables a controlar frente al participante, con el uso de las gafas disponibles en el laboratorio de la universidad debe tenerse en cuenta:
 - 1) El participante no posea o en un grado leve enfermedades oculares como miopía, en casos como el astigmatismo o hipermetropía, de los cuales se han presentado dificultades en la calibración y recopilación de datos especialmente en los casos de evaluación realizados por el semillero de investigación.
 - 2) El participante no puede tener en lo posible, pestañas que obstruyan la pupila o el ojo por que ocasiona el no reconocimiento del ojo o dificultades en la calibración.
 - 3) Pueden presentarse dificultades en el reconocimiento del ojo durante la prueba o durante la calibración del equipo por las características físicas del párpado de participante, el problema por

lo general se presenta cuando los párpados están cerrados de tal manera que cubren las zonas superiores e inferiores del ojo.

4) En diferentes oportunidades se ha evidenciado que los participantes con ojos claros suelen tener problemas en el reconocimiento de la pupila o en la calibración del equipo, variable a tener en cuenta durante la selección ya que aun cuando no es un comportamiento de la totalidad de las muestras tomadas, si han habido múltiples casos con esta característica.

2. Estímulo: En toda prueba es importante el aislar el estímulo; considerando como "estímulo" todo aquel factor físico o químico que desencadena una reacción, teniendo en cuenta el inconscientemente dan un respuesta a cada estímulo por un medio físico, en este caso procesos oculares. Estas respuestas se muestran normalmente en sacadas (rápidos reposicionamientos del ojo) y fijaciones (unión de momentos estáticos del ojo), dicho esto, el ojo responde a todo estímulo visual (y mayor atención a aquellos en movimiento). Para poder definir los estímulos necesarios para la buena toma de datos en la prueba. Primero se debe definir la variable a evaluar, en este caso en específico donde se busca evaluar la atención se tiene en cuenta la cantidad de fijaciones, el comportamiento de las mismas y la vergencia ocular, la cual corresponde al movimiento de los ojos en relación a la actividad realizada y específicamente en nuestro caso donde hay disminución de la distancia entre las pupilas, con esto en mente, no deberían existir estímulos no planeados tanto en el desarrollo de la prueba como en el espacio que se dispuso. En la prueba los estímulos fueron controlados en 3 momentos:

1) Durante el planteamiento de la prueba donde cada estímulo visual debe tener un propósito y que pueda utilizarse como parámetro de evaluación.

2) Durante el procedimiento debe intentarse que aparezcan el menor número de estímulos externos como ruido tanto del entorno como por parte del monitor de la prueba.

3) En lo posible, no se debe informar del propósito principal de la prueba al inicio al participante, puesto que puede crear preocupaciones o movimientos conscientes por parte del participante.

3. Espacio de la prueba: Dadas las condiciones del estímulo en seguimiento ocular, es necesario que el lugar de la prueba no sea un espacio abierto, por ende, el espacio debe permitir que los estímulos sonoros sean reducidos y que la luz sea constante. En este caso en específico, el espacio controlaba:
- 1) A una temperatura estable de $16.5^{\circ}\text{C} \sim 17.5^{\circ}\text{C}$, que aun cuando no se haya probado la incidencia de las características de la temperatura en el seguimiento ocular, puede tomarse como estímulo la sensación térmica del espacio durante la prueba.
 - 2) El espacio también, posee un recubrimiento de poliuretano anti sonido en el techo que sella las entradas de aire y reduce considerablemente el ruido dentro de la sala, bajo este mismo punto, el espacio tiene puertas de reducción de sonido, facilitando así que otros estímulos sonoros.
 - 3) Dada la importancia de la luz en estas pruebas, el espacio tenía una luz cálida constante en la zona superior, es importante que la luz no provenga de frente o inferior al participante para así no afectar la pupilometría del mismo.

Durante la prueba:

Al realizar la prueba se realizaron las siguientes tareas con cada uno de los participantes:

1. El monitor mantiene las luces prendidas, con el fin de no encontrarse con variaciones no esperadas en la pupilometría de los participantes.
2. Se le permitía la entrada al espacio de la prueba a un participante a la vez, evitando el aprendizaje entre los participantes.
3. Se acomodaba el equipo de seguimiento ocular (Tobii Glasses Pro 2) al participante, y se posiciona en una marca previamente medida a un metro del monitor y dispuesta en suelo, para que el sujeto de prueba reconociera su posición.
4. El monitor iniciara el proceso de calibración con una tarjeta que contiene un punto en su zona superior, que le permitirá al programa enlazar la imagen de la cámara y los sensores de la pupila.
5. Se le explicará al participante los pasos y su actividad durante la prueba:
 - a. El participante debe estar de pie sobre una marca frente a una proyección.

- b. Durante la proyección habrá dos diapositivas con un punto negro en la mitad de un fondo blanco, durante la primera aparición del punto el monitor hará una pregunta que no deberá ser respondida pero que el participante debe realizarse para sí mismo, de esa forma garantizando que exista un ejercicio mental.
 - c. En la segunda aparición del punto, el monitor realiza otra pregunta que deberá ser respondida por el participante/ si es el caso que la pregunta es respondida rápidamente por el sujeto de la prueba, se dispondrá otra pregunta de la misma temática hasta que culmine el tiempo dispuesto para el desarrollo de esa etapa.
 - d. Por último, al participante se le indica mirar hacia lo señalado en las diapositivas (punto o la dirección de las C).
6. Una vez el participante en posición el monitor inicia la proyección, y se da un tiempo de 10 segundo por diapositiva a excepción de las diapositivas de los puntos que se dispuso un tiempo 20 segundos.
7. Por último, al terminar la proyección, se le avisa al sujeto su finalización y se remueve el equipo de seguimiento ocular

Manejo de los datos

Para iniciar con el proceso de análisis de los datos primero debe contarse con un programa de relación y compactado de datos que en este caso es Imotions 7.4, con él se conseguirá los videos para el seguimiento de la mirada de los participantes y las tablas de los datos en bruto para ser analizados, estas tablas arrojaran varios datos como los mostrados en la *figura 2*.

