

Evaluación experimental de la influencia del diseño de los entornos de realidad virtual en la orientación espacial de las personas

María Belén Faba Salvatierra

Profesor Guía: Mauricio Loyola

Palabras clave: realidad virtual, orientación espacial, diseño arquitectónico

Resumen

Esta investigación tiene como objetivo evaluar la afectación de las variables de color, forma y textura en entornos de realidad virtual. Para esto se llevó a cabo un experimento para comparar la percepción de orientación espacial en un entorno real y uno virtual, mediante el uso de escenarios. Los resultados sugieren que la variable de textura disminuye sensaciones desagradables derivadas de una mala orientación dentro de entornos virtuales, puesto que presenta una mayor complejidad y un mejor parecido a la realidad. Esto podría generar inconscientemente sistemas de referencias visuales, en base a la rugosidad y a las experiencias previas dependiendo de la materialidad. A diferencia de la forma y los colores donde se observa que los modelos más minimalistas generan más sensaciones desagradables dentro de los entornos virtuales. Este estudio contribuye a un mejor entendimiento en cómo variables de diseño de entornos virtuales pueden replicar sensaciones físicas tales como la orientación espacial.

1. Introducción

1.1 Justificación

La orientación espacial es una variable perceptiva que se basa en señales tanto visuales como vestibulares (Keshner y Kenyon, 2009). Numerosos estudios en el ámbito médico han demostrado que los estímulos del entorno son factores determinantes en la generación de sensaciones de inestabilidad, acrofobia (miedo a las alturas), cinetosis o vértigo (Wolf, 2021). Si bien se conoce que estos problemas se producen por un desajuste entre lo que percibe el sistema visual y vestibular sobre el entorno, no es posible determinar o anticipar con exactitud la generación de estos.

En la arquitectura, este es un problema importante pues la orientación espacial se encuentra íntimamente relacionada con el diseño arquitectónico de un espacio puesto que las cualidades del espacio tales como forma, textura, sonido y color (Ching, 1979) resultan ser estímulos que sirven en la generación de sistemas de referencia y de orientación (Moreno, 2012). Esto se puede observar en estrategias de diseño tales como el *wayfinding*, el cual refiere al proceso de orientación mediante la utilización de la información adquirida desde el entorno (Moreno, 2012).

Es dentro de este contexto que la realidad virtual (RV), al permitir la experimentación de nuevos espacios sin encontrarse físicamente en ellos (Witmer, 1998), surge como una alternativa para simular y anticipar estos efectos indeseados de desorientación. En medicina, la RV ha servido como un medio de terapia para tratar problemas referidos

al sistema vestibular. (Wolf, 2021), principalmente dado que al ser un generador de estímulos visuales y auditivos ayudaría a complementar disfunciones evitando las sensaciones anteriormente nombradas (MacKinnon, 2018). Si bien la realidad virtual posee este factor de inmersividad, todavía este medio posee dificultades técnicas aún no solucionadas. El modo de desplazamiento (Kingma y Berg, 2016), la percepción subjetiva de distancias (Loomis y Knapp 2003, Mohler et. al, 2018) y una correcta definición de sistemas de referencia dentro de estos entornos (Nguyen-Vo et. al, 2018) son algunos de los elementos que condicionan la experiencia inmersiva dentro de estos entornos virtuales. Esto toma relevancia al entender que una mala comprensión visual de distancias puede llevar a trastornos relacionados al vértigo (Whitney et. al, 2005) e imposibilitarían una buena experiencia espacial dentro de entornos virtuales.

A pesar de estas dificultades, investigaciones recientes han demostrado que la orientación espacial dentro de entornos virtuales es similar al del mundo real (Campos et Al., 2020; Pastel et al., 2020). Sin embargo aún existe incertidumbre sobre cómo cada cualidad espacial afecta individualmente en la orientación y si sirve como sistema de referencia o de soporte en lo que respecta la comprensión visual de distancias dentro de un espacio

En este trabajo se aborda este problema investigando particularmente la influencia de la

forma, la textura y el color en la percepción de orientación espacial en entornos de realidad virtual con el objetivo de que esta investigación sirva como antecedente para la futura experimentación en espacios no necesariamente construidos en lo que respecta a molestias relacionadas al vértigo y/o los mareos.

1.2 Pregunta de Investigación

¿Cómo afectan las variables de forma, color y textura de los entornos virtuales en la percepción de orientación espacial?

1.3 Objetivo General

-Evaluar cómo afectan las variables de forma, color y textura de los entornos virtuales en la orientación espacial de las personas.

1.4 Objetivo específicos

-Modelar un espacio de realidad virtual que permita la alteración en los aspectos de forma, color y textura.

-Registrar cualitativamente las percepciones e impresiones respecto a la orientación espacial dentro del caso de estudio.

-Analizar los resultados y las alteraciones sobre la percepción de orientación espacial para cada variable independiente.

2. Antecedentes

2.1 Orientación espacial

La orientación espacial es una variable perceptiva íntimamente relacionada con la orientación postural, la cual se basa en señales visuales y vestibulares para identificar correctamente nuestra posición en relación con la vertical. (Keshner y Kenyon, 2009). Es por esta razón que resulta una variable clave para el recorrido y el entendimiento de un espacio, tanto en lo que respecta a la realidad virtual (RV) como a la realidad física. Wolf (2021) señala que el ser humano utiliza principalmente la tríada sensorial o percepción integrada, compuesta por el sistema visual (vista), somatosensorial (propiocepción y tacto) y vestibular (arriba/abajo y aceleración/desaceleración) para las funciones de equilibrio, orientación y desplazamiento.

Estas señales tanto visuales como vestibulares, en parte son producto de las características propias del espacio experimentado. Desde la arquitectura, estos elementos o estímulos son generados por lo que se conoce como las cualidades del espacio y dependen de aspectos culturales y de experiencias previas (Ching, 1982). Estas cualidades permiten sensaciones y percepciones arquitectónicas tales como la orientación espacial y por ende están directamente relacionados al proceso de diseño arquitectónico. Cheng y Newcombe (2005) en su investigación reafirman esto señalando que los elementos geométricos tales como la forma, y elementos no geométricos como los colores y las texturas permiten mantener la orientación espacial dentro de un entorno establecido.

A su vez la capacidad de poder orientarnos mediante estímulos visuales y vestibulares está relacionado al proceso de cómo lo hacemos. Poloche y Zapateiro (2016) señalan que la utilización de sistemas de referencia es uno de los niveles de competencia en cómo nos orientamos. Costa et. al. (2018) se refieren a estos sistemas como dos tipos; “sistema egocéntrico”, en el cual se obtiene información mediante el punto de vista del observador; y un “sistema allocéntrico” en donde la información se obtiene a partir de marcas en el entorno, independientemente de la posición del observador. (Figura 1)

Figura 1

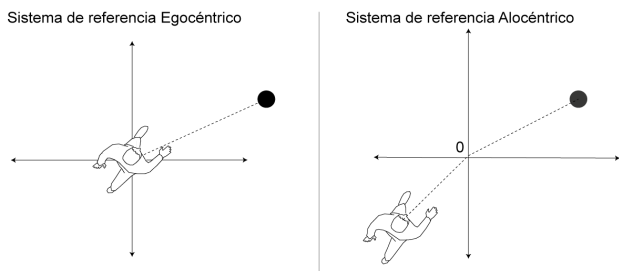


Figura 1: Esquema representativo de los sistemas de referencia egocéntrico (izquierda) y alocéntrico (derecha). Fuente: Adaptado de Nguyen-Vo et al., 2018

A partir de estos sistemas podemos reconocer que estrategias tales como el *wayfinding*, se basan principalmente en estos sistemas alocéntricos para permitir una cierta orientación espacial. En el mismo contexto, Moreno (2012) señala que cualidades espaciales tales como el color, la forma del espacio, las texturas y los sonidos, determinan de distintas maneras como recibimos la información del entorno y por lo tanto resultan ser elementos claves para la orientación espacial.

