

**VALIDACIÓN DE LA ACCESIBILIDAD DE UN ESPACIO DE TRABAJO
USANDO HERRAMIENTAS DE DESARROLLO DE APLICACIONES 3D.**



**UNIVERSIDAD MILITAR
NUEVA GRANADA**

AUTORES

ALEXANDER BEDOYA PEREZ

HOLMAN CABEZAS MONDRAGON

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERO EN MULTIMEDIA

Director:

WILSON JAVIER SARMENTO

UNIVERSIDAD MILITAR NUEVA GRANADA

FACULTAD DE INGENIERIA

PROGRAMA INGENIERIA EN MULTIMEDIA

BOGOTÁ, 17 OCTUBRE 2020

Resumen español

Un espacio de trabajo tiene muchos factores a considerar durante el proceso de diseño, incluidos los relacionados con funcionalidad y ergonomía los cuales deben estar dirigidos a mejorar el flujo de trabajo de diversos usuarios. En el caso de persona con discapacidades físicas, un diseño incorrecto puede restringir la accesibilidad al espacio en el que labora, afectando su satisfacción y buena productividad. Este trabajo valida el uso de software para el desarrollo de aplicaciones 3D como una herramienta que permite verificar las condiciones de accesibilidad de un espacio físico. Como caso de estudio se utilizó un laboratorio de cómputo en una institución universitaria. El laboratorio fue modelado en 3D y posteriormente implementado el software Unity. Tres pruebas de interacción fueron desarrolladas, simulando un usuario con movilidad restringida, el cual requería una silla de ruedas. La primera prueba consistirá en una navegación por el espacio, la segunda, un proceso de visualización de elementos sobre el tablero de clase, y la tercera, se orientaba a que el propusiera una configuración accesible de laboratorio, dado lo observado en las prueba anteriores. Los resultado mostraron que aunque el laboratroio cumplia con los requerimiento de la norma técnica colombiana NTC 4595, un usuario en silla de ruedas tendría muchas dificultades en moverse y visualizar de forma adecuada el tablero de clase. Se puede afirmar que el uso de herramientas para el desarrollo de aplicaciones 3D es una alternativa plausible para la validación de accesibilidad de espacios de trabajo.

Resumen Inglés

A workspace has many factors to consider during the design process, including those related to functionality and ergonomics, which should be aimed at improving the workflow of various users. In the case of a person with physical disabilities, an incorrect design can restrict accessibility to the space in which he works, affecting his satisfaction and good productivity. This work validates the use of software for the development of 3D applications as a tool that allows verifying the accessibility

conditions of physical space. As a case study, a computer laboratory was used in a university institution. The laboratory was modeled in 3D and subsequently implemented Unity software. Three interaction tests were developed, simulating a user with restricted mobility, who required a wheelchair. The first test will consist of navigation through space, the second, a process of visualization of elements on the class board, and the third was aimed at proposing an accessible laboratory configuration, given what was observed in the previous tests. The results showed that although the laboratory complies with the requirements of the Colombian technical standard NTC 4595, a user in a wheelchair would have many difficulties in moving around and properly viewing the class board. It can be affirmed that the use of tools for the development of 3D applications is a plausible alternative for the validation of accessibility of workspaces.

Palabras clave español: *Discapacidad, Aprendizaje, App 3D, Accesibilidad, Adaptación, Silla de ruedas, Desplazamiento.*

Palabras clave inglés: *Discapacidad, Aprendizaje, App 3D, Accesibilidad, Adaptación, Silla de ruedas, Desplazamiento.*