StimulusName	SlideType	EventSource	Timestamp	MediaTime	TimeSignal	GazeLeftx	GazeLefty	GazeRightx	GazeRighty	PupilLeft	PupilRight
Tobii Gasser Testimage	ET		823		0	1653120	330480	1653120	330480	5	5
Tobii Gasser Testimage	ET		823		0	-1	-1	-1	-1	5	5
Tobii Gasser Testimage	ET		844	19	20	-1	-1	-1	-1	5	5
Tobii Gasser Testimage	ET		865	41	41	-1	-1	-1	-1	5	5
Tobii Gasser Testimage	ET		867	41	43	909	419	909	419	5	5
Tobii Gasser Testimage	ET		867	41	43	908	419	908	419	5	5
Tobii Gasser Testimage	FT		867	41	43	907	419	907	419	5	5

Figura 2. Datos brutos Imotions

De esta tabla es relevante el uso de los datos Timestamp (tiempo en ms), (posición del ojo en pixeles), PupilLeft/Right (Registro en mm de la pupila), de estos datos será posible tabular y comprar la vergencia del ojo como mostrado en la *figura 3*. y la pupilometría como en la *figura 4*. de la prueba que será segmentada por cada fase de la prueba como fue explicado en el punto anterior.

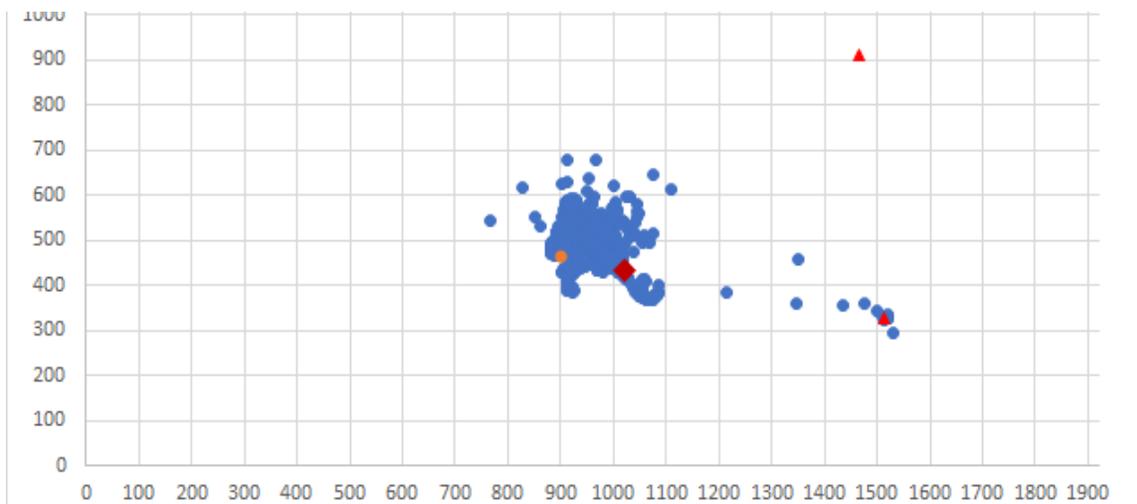


Figura 3. Gráfica de posición del ojo en X y Y (vergenza)

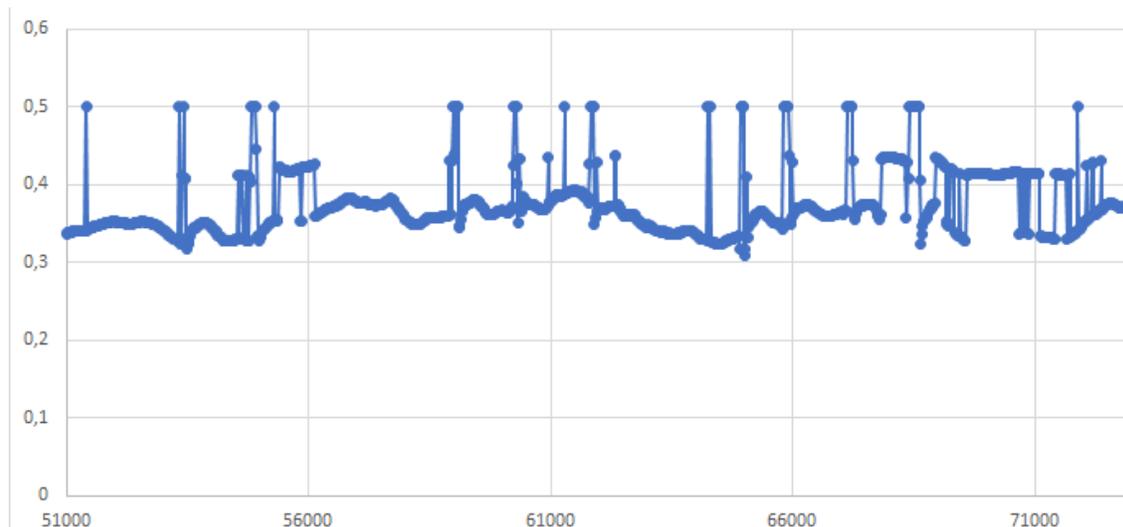


Figura 4. Gráfica de pupila en tiempo (pupilometría)

Recomendaciones en el manejo de datos

Es importante tener en cuenta que al momento de tabular los datos de la posición del ojo deben tener en cuenta, que las especificaciones del equipo son (en este caso) 1920 x 1080, y que el punto 0 se encuentra en la esquina superior como se muestra en la *figura 5*. en esta misma tabla también se muestra la convención bajo la cual se trabajara en las tablas de los resultados.

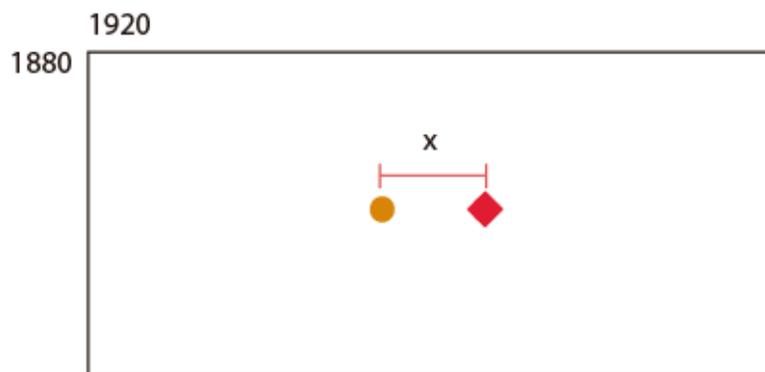


Figura 4. Dimensiones y convenciones de la prueba

En esta figura se puede notar dos distintos tipos de punto, el círculo naranja que será tomado como referencia de la coincidencia del punto de inicio de los participantes, punto que será tomado como control a comparación del segundo punto, que hace referencia a la coincidencia de los participantes del punto de fijación en cada fase de la prueba. La x entre estos puntos hace referencia a la distancia entre sus coordenadas en el espacio, esta distancia hará posible el poder averiguar el ángulo de la vergencia.