2.2 Color

Figura 2

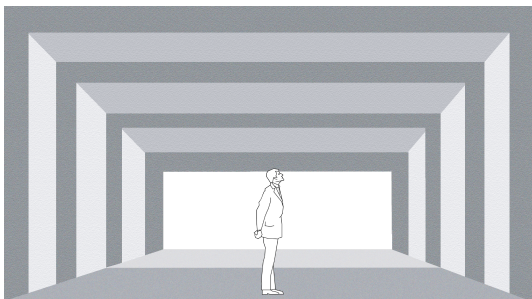


Figura 2: Aplicación de patrones de color para reforzar planos verticales y horizontales en superficies (Fuente: Elaboración Propia)

El color es una cualidad espacial que afecta principalmente las superficies del diseño arquitectónico. Meerwein et al. (2007) señalan que dependemos de estos sistemas de referencia para orientarnos, puesto que nos permiten identificar correctamente los caminos, lugares y direcciones. Además, señalan que los elementos de diseño como los colores, nos permiten diferenciar las funciones y dividir espacio, lo que favorece a una orientación rápida y sencilla dentro de un espacio. (figura 2)
A su vez, lo anterior es consecuencia de que el color resulta ser la cualidad espacial que más se percibe en cualquier entorno o ambiente sobre el que actúe (Moreno, 2012).

Estas características sirven como señales no geométricas de las superficies, lo cual ayudaría a una mejor orientación dentro de los espacios. (Cheng y Newcombe, 2005)

2.3 Forma

Figura 3

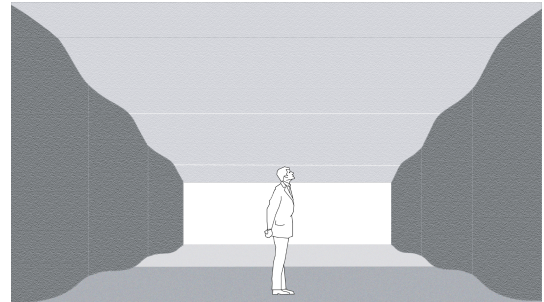


Figura 3: Aplicación de pliegues reforzando sistemas de referencia verticales (Fuente: Elaboración Propia)

Ching (1982) define la forma haciendo referencia a la estructura interna, su contorno exterior y a la unidad del todo. Dentro de estos aspectos, el contorno exterior es la característica más distintiva de un espacio, debido a que éste se encuentra determinado por la configuración de las superficies y aristas. (figura 3)

Esta configuración sirve como señales geométricas, tanto para el reforzamiento de sistemas de referencia verticales u horizontales, como también para generar una mejor navegación en base a el aprendizaje del recorrido basándose en la percepción de esquinas y bordes. (Cheng y Newcombe, 2005)

2.4 Textura

Figura 4

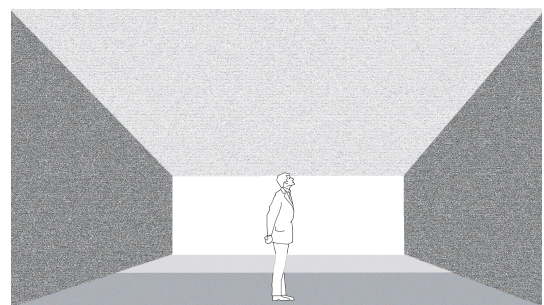


Figura 4: Aplicación de texturas para generar sensaciones de gradiente y reflexión de luz (Fuente: Elaboración Propia)

Ching (1982) describe la textura como la característica superficial de una forma, afectando las cualidades táctiles y de reflexión de la luz sobre éstas (figura 4). De la misma manera Wong (1979), señala que una textura puede ser descrita como suave o rugosa, lisa o decorada, opaca o brillante,

blanda o dura, y por ende es posible clasificarla en dos categorías: la textura visual y la textura táctil.

Por un lado la textura visual es estrictamente bidimensional, por lo que solo puede ser vista por el ojo, esto no impide que pueda evocar sensaciones táctiles en base a la experiencia de cada persona. Por otro lado, la textura táctil no es solo visible al ojo y puede experimentarse mediante el tacto.

Un estudio con base experimental desarrollado por Sinai et. al. (1998) señala que el gradiente de textura del tamaño, además de la altura del ojo, puede influir en el juicio de la distancia absoluta. Esto indica que el gradiente de textura en la superficie del suelo actúa como una señal de profundidad para que el sistema visual establezca un marco de referencia.

2.5 Orientación espacial en realidad virtual

La realidad virtual ofrece la posibilidad de experimentar inmersivamente estas cualidades mediante el desarrollo de una conexión perceptual correspondiente al sentido de presencia (Witmer, 1998). Sin embargo, se conoce que la orientación espacial dentro de estos entornos resulta ser más difícil que en el mundo real. Esta dificultad de la comprensión visual puede generar, en las personas que no se encuentran acostumbradas a estas dificultades, trastornos relacionados al vértigo (Whitney et. al , 2005) puesto que existiría un conflicto entre la percepción de la vertical esperada y la vertical recibida (Kingma y Berg, 2016), afectando así a la tríada sensorial.

Figura 5



Figura 5: Evaluación de la Locomoción mediante Virtuix Omni (Fuente: Extraído de Warren, Lawrence & Bowman, Doug., 2017)

Además de esta dificultad, el desplazamiento dentro de estos entornos virtuales es también un factor importante. Hernandez et. al (2011) señalan que la sensación de inmersión y la vividez del espacio virtual puede ser reforzada si se permite al usuario desplazarse por el modelo. Si bien existen métodos de simular un desplazamiento natural tales como las

caminadoras físicas (Figura 5), estas no son de fácil obtención en aplicaciones de arquitectura, por lo que generalmente el movimiento se realiza de forma estática, lo cual provoca en una gran mayoría de las personas un conflicto en el sistema vestibular entre lo que se observa y se está realizando, y consecuentemente, mareos y náuseas. (Berger y Wolf, 2018).

Por otra parte, investigaciones de carácter experimental señalan que los sistemas alocéntricos presentan una mayor efectividad en la mantención de orientación espacial dentro de entornos virtuales que los sistemas egocéntricos.(Nguyen-Vo et. al 2018). Esta afirmación abre la duda de cómo afectarían bajo un sistema de referencia alocéntrico los elementos de diseño arquitectónicos tales como lo son la forma, el color y las texturas dentro de estos entornos de realidad virtual.

3. Métodos y diseño de la Investigación

Para el desarrollo metodológico, se dispuso de una investigación descriptiva de tipo cuasi experimental con el objetivo de evaluar la percepción de orientación espacial dentro de tres espacios virtuales diferentes y un caso de control (realidad física). La evaluación de estos se realizó mediante un instrumento cualitativo y en la observación in-situ del lenguaje corporal de los participantes.

3. 1 Caso de estudio

El caso de estudio escogido corresponde a la escalera mecánica ubicada en la combinación entre la Línea 1 y Línea 3 del Metro de Santiago (figura 6 y 8), en la estación Universidad de Chile, dirección hacia Los Dominicos. Se escogió este lugar ya que constituye un caso conocido de un espacio que presenta condiciones espaciales que afectan a la percepción de orientación espacial; como la falta de sistemas de referencia en cuanto a la vertical y la horizontal dentro del túnel, y la presencia de elementos erróneos de referencias que confunden la percepción espacial (Wolf , 2021)

Figura 6



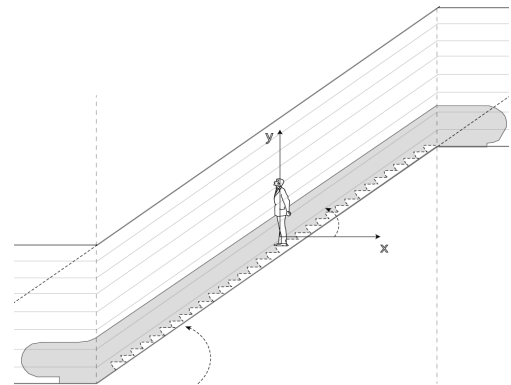
Figura 6: Imágen del caso de estudio desde la línea 1 a la línea 3 (Fuente: Elaboración Propia)

Estas cualidades arquitectónicas generan que durante el trayecto una persona no acostumbrada a la escalera pueda presentar desorientación, mareos y vértigo. La falta de elementos de referencia verticales, y la presencia de elementos de referencia diagonales en el túnel, envían una señal contradictoria al sistema vestibular generando un conflicto entre lo que se observa y lo que se siente (figura 7).