1. INTRODUCCIÓN

Hacer adaptaciones en infraestructuras y adecuaciones en espacios de trabajo puede llegar a ser complejo si no se tiene los conocimientos reales de accesibilidad, más aún cuando hay diversas limitaciones ya sea sensoriales y/o motoras. Al momento de adecuar un espacio de trabajo se debe tener en cuenta las necesidades que tiene la persona en condición de discapacidad y preocuparse por su bienestar y seguridad [1], teniendo en cuenta dichos factores desarrollamos una aplicación 3D que proporciona a los usuarios un acercamiento de realismo, simulando las situaciones que puede padecer las personas con movilidad reducida. El uso de espacios virtuales ofrece la posibilidad de experimentar visualizar y generar objetivamente posibles soluciones de accesibilidad a través del aprendizaje al experimentar las vivencias de estas personas. Con esta aplicación se puede llegar a entender que entornos reales son inaccesibles e incluso que pueden generar algún peligro, en el entorno virtual el usuario realiza acciones de desplazamiento, observación y modificación. Repitiendo las veces que desee hasta llegar a un buen resultado con la finalidad de tener una buena adecuación y así tener bases de desarrollo al momento de implementarlo en el mundo real. Esto ayudará en la autonomía y libertad para las personas en condición de discapacidad, entendiendo las necesidades e implementando de mejor manera un espacio habitual. Esto ayuda a fortalecer habilidades y no llegar al fracaso por mal manejo en la distribución de adaptación del espacio de trabajo, en el desarrollo de la aplicación hay detalles que fueron

estudiados y generados para que el usuario identifique qué dificultades allí se presentan.

A lo largo de este artículo encontraras conceptos sobre la norma técnica colombiana 4595 que explica sobre el planteamiento y diseño de instalaciones y ambientes escolares con la finalidad de tener una percepción y comprensión de estos ambientes [2], a partir de ello generamos un entorno 3D interactivo en el que el usuario participará en la realización de unas pruebas que consta de tres etapas: desplazamiento, observación y adaptación más adelante encontrarás información más detallada sobre estas etapas, además se realizaron pruebas con 19 usuarios de los cuales obtuvimos resultados estadísticos interesantes en velocidad tiempo colisiones y adecuación.

2. CONCEPTOS GENERALES Y TRABAJOS RELACIONADOS

Hoy en día, es difícil hablar sobre discapacidad, probablemente las causas sean la discriminación por una indiferencia social, o no haya un enfoque cultural que nos preocupe y que nos permita definir parámetros mínimos para la interacción de una persona en situación de discapacidad motriz con su entorno. Diferentes aplicaciones 3D pretenden ayudar a los individuos en situación de discapacidad [3], tal es el caso de donde se realiza una revisión del estado del arte para el aprendizaje de personas en situación de discapacidad motora a partir de entornos virtuales (VR) y donde se destacan cuatro hallazgos importantes [4], en las personas con discapacidad motriz demuestran que es posible aprender a desplazarse e interactuar con virtuales con el fin de llevar a cabo estas actividades

en un entorno real [5], en se resalta el hecho de que, los movimientos aprendidos por personas con discapacidad en la transferencia de VR a tareas motoras son equivalentes al mundo real, y en algunos casos incluso se generalizan a otras tareas de aprendizaje [6], en han comparado el aprendizaje motor en entornos reales contra virtuales y se ha encontrado alguna ventaja para el entrenamiento de realidad virtual en todos los casos.

Aunque estos trabajos han encontrado importantes resultados en la interacción y aprendizaje de VR para personas en situación de discapacidad motriz, ninguno trata de recrear lugares de trabajo o estudio con características adecuadas para un entorno laboral.

2.1 NTC 4595 PLANEAMIENTO Y DISEÑO DE INSTALACIONES Y AMBIENTES ESCOLARES

La NTC no es regida en cuanto a formatos ni tiene un estándar a cumplimientos de medida y diseño, es flexible en cuanto a una gran variedad de instancias que tiene la norma en que puedes hacer tu propia escogencia y mezclarlas según se crea conveniente. Las instalaciones existentes en Colombia en el concepto de accesibilidad se entiende que no ha sido concebidas y se entiende que está representa recursos y demandas adicionales de espacio, es necesario que se vaya implementando de forma gradual para que las instalaciones existentes sean accesibles y así ofrecer a personas en condición de discapacidad lugares de

trabajo ideales. Cada organización puede ajustar características de accesibilidad específicas según la demanda real de personas discapacitadas a la cual sirve [2].