Con lo anterior en mente también debe tenerse en cuenta cómo deben ser tomados los datos de las coordenadas de la mirada en el plano ya que, no pueden ser tomadas en relación al estímulo u objeto de visión dado que, como se ha especificado anteriormente el participante tiene una tarea de recordación y pensamiento, este con el fin de probar que lo que se está fijando no necesariamente significa que el participante esté prestando atención al estímulo visual. Dado que no se tiene en cuenta la relación entre el ojo y el estímulo/objeto como se muestra en la *figura 6*. donde la distancia de las coordenadas no puede ser tomada ni del ojo hacia el objeto ni viceversa.

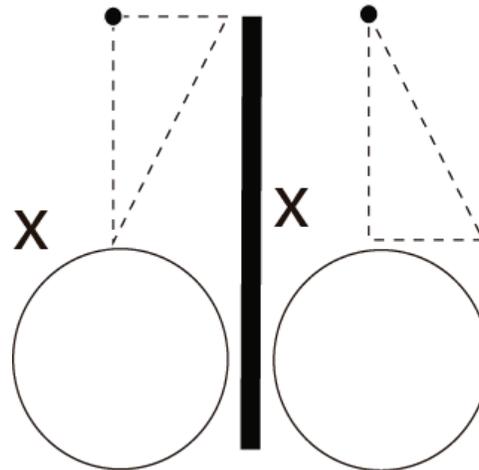


Figura 6. Relación ojo estímulo (sólo uno de los ojos)

En esta prueba, los datos de las coordenadas del ojo fueron tomados desde su mismo eje, entendiendo así que su movimiento de rotación (vergencia) y la pupilometría están directamente relacionados a la tarea por cada fase de la prueba como se muestra en la *figura 7.*, donde una de las *x* se refiere a la distancia de la pupila al centro del ojo y la otra a la distancia de rotación en relación a las coordenadas; de esta manera el ojo y su rotación siempre permiten un triángulo rectángulo, desde el cual debe tomarse la hipotenusa para luego hallar Seno de los catetos, luego convertir este resultado de radianes a grados.

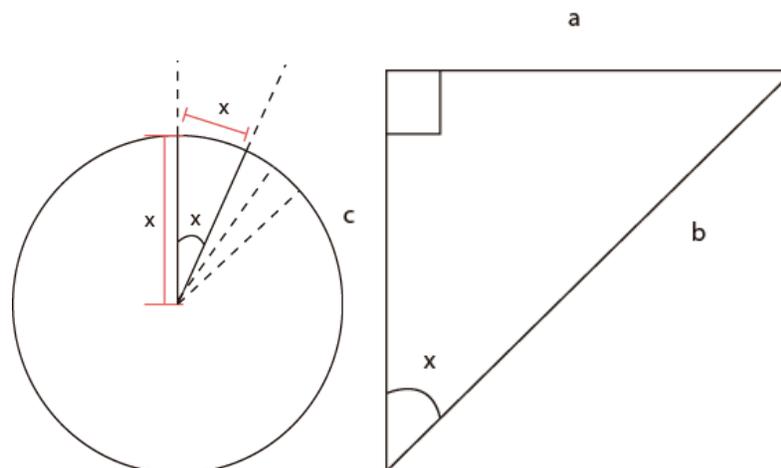


Figura 7. Toma de datos desde el ojo y su rotación.

Los datos nombrados anteriormente para la obtención del ángulo se tabularon como es mostrado en la *figura 8*.

Punto Inicial	916	574	Distancia (Pixeles)
Vergencia	985	543	69
		Angulo (rad)	Angulo (grados)
Hipotenusa	543,4	0,12697828	7,255784983
Distancia (px)	69	0,12663734	
		Seno	

Figura 8. Tabulación y registro de datos vergencia

Al hacer las pruebas con los datos con ambos ojos, se concluye que las tablas entre las coordenadas del ojo derecho e izquierdo no se demuestra cambios o significativos, ya que las variaciones entre coordenadas son menores a 5 pixeles, este desfase puede ser tomado como error en el ojo y el sensor y no perceptibles como mostrado en la *figura 9*.

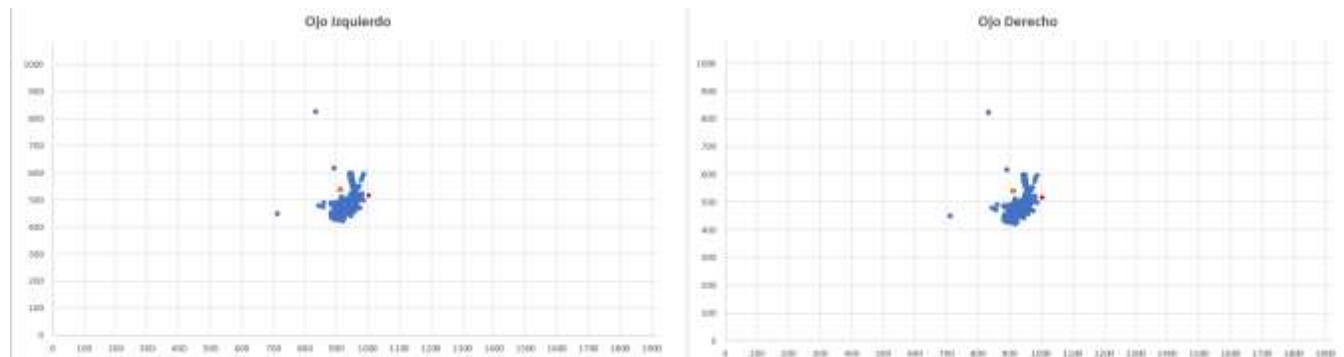


Figura 9. Diferencia entre datos de coordenada ojo izq. y der.