Debido a esta sensación de verticalidad distorsionada, las personas confunden el suelo del final del túnel, es decir la horizontal verdadera, con un plano inclinado lo cual puede además de generar cinetosis, vértigo, e incluso un peligro de caída dentro de este tramo del metro.

Figura 7

a)



b)

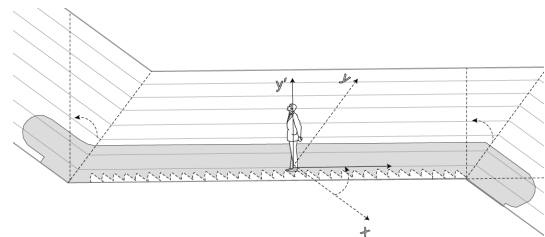


Figura 7: Esquema explicativo de la percepción dentro del caso de estudio. (Fuente: Elaboración Propia)

Figura 8

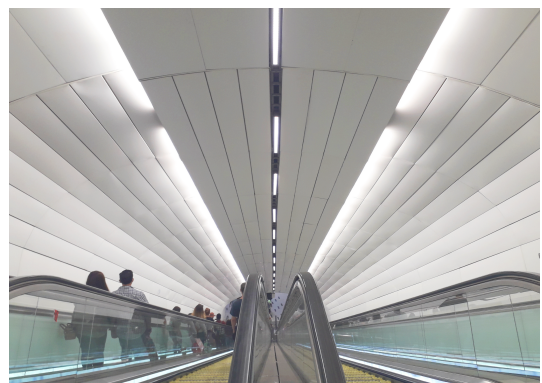


Figura 8: Imágenes del caso de estudio desde la línea 1 a la línea 3 (Fuente: Elaboración Propia)

3.2 Caso de control

El escenario de control consistió en dos videos 360 de realidad virtual, uno en dirección de subida y otro en dirección de bajada. El video 360 permite capturar el espacio físico tal cual como existe en la realidad sin ningún tipo de intervención ni alteración de modelación. Inicialmente, se grabó con una cámara 4K Samsung Gear VR sin trípode, pero el desequilibrio de la imagen, la presencia del portante detrás de la cámara y la presencia de usuarios del metro, obligó a repetir la grabación.

Figura 9

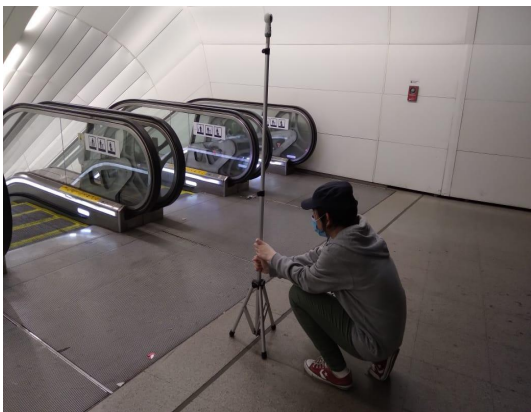


Figura 9: Método de grabación del video usando un trípode (Fuente: Elaboración propia)

Para esta segunda instancia se consideró mediante el trípode una altura establecida a los ojos del investigador. Además se consideró que no hubiesen usuarios en el momento de la grabación, con el motivo de que no fueran elementos de referencia para los participantes. (figura 9)

El video, luego de la grabación in-situ, fue unido mediante el Software de Samsung Gear 360 Actor Director (figura 10) y luego fue post-procesado mediante el Software Adobe Premiere Pro.

Figura 10

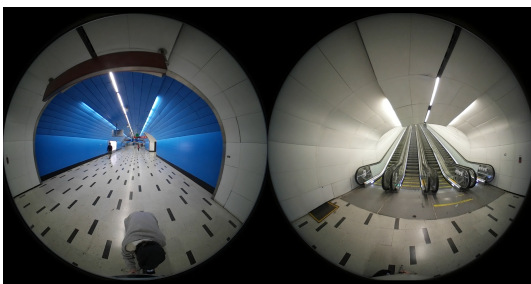


Figura 10: Video 360 sin procesar obtenido desde la cámara Samsung Gear 360. (Fuente: Elaboración Propia)

Durante el postprocesado se corrigió la vista inicial de la experiencia de realidad virtual, con tal de que la persona no tuviese que adaptarse a la dirección del video. Además de esto se añadió una cortina inicial que presentase el lugar, suavizando la visualización mediante un barrido el inicio y el final del video.

3.3 Modelación de escenarios

Para la generación de los modelos del caso de estudio se realizó un levantamiento in-situ del metro Universidad de Chile L1-L3 con tal de tener las medidas base. Con esta información, se modelaron con Rhinoceros 7 tres escenarios, llamados escenarios, C y D. (figura 11).

Figura 11

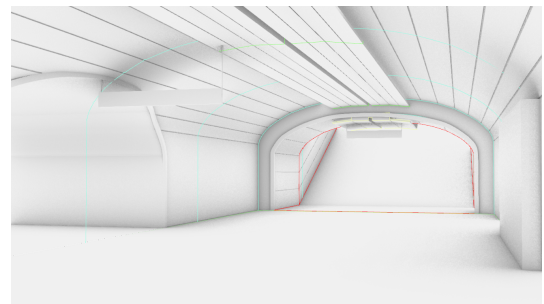


Figura 11: Proceso de modelado en Rhino 7 (Fuente: Elaboración propia)

Los modelos fueron exportados en formato FBX hacia el motor gráfico Unreal Engine 4.26.2., (figura 12) en donde se montó una escena virtual brindando iluminación y texturas con el motivo de intentar replicar al máximo las condiciones reales. (figura 13)

Además de esto se estableció dentro de estas escenas los elementos de evaluación y los recorridos predefinidos mediante la asignación y animación de cámaras de subida y bajada.

Figura 12

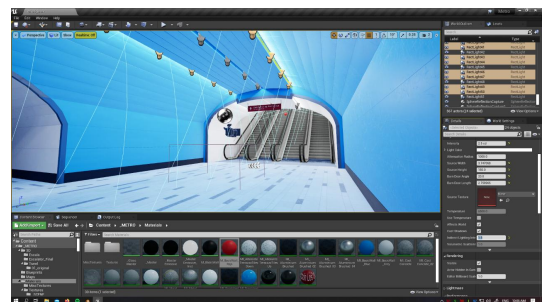


Figura 12: Proceso de modelado y montaje de la escena del caso de estudio. (Fuente: Elaboración Propia)

Figura 13

Figura 13: Imagen comparativa entre el espacio real del caso de estudio y el espacio virtual generado.

Luego de completar la escena, con tal de preparar la exportación para su visualización se planteó en una primera oportunidad la generación de seis videos 360 de los escenarios realizados. Esto mediante la utilización del plugin *Panoramic Capture Tool* de *Unreal Engine* (Figura 14). A partir de este plugin se extrajeron 960 frames estereoscópicos en resolución 4K, los cuales fueron montados en Adobe Premiere Pro 2020.

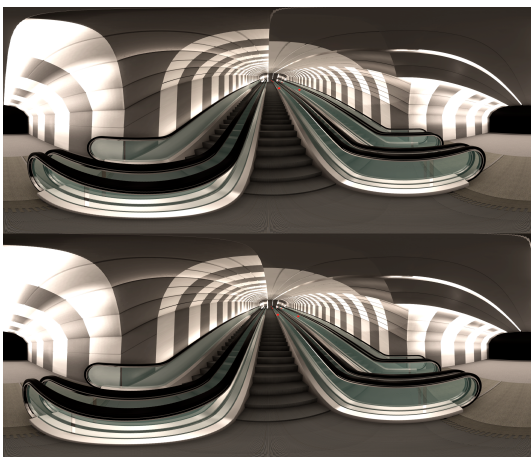
Figura 14

Figura 14: Imagen comparativa entre el espacio real del caso de estudio y el espacio virtual generado. (Fuente: Elaboración Propia)

En una prueba con los dispositivos de realidad virtual Oculus Quest 2 se determinó que los videos 360 no cumplían el objetivo, por lo tanto fueron descartados. Esto dado que el sistema de referencia que estos utilizaban no era alocéntrico, sino que egocéntrico; esto quiere decir que el entorno no se encontraba estático en relación al observador sino que el entorno seguía la cabeza de este. Por lo que en base a la literatura anteriormente expuesta resultaría

en una menor efectividad en la mantención de orientación espacial dentro de entornos virtuales, además de generar una sensación menos realista de las escenas.

En una segunda instancia se elaboró mediante el motor gráfico de Unreal una aplicación ejecutable para Windows. Este formato tiene como ventajas que la visualización no es estática como el caso anterior, sino que permite una inmersión total del usuario dentro de este, de tal manera de que el recorrido de la escena fuera similar a un videojuego de realidad virtual para los lentes Oculus. Luego de la generación de estas se procedió a probarlas en los computadores de la Facultad de Arquitectura y Urbanismo de especificaciones; Procesador Intel i5, tarjeta gráfica Nvidia GTX 1050 6Gb y 15 Gb de RAM. En estos se pudo observar que el computador no lograba procesar completamente los escenarios, puesto que tardaba en cargar las texturas y el movimiento dentro de estos no era fluido. Se concluyó que la capacidad de hardware era insuficiente para estas aplicaciones.

Al mismo tiempo, se probaron estas aplicaciones en un notebook de características AMD Ryzen 7 Mobile 3750 H, 16 Gb de RAM y una tarjeta gráfica Nvidia RTX 2060, la cual si bien posee el nivel requerido de hardware para la reproducción de la aplicación, tampoco sirvió debido a que los Oculus Quest 2 no permitían la separación de la tarjeta gráfica dedicada con la integrada en equipos portátiles.

En una tercera oportunidad, dado los problemas anteriores, se determinó la utilización de aplicaciones Android y que estas fueran instaladas directamente dentro de los Oculus Quest 2, aprovechando la capacidad de funcionar inalámbricamente en comparación a los Oculus Rift que necesitan estar necesariamente conectadas a un equipo PC. Sin embargo, a pesar de esto, las aplicaciones Android poseían problemas en la iluminación que impedían una buena representación del modelo.

Finalmente, luego de todos los inconvenientes anteriores, se retomó la opción anterior de la aplicación de Windows 64x. Mediante gestión externa se pudo obtener un computador de características Intel Core i5 7400 3Ghz, 8Gb de RAM, tarjeta gráfica Nvidia GTX 980, en donde el componente decisivo que permitió la ejecución de estos fue la tarjeta gráfica.

3.4 Escenarios

Escenario Rapport

Se prepara un espacio como rapport intermedio, en donde el participante se acostumbre a la inmersión en entornos de realidad virtual, en él se estableció una retícula que reforzaban las direcciones horizontales y verticales.

Figura 15

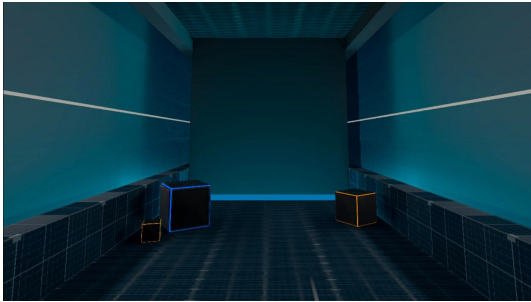


Figura 15: Espacio modelado previo a los escenarios - Escenario Rapport. (Fuente: Elaboración Propia)

Escenario B - Textura

Para este escenario se considera una textura de hormigón dado que se trata de una terminación muy común en estos espacios intermedios, además que contiene gradientes rugosos generados por la reflexión de la luz que podrían ayudar a la determinación de la profundidad sobre las superficies y por ende servir como un marco de referencia en la escena. (Sinai et. al., 1998)

Figura 16



Figura 16: Espacio modelado del caso de estudio, textura variable.. (Fuente:Elaboración Propia)

Escenario C - Forma

Se consideró en base a la investigación de Kelly et. al. (2008), donde muestran que los elementos angulares permiten una mayor mantención de la orientación, un modelo de color neutro con varios

elementos angulares curvos, los cuales por su forma reforzaban los planos verticales dentro del escenario.

Figura 17



Figura 17: Espacio modelado del caso de estudio, variable forma. (Fuente: Elaboración Propia).

Escenario D - Color

Para la realización de este modelo, se consideró brindar mediante contraste de colores elementos de referencia que favorezcan la percepción de la vertical dentro del túnel del caso de estudio. Para evitar sensaciones en base a experiencias que puedan afectar el proceso de evaluación se estimó por escoger colores grises y blancos.

Figura 18

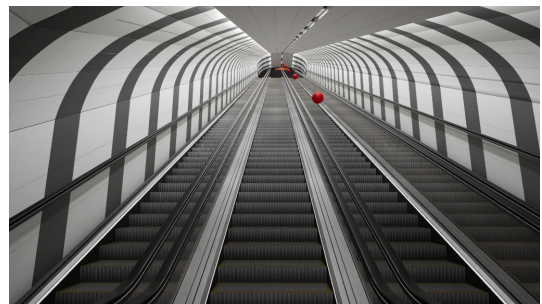


Figura 18: Espacio modelado del caso de estudio, variable color. (Fuente:Elaboración Propia)

3.4 Muestra

La experimentación se llevó a cabo con una muestra heterogénea (ver. Anexo), consistente en 30 personas escogidas mediante un anuncio en redes sociales dirigido a estudiantes y vecinos. Para el reclutamiento de estos se pidió como requisito que conocieran y hayan experimentado físicamente la estación de metro escogida y que no hayan experimentado realidad virtual antes.

3.5 Instrumentos de evaluación

Para medir y evaluar la variable dependiente de orientación espacial a partir de las variables independientes de forma, color y textura, se optó por una valoración directa mediante un cuestionario de enfoque cualitativo. Los participantes respondieron las preguntas a medida que se iban presentando los escenarios. Adicionalmente, se llevó a cabo un registro paralelo de carácter descriptivo sobre el lenguaje corporal de los participantes durante toda la experimentación.

En primer lugar, para el cuestionario se estableció una etapa 1 de control, la cual sirve de punto de comparación entre el entorno real y la experiencia de realidad virtual. En segundo lugar, se estableció la etapa 2 de percepción libre, en donde no se instruye ninguna actividad específica más que observar. En tercer lugar, se definió la etapa 3 de percepción libre dirigida, donde se asigna una tarea de contar esferas rojas dentro del escenario con el motivo de mantener al participante concentrado en la experiencia. Por último se establece una etapa 4 de percepción guiada, en donde se le indica al participante que ponga atención en que tan fácil es determinar el plano vertical y el plano horizontal, o si bien, siente que esta derecha la vertical respecto a su propia percepción.

Para evitar sesgos entre cada escenario, es decir que existan alteraciones en los resultados dependiendo el orden en que son experimentados,; se distribuyó la muestra en tres grupos de 10 participantes con distintos órdenes, de los cuales la mitad experimentarían dirección de subida y la otra mitad en dirección de bajada la escalera. (tabla 1)

Tabla 1

Subida/ Bajada	Etapa 2 Percepción Libre	Etapa 3 Actividad	Etapa 4 Percepción Guiada
Orden 1	Textura	Forma	Color
Orden 2	Forma	Color	Textura
Orden 3	Color	Textura	Forma

Tabla 1: ordenamiento de aplicación de escenarios en base a las etapas del cuestionario. (Fuente:Elaboración Propia)

3.6 Procedimiento experimental

El experimento se llevó a cabo en la residencia de la investigadora durante los días 20, 21 y 22 de noviembre, debido a la disponibilidad del dueño del computador y a las condiciones de aforo. Se dispuso de un espacio ventilado, con un aforo de no más de 3 personas dentro del lugar, además se facilitaron mascarillas, alcohol gel y paños desinfectantes para la limpieza de los elementos luego de cada participante, según un protocolo COVID-19 definido en conjunto con la prevenciónista de riesgos de la Facultad.