Ya habiendo explicado cómo se tomaría en cuenta los datos para la vergencia, es importante tener en cuenta el método de trabajo para la pupilometría, este método es abstraído del trabajo de datos en pupilometría desde Palinko (1), donde se hace un promedio de los datos brutos de la pupila derecha e izquierda. Para este trabajo, la pupilometría es promediada y dividida en 10 para así poder obtener en cm los milímetros como en la *figura 10.*, es importante realizar este paso en pro de poder visualizar de forma correcta la pupilometría como en la *figura 3*.

PI	PD	PROMEDIO	TIEMPO	PI	PD	PROMEDIO	TIEMPO
3,41	3,44	0,3425	9001	3,41	3,44	=PROMEDIO(AD2:AE2)/10	
3,41	3,44	0,3425	9021	3,41	3,44	0,3425	9021
3,41	3,44	0,3425	9041	3,41	3,44	0,3425	9041
3,41	3,44	0,3425	9061	3,41	3,44	0,3425	9061
3,4	3,43	0,3415	9081	3,4	3,43	0,3415	9081
3,4	3,43	0,3415	9101	3,4	3,43	0,3415	9101
3,4	3,43	0,3415	9121	3,4	3,43	0,3415	9121

Figura 10 promedio y visualización de pupilometría.

Resultados

Para poder explicar de forma detallada los resultados, se trabajara desde cada fase de la prueba:

Fase 1 -Conteo

Como se había mencionado anteriormente el objetivo de esta primera fase era llamar la atención y la vigilia de los participantes como se ven en la *figura 11*.

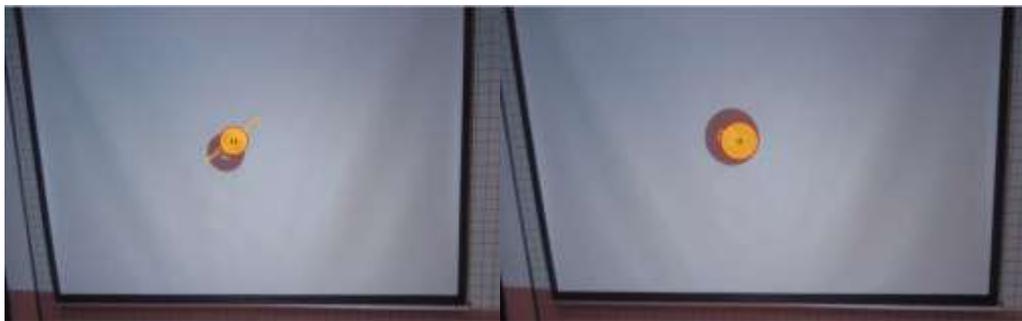


Figura 11. Ojo y crecimiento de pupila Imotions (conteo)

Denotando el compromiso de los participantes puede verse en la *figura 11* y *12* el comportamiento de sus ojos tanto en vergencia donde se superó los 6º necesarios para poder considerarse atención en una tarea, en este caso las fijaciones no presentaron comportamientos irregulares, normalmente el ojo se mantiene en movimiento y no supera en una fijación más de 600 mm (9) .

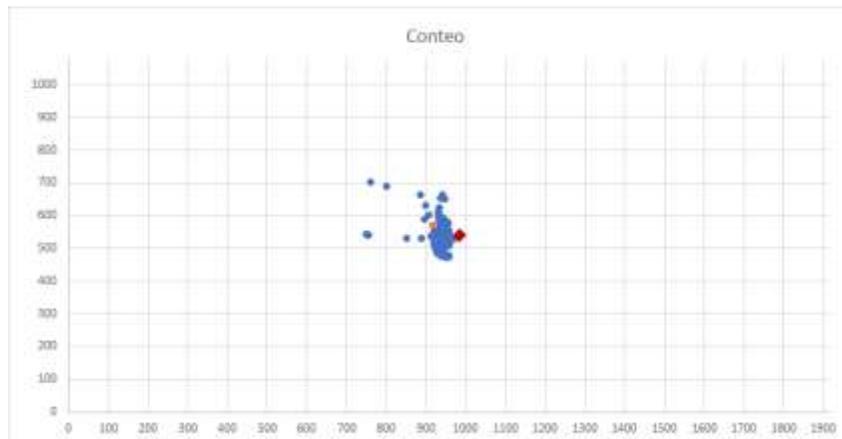


Figura 11. Gráfica de coordenadas (vergencia conteo)



Figura 12. Gráfica pupilometria (conteo)

Fase 2 -Punto numero 1

En esta fase puede notarse en la figura 13 apoyada en la figura 14 como los participantes están concentrados en completar ambas tareas, tanto en mantenerse en vigilia del estímulo visual como en responder a la pregunta que se les formuló.



Figura 13. Ojo y crecimiento de pupila Imotions (primer punto)

Como se puede ver en la *figura 13*, en donde la fijación tiene un periodo largo de crecimiento (mayor a los 1200 ms) indicador de concentración en alguna de las dos tareas, más en conjunto con la *figura 14*, donde se puede ver que la pupila se encuentra en estado de dilatación, indicando así que los participantes están prestando atención a la respuesta de la pregunta que al estímulo visual en el proyector.

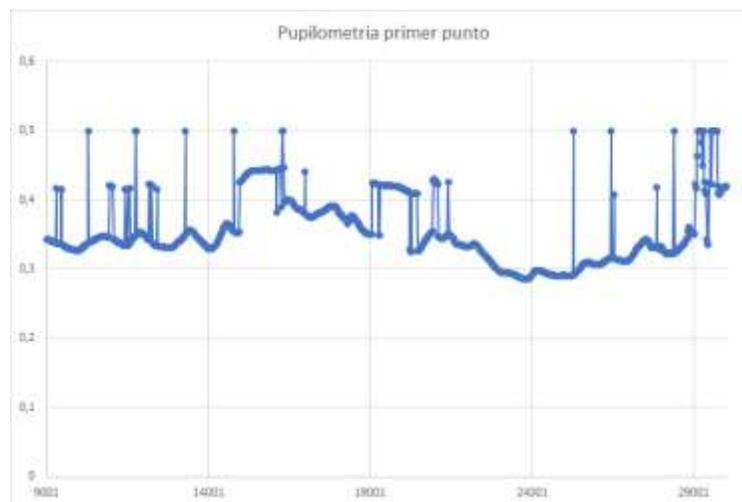


Figura 14. Gráfica pupilometria (primer punto)

Como se mencionó anteriormente, en este punto los participantes demostraron una atención focalizada hacia la la tarea de la respuesta a la pregunta, dando así pie a la *figura 15*, donde se ve la concentración de puntos (referentes a las coordenadas en la mirada), la distancia entre el punto inicial y el límite para el uso de vergencia indica que hubo 9° en dicho movimiento del ojo, funcionando como probante de la atención hacia la segunda tarea ya que en tiempo se ve esta reacción después de terminada la pregunta a los participantes.