En primer lugar se realizó una introducción o bienvenida a los participantes, agradeciéndoles por participar en el experimento. Una vez hecha la presentación, se realizó un screening previo a la experimentación, en el cual se preguntó en primer lugar su edad, nivel educacional, si tenían síntomas COVID o si habían estado en contacto con algún contagiado en los últimos 14 días; si habían usado equipos de realidad virtual anteriormente y se verificó mediante una foto del lugar si conocían físicamente el espacio del caso de estudio.

Posterior a las preguntas, se procedió a explicar el experimento de forma general y, se les entregó el consentimiento informado (ver.Anexo). Una vez firmado, se procedió a colocar los lentes de realidad virtual al participante, paralelamente se anotó el día, la hora, el número de participante y el orden de visualización asignado. Además de esto se realiza un protocolo establecido mediante las siguientes preguntas (ver.Anexo),

Iniciando el experimento se le pidió que visualice en primer lugar el escenario de rapport. Esta primera parte pretendió que el participante se familiarizara con el equipo.

Después de comprobar que el participante estuviera cómodo con los lentes de realidad virtual se procedió a visualizar los escenarios en base al orden de visualización asignado. Para cada uno se explicó en primer lugar la actividad a realizar, sea de percepción libre, contar elementos o percepción guiada en base a la etapa que realice. Durante cada experimentación, se tomó nota de los movimientos y comentarios tanto conscientes como inconscientes del participante sobre una planilla Excel. Una vez terminado cada escenario, se preguntó en voz alta sin retirarle los lentes de realidad virtual el cuestionario establecido anteriormente (Anexo x). Todas las respuestas se registraron inmediatamente sobre la misma planilla Excel (ver.Anexo).

Luego de la experimentación y registro de los 4 escenarios se le retiraron los lentes para su limpieza

y desinfección en base al protocolo COVID, agradeciendo al participante y se procede a invitar al siguiente participante hasta terminar la muestra.

Figura 19



Figura 19: imagen del proceso experimental (Fuente: Elaboración Propia).

Figura 20



Figura 20: imagen del proceso experimental (Fuente: Elaboración Propia).

3.7 Encuesta in-situ

La encuesta se llevó a cabo en la estación de Metro Universidad de Chile, en la combinación entre la línea 1 y la línea 3 con dirección a Los Dominicos. Esta se realizó el día miércoles 17 de noviembre entre las 10am y las 12 pm.

La encuesta se realizó paralelamente al proceso experimental, manteniendo el carácter cualitativo (Anexo x). La muestra consistió en 35 participantes, los cuales 17 de ellos fueron entrevistados en dirección hacia la L1 del metro y los 18 restantes en

dirección hacia la L3 del metro en la estación Universidad de Chile.

El objetivo de la encuesta fue obtener percepciones cualitativas sobre el espacio real. Cabe señalar que dado que la muestra no es probabilística no es posible generalizar.

Figura 21



Figura 21: imagen de la encuesta in-situ (Fuente: Elaboración Propia).

3.8 Procedimiento de análisis

En primer lugar los datos fueron revisados y ordenados sobre una planilla Excel (ver.Anexo), de tal manera que fuera posible identificar códigos y conceptos claves recurrentes para la investigación.

3.8.1 Codificación Abierta

Una vez ordenados los datos, estos se analizaron en primera instancia sin sesgos previos. A partir de esto se identificaron conceptos de interés y subcategorías los cuales sirvieron de base para la codificación axial.

3.8.2 Codificación Axial

Teniendo los conceptos ya identificados, se realizó mediante comparación la simplificación de los temas en categorías. Esto con el motivo de identificar semejanzas y diferencias y englobar en cierta medida en categorías más generales y centrales.

3.8.3 Codificación Selectiva

Luego de tener codificados los temas se procedió a una codificación selectiva en donde a cada categoría se le asigna una descripción y significación relacionada al tema de la investigación.

4. Resultados

Los participantes tanto de la encuesta como el proceso experimental se encuentran representados y codificados en base al número de encuesta y/o cuestionario correspondientemente.

4.1 Resultados del Procedimiento Experimental

En base a los resultados se generó como **categoría A** principal “*el impacto del diseño arquitectónico en la percepción de orientación espacial*”, la cual se enfoca directamente en el tema de investigación y la pregunta en cuestión. Por otro lado, adicionalmente a esto se generó una **categoría B** de comentarios generales sobre “*la experiencia de realidad virtual en arquitectura*”.

A.- Impacto del diseño arquitectónico en la percepción de orientación espacial

Textura

De los resultados obtenidos de la etapa de evaluación de percepción libre, se observa que las sensaciones más frecuentemente percibidas fueron el *vértigo y el mareo*. En su mayoría los participantes *percibieron estas molestias al inicio y al final del recorrido*, siendo en *la mitad del recorrido el lugar de menos recurrencia* de estas sensaciones desagradables. Así mismo se observó que los participantes que *descendieron la escalera, tuvieron más frecuentemente estas sensaciones cuando miraban hacia abajo y/o la escalera*.

Se observa que durante la etapa de percepción guiada, *9 de 10 participantes consideraron que era muy fácil determinar el plano horizontal y vertical* en este escenario.

Finalmente se aprecia que los participantes destacaron una mayor sensación de realidad, dada por la percepción de proposiciones y/o materialidades.

“ se percibían los materiales ” (22)
“[el entorno] es más complejo” (18)
“la proporción mejoró se adapta a la realidad” (6)

Forma

A partir de los resultados de la etapa de percepción libre se observa que las sensaciones más percibidas fueron el *vértigo y el mareo*. Al igual que la variable anterior las secciones donde más se presentaron estas sensaciones fueron al inicio y al final. Sin embargo en esta variable se observa un aumento de los participantes que presentaron sensaciones desagradables en la mitad del recorrido, cuando miraban hacia arriba y hacia abajo (subida y bajada respectivamente). Además de esto se observó que en una *dirección descendente, estos malestares se presentaban cuando los participantes miraban hacia abajo y/o la escalera*.

Se observa que para la etapa de percepción guiada *solo 3 de 10 participantes consideraron que era muy fácil determinar la vertical y la horizontal dentro del escenario*. Además se aprecia que esta dificultad se presentaba con mayor medida al inicio y al final del recorrido.

Finalmente se aprecia que los participantes destacaron una mejor espacialidad o sensación de espacio.

“se notaba la profundidad “(11)
“...tenia mas referencias” (14)
“sensación de espacio mejor lograda (14)

Color

En base a los resultados de la etapa de la percepción libre se observa que las sensaciones más percibidas fueron *vértigo y mareo*. Además de esto se aprecia que *los participantes que percibieron molestias en la mitad del recorrido, estaban mirando hacia el entorno y hacia abajo*. Así mismo, *los participantes que señalan haber sentido molestias al inicio y al final estaban mirando más frecuentemente hacia abajo y/o la escalera*.

Se observa de la etapa de percepción guiada que *solo 4 de 10 participantes consideraron que era muy fácil determinar la vertical y la horizontal dentro del escenario*. Además de esto se aprecia que *el lugar de mayor dificultad fue la mitad del recorrido*.

En este escenario se observa similitud con la variable de forma en cuanto a la percepción espacial, esto con la diferencia que en algunos participantes

género sensaciones desagradables tales como fatiga visual.

“[el entorno] hace que me duela la cabeza” (2)
“se ve más espacioso” (14)

B.- Experiencia de realidad virtual en arquitectura

Dificultades y consideraciones de los videos 360

Una consideración que se aprecia de los resultados del video 360, es que *los participantes que experimentaron este escenario, tuvieron sensaciones desagradables similares a las que experimentaron los encuestados en el espacio físico real.* (tabla x)

Tabla 2

Video 360	Encuesta in-situ
<i>“se siente como que se va a caer” (26)</i>	<i>“sentía como que me iba a caer” (16)</i>
<i>“el vacío al bajar la escalera” (17)</i>	<i>“te da el vacío”, hay que acostumbrarse (18)</i>

Tabla 2: (Fuente:Elaboración Propia)

Una dificultad que se aprecia, es que *los participantes perciben de distinta manera las dimensiones dentro del video 360.*

“la distancia hacia el suelo es distinta” (23)
“el espacio de la escalera se ve mas ancha que en realidad” (27)

Finalmente se aprecian en esta herramienta de visualización que los participantes presentaban dificultades en la visualización, señalando que tienen poca resolución o se ven poco nítida.

“falta claridad en la imagen muy pixeleado” (9)
“la imagen se notaba de muy baja resolución (6)
“[en] las esquinas se logra apreciar ciertos reflejos que no se deben notar, faltan reflejo de las luces del piso” (4)
“...está demasiado brillante” (8)

Beneficios de los modelos de realidad virtual

Uno de los principales beneficios observados del uso de los modelos de realidad virtual es la mejor

percepción del movimiento por parte de los participantes, esto refiere por una parte más técnica, a la cantidad de frames por segundo y por otra parte a la posibilidad de replicar lo mejor posible sensaciones de desplazamiento dentro de la escena.

“la fluidez del movimiento es mejor” (1)
“simula el movimiento de la escalera, tuve la misma sensación” (25)
“se sintió que subí hacia arriba” (4)

Otro aspecto importante que se aprecia es la mejora en la sensación de presencia e inmersión dentro de la experiencia de RV.

“sentía que podía moverme a todos lados” (3)
“muy real, sentía que estaba en el lugar” (17)

Finalmente el aspecto de la mejora en la calidad de imagen y la resolución. Los participantes señalan que en los modelos se observa más nítidamente y más iluminado que por ejemplo el video 360.

“[la imagen] estaba mas nitida” (16)
“mejor en términos de imagen, no se veía borroso” (6)
“hay una iluminación más pareja” (4)
“[está] más iluminado, parece más realista” (19)

Limitaciones de la simulación en RV

Dado las consideraciones y beneficios de los puntos anteriores, se aprecia que existen limitaciones que son transversales para todos los escenarios experimentados.

Uno de los problemas más recurrentes fue que los participantes señalaban que el movimiento no se asemejaba a la realidad.

“las escaleras mecánicas no se sentían reales” (7)
“.. faltan los movimientos de los elementos del entorno” (20)
“las escaleras no se movían” (26)
“[se siente que] se camina más rápido” (24)

Otro de los problemas es que la simulación no se equipara con la experiencia física, esto principalmente a que los participantes perciben la diferencia en la resolución de las texturas y la

limitación de los sonidos presentes dentro del escenario.

"...faltaron personas." (21)

"faltan elementos menos perfectos, le quitan realidad..." (20)

"...se nota que es un modelamiento 3d" (25)

4.2 Resultados de la Encuesta in-situ

Sensaciones Desagradables percibidas

Del total de 35 entrevistados, se obtuvo que 24 sufrieron o recuerdan haber sufrido durante el trayecto sensaciones de vértigo, desorientación y/o mareos tanto en subida como en bajada. Durante el recorrido de subida 7 de 17 personas encuestadas sufrieron sensaciones molestas, y en el recorrido de bajada 14 de 18 personas encuestadas sufrieron sensaciones molestas. Si bien la encuesta no es de carácter cuantitativo, estos datos dan una idea general de la recurrencia de las molestias

Entre las principales molestias señaladas en las respuestas; destacó el mareo, el vértigo y sensaciones tales como "sensación de caerse hacia adelante y/o atrás".

"[siento] mareo y vértigo" (22)

"cuando subo siento mareos..." (27)

"sentía como que me iba a caer" (16)

"[siento] vértigo, [siento que] es muy alto" (18)

Algunos encuestados se refirieron instintivamente a la inclinación de la escalera como un factor causante de las molestias, lo que resulta curioso ya que la escalera tiene la misma pendiente que todas las otras escaleras mecánicas usadas en Metro (30°).

- "...siento que me empuja hacia adelante" (34)

"... [la escalera es] muy empinada" (19)

Frecuencia y Adaptabilidad

Se aprecia que *las personas que utilizan todos los días la escalera mecánica sufren menos sensaciones de vértigo y mareo. En contraste, las personas que utilizan la escalera por primera vez u ocasionalmente, tienen más frecuentemente sensaciones de molestias y de inseguridad.*

"te da el vacío, [pero] hay que acostumbrarse" (18)

Influencia del entorno

Se observa que los encuestados que *subieron la escalera y sufrieron sensaciones desagradables, señalan principalmente estar mirando hacia al frente.* Además de esto se observa que los encuestados experimentaron estas sensaciones principalmente al final y a la mitad del recorrido.

De la misma manera se observa que al *bajar la escalera, los encuestados que sufrieron estas sensaciones desagradables señalan principalmente estar mirando hacia abajo o a la profundidad de la escalera.* Además de esto se observa que los encuestados experimentaron estas sensaciones principalmente a la mitad y al principio del recorrido.

Percepción del diseño de la escalera

De las respuestas obtenidas en base a la percepción del diseño de la escalera se observaron las siguientes categorías entre las preguntas más recurrentes:

Aspectos positivos del diseño

"Estupenda, es más segura porque están más nuevas" (35)

"Excelente, es una de las mejores de esta estación, el diseño de arquitectura minimalista, impecable el color del techo" (33)

"Bien, moderna me gusta mucho" (27)

Aspectos negativos del diseño

"muy empinado, en Ñuñoa Monseñor Eyzaguirre me pasa algo similar a esta escalera" (9)

"Es más empinada que las otras, me desorientan mucho las líneas amarillas de la escalera..." (3)

"su trayecto es muy largo..." (25)

Sensaciones positivas percibidas

“más divertida, una sensación diferente que otras escaleras son muy fomes” (30)

“me da la sensación de seguridad” (35)

Sensaciones negativas percibidas

“me genera miedo” (16)

“se genera a mi edad una sensación de inestabilidad” (26)

6. Discusión

En base a todos los resultados anteriores se deja en evidencia que efectivamente existe un traspaso de la percepción de orientación espacial del mundo físico del caso de estudio a un entorno de realidad virtual como lo son el vídeo 360 y los modelos 3d. A su vez, los resultados sugieren que las variables de diseño tales como la *textura*, *forma* y *color* afectan en la percepción de orientación espacial de distintas maneras. Se observó que la variable *textura* presentó menor sensación de desorientación dentro de los escenarios, a diferencia de las variables de *forma* y *color* que presentaron una mayor desorientación por parte de los participantes.

Se observa que las principales sensaciones desagradables percibidas se encontraban relacionadas a episodios de vértigo y mareo en los inicios y finales del escenario, no así en la mitad del recorrido. Por otra parte, se aprecia además que, si bien la mayoría de estos presentaban estas sensaciones mirando hacia abajo, de igual manera los participantes que subían se giraban teniendo las mismas molestias. En este punto, es importante recordar que a los participantes no se les limitó su campo de visión ni se les instruyó sobre las áreas que podrían o no observar a fin de tener un escenario más cercano a la realidad, sin un impedimento físico ni condicionante para observar el entorno. Sin embargo, al ser un entorno simulado en RV, un medio que resulta novedoso para los participantes, se crea un contexto de curiosidad en el cual el participante quiere observar su entorno más de lo que lo haría en la realidad; como se observa en los casos donde los participantes se dan vuelta a mirar hacia abajo.

Esta nueva variable de curiosidad por el entorno virtual puede hacer que las respuestas se vean distorsionadas respecto a los elementos que realmente afectarían la percepción de orientación espacial en un recorrido con dirección

preestablecida, por lo que no se puede determinar con seguridad si los participantes experimentaron alguna diferencia real entre subir o bajar la escalera en el desarrollo de estas sensaciones desagradables.