Figura 15 Gráfica de coordenadas (primer punto)

Fase 3 -Movimiento de C´s

Durante el desarrollo de la fase se esperaba que la vergencia se mostrará sin cambios, ya que, el estímulo visual en esta fase tenía como objetivo el de volver a inducir un estado de vigilia a los participantes, dado que en la *figura 16* y *17* se denota que existen varias sacadas y fijaciones que responden al estímulo visual, se comprobó que la vergencia realmente pudiese ser tomada en cuenta debido a el ángulo en relación a la pupila y el comportamiento del ojo.

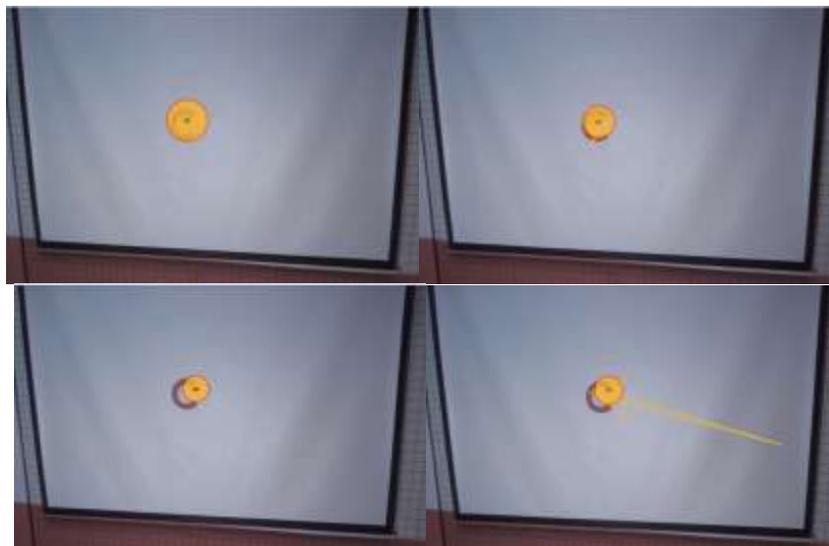


Figura 16. Ojo y crecimiento de pupila Imotions (Movimiento de C´s)

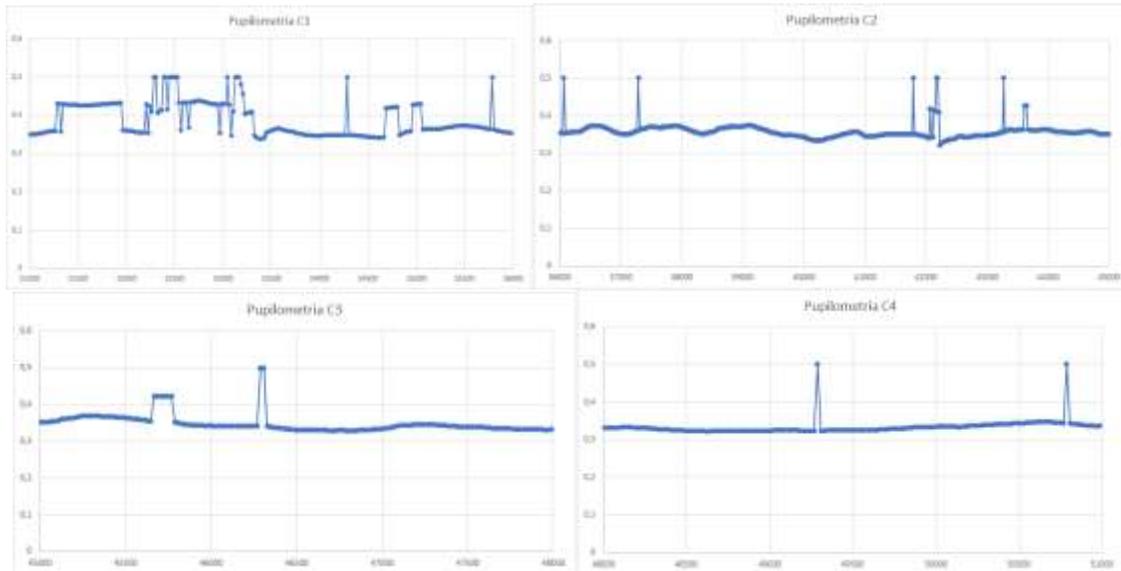


Figura 17 Gráficas pupilométrías (movimiento c´s)

En la *figura 17*, es de notar también que al iniciar la fase se presentan cambios significativos en la pupila, esto puede deberse al cambio de fase y tarea llegando al estado de vigilia, más entre se desarrolla la fase, esos cambios se estabilizan y se mantienen constante, razones por las cuales en conjunto a la *figura 18*. se concluye que en dichas situaciones donde el objeto o estímulo visual posee un valor, debe evaluarse si el análisis de vergencia es pertinente.

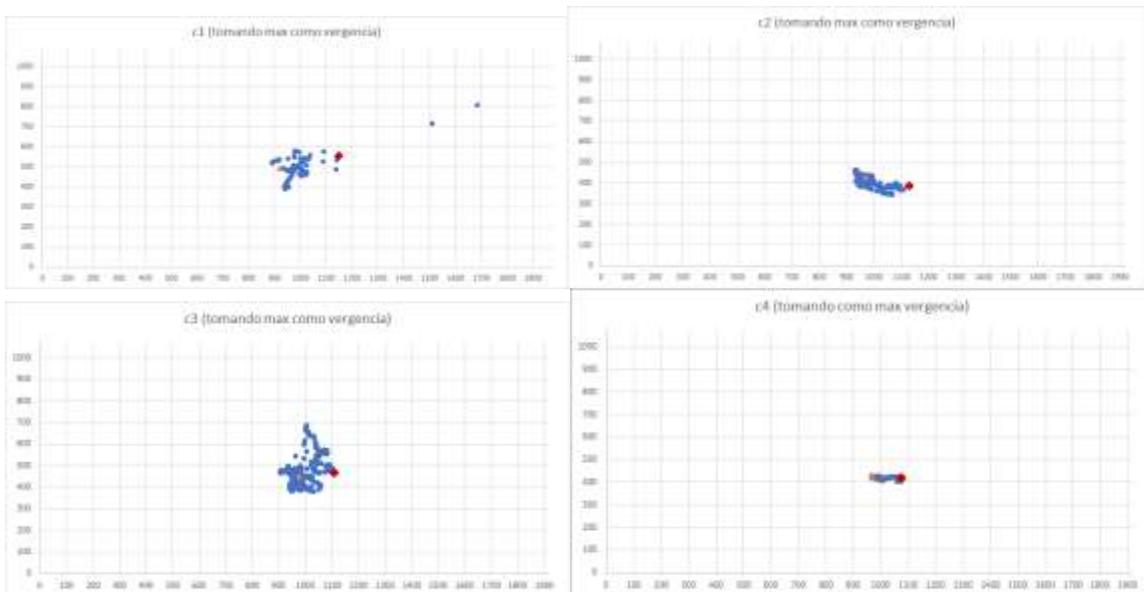


Figura 18. Gráficas de coordenadas tomando max vergencia (*movimiento C´s*)

En los datos de los gráficos de la *figura 18*. se tenía un rango entre 19° y 23° de vergencia, que no podría bajo esta comprobación determinar si es pertinente o no, ya que, el número del ángulo es demasiado alto, dejando la incertidumbre de si el Seno del triángulo ha superado los 360 en su cálculo y ha vuelto a iniciar desde 0°, además de comprobar que tiempos son los correctos para que la vergencia pueda ser tomada en cuenta, esto debido a lo corto de cada estímulo en esta fase.

Por otro lado en la *figura 19*, donde no se tiene en cuenta la vergencia, puede verse un patrón en la dirección del ojo en relación a la apertura de la C, patrón que puede ser corroborado con la *figura 20*.

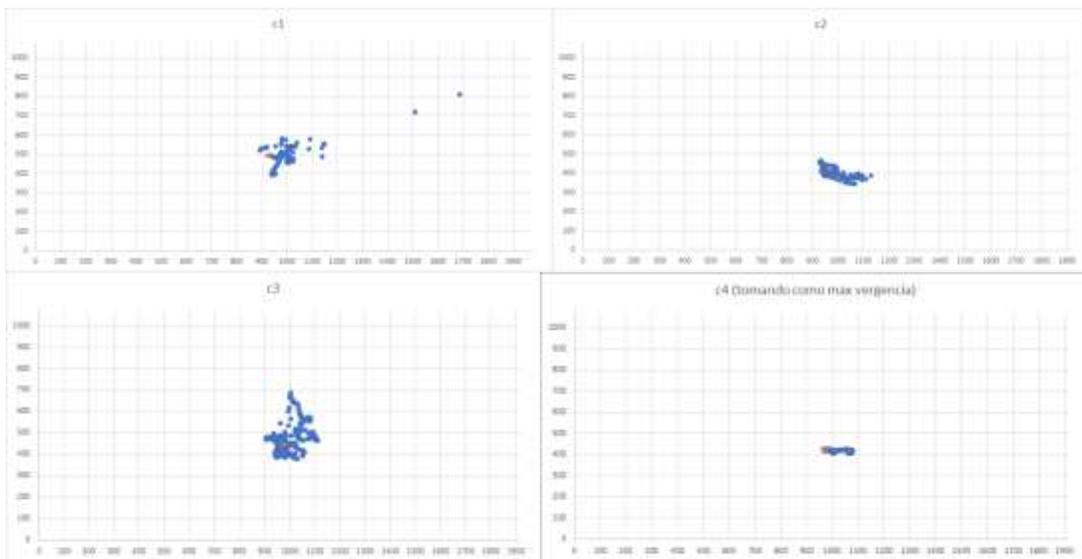


Figura 19. Gráficas de coordenadas tomando sin max vergencia (movimiento C's)

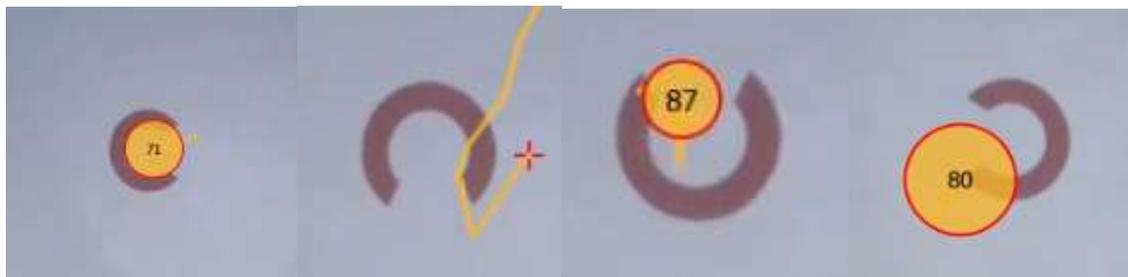


Figura 20. Patrón de posición de la mirada en Imotions (movimiento C's)

Fase 4 -Punto numero 2

Si bien esta fase similar a la fase 2, en esta se hizo más de un pregunta porque en este se involucra el pensamiento matemático para resolver una multiplicación como 6×8 , 7×9 , 9×8 etc. por esta razón hubo coincidencia varias veces en el punto de vergencia con ángulos de entre 12° a 15° que aun cuando no tenían duraciones tan prolongadas como en la fase 2, podían ser comparadas debido a la cantidad de datos recolectados por el sensor, tal y como se muestra en la *figura 23*, aunque en la *figura 21* se ve que las fijaciones no son prolongadas ni pocas, más el patrón de la pupilometría es similar al de la fase 2 donde se ve que el ojo se dilata por la falta de atención en el estímulo visual como en la *figura 22*.