Si se divide el recorrido simulado en tres partes: inicio, medio y final, se observa que la percepción de orientación espacial se puede evaluar de mejor manera durante la parte media, ya que en ésta sección el participante se encuentra en la escalera con sólo las variables del entorno para orientarse, sin verse afectada por variables confundentes. Esta observación se reafirma en cierta medida puesto que los participantes señalaron no tener dificultades de determinar y determinarse dentro de los planos vertical y horizontal en ese tramo, aspecto fundamental para la percepción de orientación espacial.

Otro aspecto importante que podría estar distorsionando los resultados, es el movimiento. Normalmente al subir y bajar una escalera mecánica, sentimos un cambio de velocidad brusco y una consecuente inestabilidad que rápidamente se recupera. En la RV éste fenómeno no ocurre de la misma forma, ya que si bien la persona está viendo cómo sube o baja de la escalera, su cuerpo se mantiene estático y no experimenta realmente los cambios en su equilibrio. Esta limitación técnica de la simulación con RV es similar al “fenómeno de la escalera mecánica rota”, donde quienes suben a una escalera inmóvil, experimentan mareos o un gran desequilibrio, ya que inconscientemente sus cuerpos ya se habían preparado para sentir el cambio de velocidad. (Reynolds & Bronstein, 2003)

De manera similar, el recorrido simulado cuenta con una desaceleración antes de subir y bajar la escalera para hacer el escenario más acorde a la realidad; sin embargo, algunos participantes señalaron que en estas partes del recorrido trataban de ver sus pies para acompañar el movimiento, pero esto no era posible durante la simulación, lo cual termina en una desorientación y sensación desagradable al no tener la referencia física de estar haciendo el movimiento que se presenta en su visor. Esto explicaría la presencia de estos mareos y vértigo principalmente al inicio y al final del recorrido, por lo que no sería realmente influencia de la variable en cuestión.

Aún así, si se intentara resolver este punto agregando pies que se puedan ver al bajar la vista, puede ocurrir que, al no poder recrear exactamente el movimiento de las extremidades del sujeto de turno en la RV, el participante se siga desorientando al reconocer que estos pies no son los suyos, ni se comportarán jamás de la forma que él quisiera con la tecnología actual, especialmente, con la tecnología

disponible y accesible en el ámbito de la arquitectura.

Otro elemento que podría estar contribuyendo a las sensaciones desagradables, es la diferencia de altura entre el participante y la altura visual establecida para la simulación. Ésta disrupción súbita de la percepción de altura, agregado a no ver el cuerpo al bajar la mirada, sino, ver sólo la distancia entre el punto visual y la escalera, pueden crear la sensación de mayor distancia al piso, provocando vértigo. Este posible efecto se vió reflejado en los resultados del cuestionario que se realizó a los colaboradores tras ver el video 360° del recorrido de la escalera. En el caso del video 360°, la altura de visión es fija; al contrario, en los espacios simulados con RV, la altura se puede ajustar a través de la configuración en Unreal Engine. Aún así, en este estudio no se consideró previamente esta variable y se utilizó una altura fija para todos los participantes durante todos los escenarios.

Por último un aspecto que tampoco se consideró fue la distancia interpupilar, la cual difiere dependiendo la fisiología de los participantes. Este factor podría aumentar las sensaciones de cansancio visual y de percepción de profundidades dentro del escenario de realidad virtual.

Estos fenómenos agregados que ocurren durante el inicio y el final del recorrido, escapan de las variables con las que trabaja este estudio presentando así, una posible causa externa al estudio para su mareo y una variable confundente al evaluar la injerencia de la textura en el desarrollo de sensaciones desagradables en el espacio virtual simulado.

En el aspecto de la generación de los mareos, la percepción de orientación está determinada por la tríada sensorial señalada en la literatura. En general esta nos brinda la información de nuestra posición y del movimiento que estamos haciendo. Normalmente se encuentran en sintonía recibiendo el mismo estímulo, pero, cuando alguno no recibe la misma señal, nuestro cerebro recibe referencias mixtas provocando mareo. Esto ocurre con los lentes de RV, ya que, la propiocepción indica que el cuerpo se encuentra quieto apoyado en el piso, el sistema vestibular indica que no hay movimiento, pero la visión muestra algo totalmente diferente. En este escenario específico, las señales que recibe el participante le indican que está quieto de pie, mientras que la visión le indica que está moviéndose de forma ascendente por un plano inclinado. Esta diferencia entre los sistemas hace que nuestro cuerpo trate de volver al equilibrio, es por esto que ciertos sujetos trataron de inclinarse, pero al no poder armonizar estos 3 sistemas, se producen mareos y vértigo. Este vértigo como respuesta va

disminuyendo a medida que el cerebro se habitúa y se sensibiliza al estímulo que está siendo discordante.

Teniendo en cuenta lo anterior del movimiento como factor en estas sensaciones desagradables. En lo que respecta a la influencia del entorno en sí, la literatura actual es escasa en cuanto a la descripción de factores dentro de la RV que puedan ayudar a que la habituación y desensibilización ocurran más rápido. En estudios previos se ha visto que escenarios simulados con patrones más detallados logran una tasa menor de mareos en comparación a escenarios más minimalistas (Saredakis et al, 2020). Esto se coincide con lo observado, donde la aplicación de la variable textura tuvo un menor reporte de sensaciones desagradables, en comparación de las otras variables, como la forma y el color, las cuales se evalúan por parte de los participantes como escenarios en donde si bien se percibe la espacialidad, son mucho más simplistas. Así mismo, los participantes también señalaron que se les hacía más familiar el escenario con la textura aplicada, ya que se veía más similar a cómo es el escenario en la vida real. Esta afirmación puede deberse a que los participantes al poder asociar la experiencia virtual a la experiencia personal previa pueden generar inconscientemente más sistemas de referencia visual.

Ahora bien, desde el punto de vista de la arquitectura estos resultados muestran de cierta forma, que existe un problema de alteración a la percepción de orientación espacial dentro de la estación de Metro Universidad de Chile. Este problema si bien no fue anticipado durante su diseño, podría haber sido previsto si los arquitectos hubiesen usado herramientas tales como las expuestas en esta investigación. Para así poder simular estas situaciones y de alguna manera anticipar las respuestas de la gente. Es por lo anterior que esta investigación ayudaría a la realización de una mejor arquitectura no solamente de los entornos virtuales, sino también de futuros entornos físicos, en donde se logre evitar problemas tales como una mala orientación antes de la construcción de este..

Limitaciones

En primer lugar, la muestra utilizada presentaba variabilidad entre sus participantes, tanto en rango etario y nivel educativo, por lo que resultó altamente heterogénea. Esta situación podría estar distorsionando los resultados de investigación.

En segundo lugar, debido a dificultades de disponibilidad durante la investigación fue imposible obtener un registro audiovisual de la experimentación. Este hecho pudo añadir cierta

interpretación de las respuestas por parte del investigador y por ende "ensuciar" los datos obtenidos.

Por último a pesar de que se consideró para reducir errores del diseño intrasujeto un sistema de órdenes que permitiera que todos los escenarios fueran experimentados como primera vez, de igual manera se observa que existen respuestas afectadas por la fatiga y el cansancio durante la experiencia.

Teniendo en cuenta todos estos puntos, los resultados si bien no son concluyentes, sirven como referencia para la realización de un segundo experimento que profundice en el tema de la afectación del diseño arquitectónico en sensaciones de orientación espacial abarcando de mejor manera las deficiencias anteriormente mencionadas, junto con una metodología más rigurosa en lo que respecta la elección de la muestra y el contenido audiovisual.

7. Conclusión

En conjunto los resultados de este experimento sugieren que la variable de textura afecta directamente en la reducción de las sensaciones desagradables en la percepción de orientación espacial, esto dado que se observa que existe una tendencia a la disminución de efectos desagradables, ocasionados específicamente por el entorno percibido y no por los resultados confusivos anteriormente expuestos. Por otra parte las variables de color y forma si muestran un aumento en sensaciones desagradables independiente de estos factores.