Figura 21. Patrón de posición de la mirada en Imotions (segundo punto)

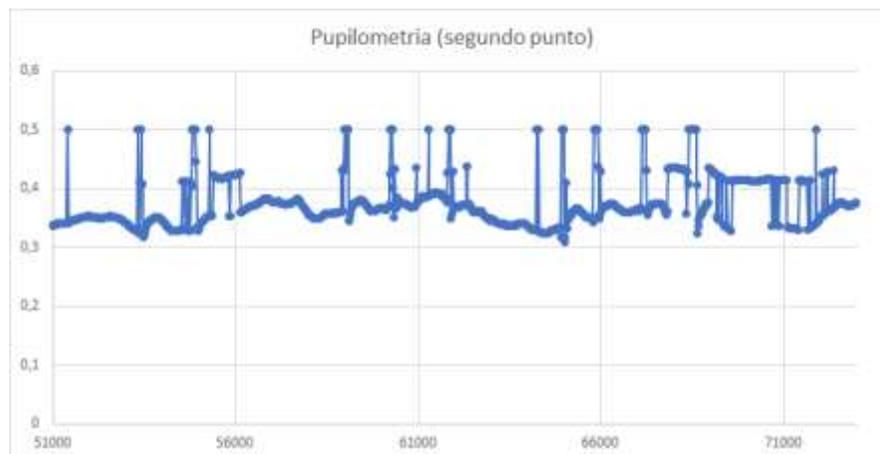


Figura 22. Pupilometría (segundo punto)

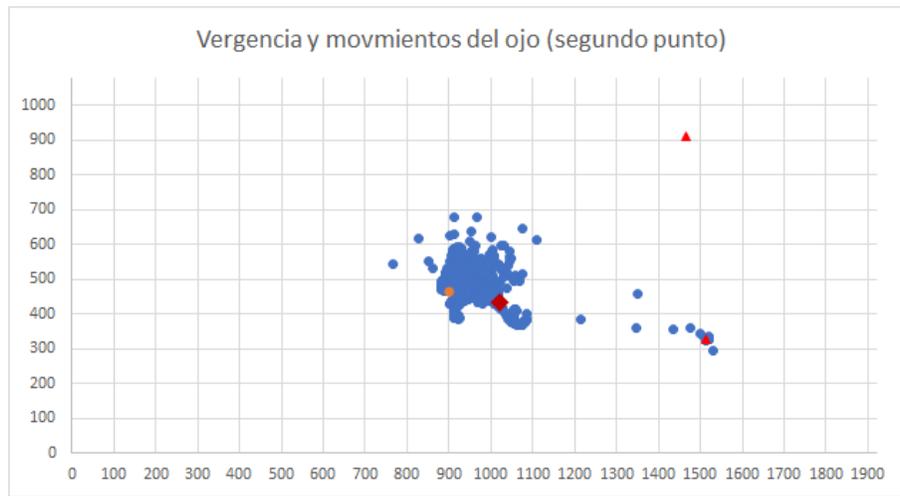


Figura 23. Gráfica de coordenadas (segundo punto)

En la *figura 23*, puede notarse también que, hay dos convenciones más referenciadas en el extremo superior e inferior, estas son marcadas ya que en promedio los participantes solían mover los ojos en estas direcciones, tal y como es descrito en por El Haj(10) en su trabajo donde estos movimientos pueden indicar una recordación o una preparación a un estímulo.

Fase 5 -punto y círculo

Por último, en esta fase se buscaba entender el comportamiento de los ojos en relación a la divergencia del ojo, más bajo estos datos no es posible dar con este dato debido a que usando el mismo procedimiento de las anteriores fases se llegaría a una conclusión similar a la de la fase 3 en la *figura 18*, donde se conseguiría un ángulo demasiado alto para ser considerado como concreto o sin ruido. Aún con lo anterior se puede comprobar que en el comportamiento de los ojos predomina hacia la dilatación, esto puede suceder debido al enfoque inicial del punto y luego hacia un objeto o estímulo visual de mayor tamaño como se muestra en la *figura 24 y 25*.

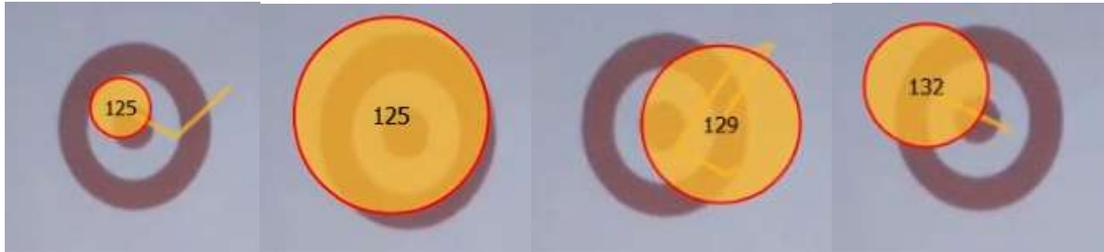


Figura 24. Patrón de posición de la mirada en Imotions (punto y círculo)

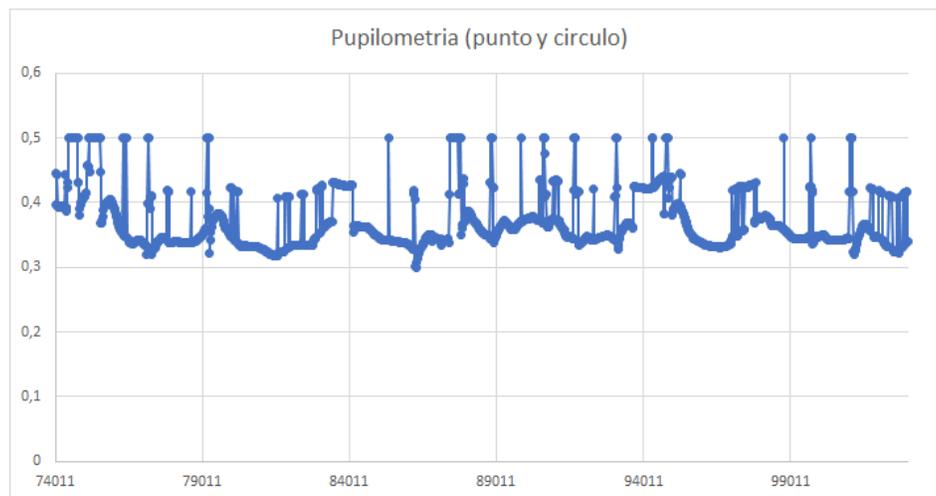


Figura 25. Pupilometría (punto y círculo)

Fase 3 también se utilizó la gráfica de coordenadas para tomar en cuenta el patrón de movimiento de ojos, en esta caso también se denota la mirada en pro de la forma del estímulo visual u objeto tal y como mostrado en la *figura 26*.