En base a estos resultados se aprecia que el factor de la complejidad de la variable y las experiencias previas respecto a ésta podría ser la causa fundamental de esta diferencia. Sin embargo, a pesar de esto, se debe recordar que estos resultados no son concluyentes dado las condiciones metodológicas y se deben tomar con precaución. Dado que estos, no pretenden ser un resultado determinante, sino que buscan servir de antecedente y referencia para entender cómo algunos elementos de diseño arquitectónico de los entornos virtuales pueden replicar sensaciones de orientación de espacios físicos y a su vez incluso servir de ayuda a la reducción de estos malestares. Además de esto dar a conocer los diferentes factores que pueden determinar sensaciones desagradables que no están determinados por aspectos arquitectónicos dentro de entornos virtuales y que pueden ser elemento contundente para un posterior análisis de los resultados.

Es por esta razón que la investigación pretende establecer un antecedente para futuros estudios de aspectos de los entornos virtuales y los futuros usos en la arquitectura.

8. Agradecimientos

Agradezco a todos los participantes que formaron parte de la experimentación de esta investigación, puesto que gracias a su colaboración fue posible generar los datos y la información.

Quisiera agradecer a Alejandro Flores y a Francisca Virán por toda la ayuda incondicional durante todo el proceso, especialmente en los momentos más difíciles. También quisiera agradecer a mi profesor guía Mauricio Loyola por su apoyo y comprensión, que permitió llevar a cabo el trabajo de investigación.

Finalmente quisiera agradecer a mi círculo más cercano; mi familia, a mi prima Carolina Lagos y a mis amigos Cristóbal Avilés y Qiao Yu Zhou por el apoyo incondicional desde que inicié mi carrera de arquitectura.

9. Referencias

- Berger, L., & Wolf, K. (2018). WIM: Fast Locomotion in Virtual Reality with Spatial Orientation Gain & without Motion Sickness. *Proceedings of the 17th International Conference on Mobile and Ubiquitous Multimedia*.
- Campos, María Paz; Basaure, Tannia; Loyola, Mauricio; (2020), "Virtual Wayfinding: A Comparison of Orientation and Navigation Behavior in Built and Virtual Environments", p. 528-533 . en: Congreso SIGraDi 2020. São Paulo: Blucher.
- Cheng, Ken & Newcombe, Nora. (2005). Is there a geometric module for spatial orientation? Squaring theory and evidence. *Psychonomic bulletin & review*. 12. 1-23. 10.3758/BF03196346.
- Ching, Francis D. K. (1979) *Arquitectura: Forma, espacio y orden* Barcelona: Gustavo Gili.
- Costa, R. Q. M. D., Pompeu, J. E., Mello, D. D. D., Moretto, E., Rodrigues, F. Z., Santos, M. D. D., Nitri, R., Morganti, F., & Brucki, S. M. D. (2018). Two new virtual reality tasks for the assessment of spatial orientation Preliminary results of tolerability, sense of presence and usability. *Dementia & Neuropsychologia*,

- 12(2), 196–204.
<https://doi.org/10.1590/1980-57642018dn12-020013>
- Hernandez Ibañez, Luis & Taibo, Javier & Seoane, Antonio & Jaspe, Alberto. (2012). LA PERCEPCIÓN DEL ESPACIO EN LA VISUALIZACIÓN DE ARQUITECTURA MEDIANTE REALIDAD VIRTUAL INMERSIVA. EGA. Revista de expresión gráfica arquitectónica. 16. 10.4995/ega.2011.1110.
- Hernández Ibáñez, Luis; Juan D. Blanco; José A. Iglesias; Javier Taibo; Antonio Seoane; Alberto Jaspe and Rocío López (2006). El Museo Vacío. Uso de una instalación transitable de Realidad Virtual para la experimentación espacial de una unidad habitacional en un asentamiento prerromano.. *SIGraDi 2006 - [Proceedings of the 10th Iberoamerican Congress of Digital Graphics] Santiago de Chile - Chile 21-23 November 2006*, pp. 363-367, http://itc.scix.net/paper/sigradi2006_c067d
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6a. ed. --.). México D.F.: McGraw-Hill.
- Kelly, J. W., McNamara, T. P., Bodenheimer, B., Carr, T. H., & Rieser, J. J. (2008). The shape of human navigation: How environmental geometry is used in maintenance of spatial orientation. *Cognition*, 109(2), 281–286. <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2008.09.001>
- Keshner, Emily & Kenyon, Robert. (2009). Postural and Spatial Orientation Driven by Virtual Reality. *Studies in health technology and informatics*. 145. 209-28. 10.3233/978-1-60750-018-6-209
- Kingma, H., & van de Berg, R. (2016). Anatomy, physiology, and physics of the peripheral vestibular system. *Handbook of clinical neurology*, 137, 1–16. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63437-5.00001-7>
- Loomis, J., & Knapp, J. (2003). Visual perception of egocentric distance in real and virtual environments. In L. J. Hettinger & M. W. Haas (Eds.), *Virtual and adaptive environments: Applications, implications, and human performance issues* (pp. 21–46). Lawrence Erlbaum Associates Publishers. <https://doi.org/10.1201/9781410608888.pt1>
- MacKinnon C. D. (2018). Sensorimotor anatomy of gait, balance, and falls. *Handbook of clinical neurology*, 159, 3–26. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63916-5.00001-X>
- Meerwein, G., Rodeck, B., Mahnke, F. H., Bruce, L., Gaskins, M. D., Cohen, P., & Rodeck, B. (2007). *Color: Communication in architectural space*. Basel: Birkhauser Verlag.
- Mohler, Betty & Creem-Regehr, Sarah & Thompson, William. (2006). The influence of feedback on egocentric distance judgments in real and virtual environments. *Proceedings - APGV 2006: Symposium on Applied Perception in Graphics and Visualization*. 9-14. 10.1145/1140491.1140493.
- Moreno, G. (2012). *Diseño de sistemas de orientación espacial: Wayfinding*. Laboratorio Wayfinding.
- Nguyen-Vo, B. E. Riecke and W. Stuerzlinger, (2018) "Simulated Reference Frame: A Cost-Effective Solution to Improve Spatial Orientation in VR," 2018 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), pp. 415-422, doi: 10.1109/VR.2018.8446383.
- Pastel S., Chen H. C., Bürger D., Naujoks M. Martin F. L., Petri K. & Witte K. (2020): Spatial orientation in virtual environment compared to real-world, *Journal of Motor*
- Reynolds, R. F., & Bronstein, A. M. (2003). The broken escalator phenomenon. Aftereffect of walking onto a moving platform. *Experimental brain research*, 151(3), 301–308. <https://doi.org/10.1007/s00221-003-1444-2>
- Saredakis, D., Szpak, A., Birkhead, B., Keage, H., Rizzo, A., & Loetscher, T. (2020). Factors Associated With Virtual Reality Sickness in Head-Mounted Displays: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in human neuroscience*, 14, 96. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2020.00096>
- Warren, Lawrence & Bowman, Doug. (2017). User experience with semi-natural locomotion techniques in virtual reality: the case of the Virtuix Omni. 163-163. 10.1145/3131277.3134359.
- Whitney, S.; Jacob, R.; Sparto, P.; Olshansky, E.; Detweiler-Shostak, G.; Brown, E.; Furman, J.

(2005), Acrophobia and Pathological Height Vertigo: Indications for Vestibular Physical Therapy? Physical Therapy. Volume 85. Number 5.

Witmer, B.G. and Singer, M.J. (1998) Measuring Presence in Virtual Environments: A Presence Questionnaire. Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 7, 225-240.
<http://dx.doi.org/10.1162/105474698565686>.

Wolff, C. 2021. Formulación Fondecyt de Iniciación 2022 *Vértigo: Caracterización, diseño y evaluación de variables del entorno arquitectónico que provocan vértigo, mediante simulación de experiencias en realidad virtual*

Zapateiro, J., Poloche, S., y Camargo, L. (2016). Orientación espacial: una ruta de enseñanza y aprendizaje centrada en ubicaciones y trayectorias. *Tecné, Episteme y Didaxis: ted*, 43, 119-136.

10. Anexo

<https://drive.google.com/drive/folders/15vchjfRduqb3pc7vU4goL-0bHfSHcdiJ?usp=sharing>