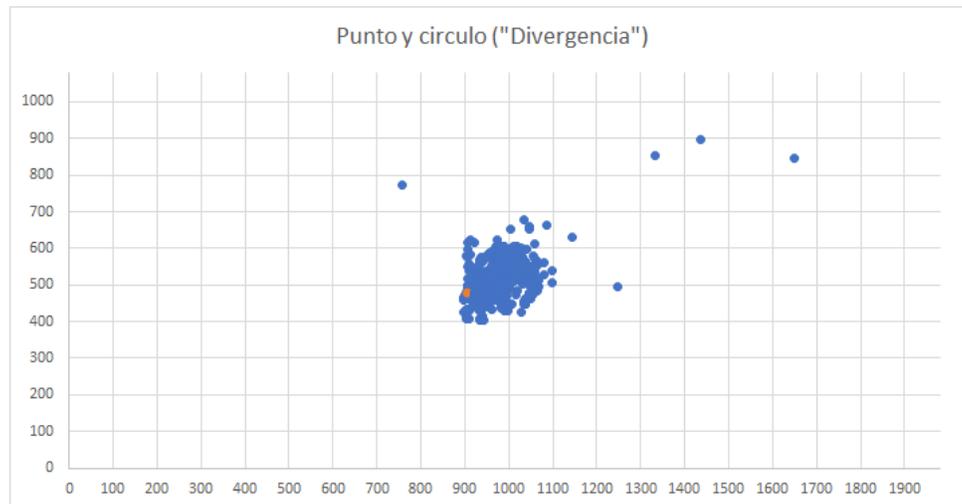


Figura 26. Gráfica de coordenadas (punto y círculo)

Conclusiones

En este trabajo:

- Es importante entender que este archivo se ha presentado paso a paso desde el método de pensamiento hasta el de análisis de los datos, para así permitir a otros poder trabajar bajo este mismo método en trabajos futuros.
- El método presentado es experimental y ha sido creado por el Semillero de investigación Laboratorio de Pruebas de Producto desde la recolección de referencias y revisión de la literatura, que debe aclararse no presentan este método para el trabajo de la vergencia ocular.

De los resultados:

- Como pudo notarse la vergencia ocular posee un gran potencial para la evaluación de tareas, que aun más que probar un argumento, es capaz de permitir indicios del comportamiento de una persona ante un estímulo visual y cognitivo (en este caso).
- El cruce de información entre las figuras que eran visuales del programa y las gráficas de líneas y puntos es importante para en otras evaluaciones poder determinar desde el seguimiento ocular un estimado de la carga cognitiva/trabajo.

- El mapa de puntos para la posición de la mirada puede comprobar no solo la vergencia, sí no, patrones visuales de los estímulos que se hayan presentado en la prueba; es de tenerse en cuenta que la vergencia debe ser comprada siempre con la cantidad de datos, el tiempo de duración del estímulo y la pupilometría.
- De las fases presentadas cabe resaltar que aquellas donde el estímulo visual no tenía un valor en la respuesta (como en los puntos) podía notarse como la vergencia y la pupilometría tienen patrones específicos como fijaciones prolongadas y en dilatación de la pupila, contrario como se muestra en situaciones donde el estímulo visual es el objetivo principal, en esas situaciones las fijaciones pueden ser cortas (normalmente) o prolongadas pero con una contracción de la pupila como se ve en las referencias (1)(4)(10).

En futuros trabajos (recomendaciones y propuestas):

- Puede tenerse en cuenta que el método para el análisis de la pupilometría de Palinko (1) pueda presentar algunos desajustes en los datos debido a la falta de estandarización de los datos, por lo cual en futuros trabajos podría trabajarse métodos como el de Imotions database (11), donde estos procedimientos estadísticos son tenidos en cuenta, más que una preferencia esta podría ser una oportunidad de evidenciar la diferencia en los datos resultantes.
- En futuras pruebas, debería tenerse en cuenta en los gráficos la relación entre los puntos de la mirada y los ms, para entender así nuevos movimientos como smooth pursuit, así como también los puntos más repetidos entre participantes aparte de el punto de control y el de vergencia.
- El uso de tecnologías de seguimiento ocular como instrumento de medición objetiva de trabajos desde su atención, concentración y carga cognitiva.

Referencias bibliográficas

- (1) Palinko, O., Kun, A. L., Shyrovkov, A., & Heeman, P. Estimating cognitive load using remote eye tracking in a driving simulator. In *Proceedings of the 2010 symposium on eye-tracking research & application*, 2010 .p. 141-144.
- (2) Searle, A., & Rowe, F. J. Vergence Neural Pathways: A Systematic Narrative Literature Review. *Neuro-Ophthalmology*, 2016. p. 209-218. doi:10.1080/01658107.2016.1217028

- (3) Stern, J. A., Walrath, L. C. and Goldstein, R. The Endogenous Eyeblink. *Psychophysiology*, 1984.p. 22-33.
- (4) Cabrall, C., Marquart. & Winter, J. Review of eye related measures of drivers' mental workload. *Procedia Manufacturing*, 2015. p. 2854-2861.
- (5) Beatty, J., & Lucero-Wagoner, B. The pupillary system. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinari, & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology*, 2000. p. 142-162.
- (6) A. Marinescu, S. Sharples, A.C. Ritchie, T. Sánchez López, M. McDowell, H. Morvan. Exploring the Relationship between Mental Workload, Variation in Performance and Physiological Parameters. *IFAC-PapersOnLine*, 2016.
- (7) Mays, L. Neural control of vergence eye movements: convergence and divergence neurons in midbrain, 1984. p. 1091-1108
- (8) Psicointerest. Test de Personalidad/Test de Wartegg. http://www.psicotecnicostest.com/Testproyectivos/Testdewarteggcomoresponder.asp?TIP_2=Test%20de%20Wartegg-%20como%20responder&TIP_1=Test%20de%20Personalidad
- (9) Holmqvist, Kenneth, Marcus Nyström, Richard Andersson, Richard Dewhurst, Halszka Jarodzka, and Joost Van de Weijer. *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. OUP Oxford, 2011.
- (10) El Haj, M., & Lenoble, Q. Eying the future: Eye movement in past and future thinking. August 2018, Pages 97-103.
- (11) Imotions Support. Pupillometry theory and export explained. <https://help.imotions.com/hc/en-us/articles/115000487405-Pupillometry-theory-and-export-explained>