2.1.1 CUATRO GRUPOS QUE DISPONEN DE UN ACCESO BÁSICO

- **Áreas libres:** debe contar con señalización de accesibilidad, los andenes y vías peatonales deben tener anchos mínimos de 1,80 m contruidos con materiales firmes y antideslizantes y no debe tener cambios bruscos de nivel de su trazado y configuración, las rampas deben tener un ancho mínimo de 0,90m y una pendiente máxima del 14%.
- **Ambientes interiores:** debe proveer el área para la ubicación de al menos una persona con discapacidad y su acompañante preferiblemente cerca de vías de acceso, evacuación, tableros y ventanas, debe haber muebles con ciertas características para el acceso de personas con discapacidad.
- **Corredores:** no podrán tener un ancho menor a 1,80 m en lugares donde los estudiantes transiten periódicamente, en áreas de oficinas puede disminuirse hasta 1,20 m.
- **Puertas:** deben tener un ancho mínimo de de 0,80 m y altura de 2,05 m para su uso adecuado, contar con un espacio libre de apertura de 1,50 m y 0,45 m del lado opuesto y no debe abrir hacia las circulaciones [2].

2.1.2 CARACTERÍSTICAS DE LOS MOBILIARIOS

Adicionalmente se describe las (normas NTC 4732 y NTC 4733). que trata de características de los mobiliarios escolares que permite el acceso de sillas de ruedas en las mesas para estudiantes que están en condición de discapacidad.

En resumen se presenta definicion y clasificacion el cual debe evaluarse según la mesas ya sea para un estudiante o trabajador.

- **Escotadura:** *en la tabla superior se recomienda un entrante semicircular ubicada en la parte central.*
- **Espacio para las piernas:** *es el espacio que se debe mantener la mesa para que las piernas tengan el espacio suficiente desde la parte lateral, vertical y frontal para que no interfiera con el uso del mismo.*
- **Manipulabilidad:** *el mueble debe tener el espacio suficiente para su fácil manejo de las manos en la superficie de la mesa.*
- **Tabla superior:** *parte superior de la mesa el cual no debe presentar obstrucciones en esa superficie de trabajo.*
- **Tamaño estándar:** *la normalizada que se obtiene del rango de tallas compatibles, que le corresponde una clase de mesa y de silla.*
- **Tamaño compatible:** *debe corresponder a la cantidad de utensilios que hay en la misma para su fácil manipulabilidad [2].*

2.3 COMODIDAD VISUAL

En la planta el ángulo visual no debe ser inferior a 30°, es recomendable medir entre el plano donde se encuentra el tablero y la línea del observador, como se observa en la Fig. 1.

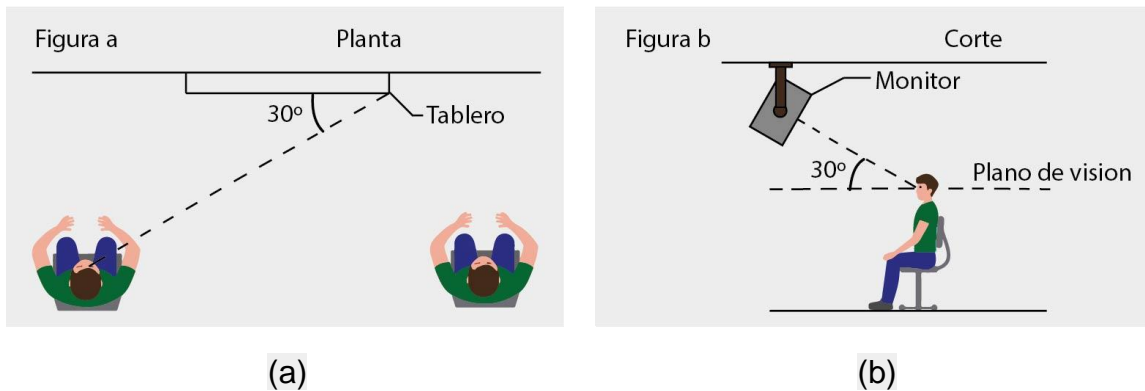


Fig. 1 Configuración adecuado del espacio de trabajo con un computador personal, considerando el ángulo de visión.

El acceso de y ubicación considera incluir al menos una silla de ruedas, en los espacios construidos de instituciones educativas, en algunos casos puede constituirse unidades independientes y desconectarse de su área total del centro de recursos. El área que demandan los computadores que utilizan mesas de servicio individual está calculado con un mínimo de de 1,0 m X 0,70 m.

En el desarrollo de la aplicación optamos por trabajar en las disposiciones de espacios interiores en el que se contempla adecuaciones generales y adecuaciones específicas para alguno de ellos, según sea su funcionamiento.

3. METODOLOGÍA

En el desarrollo del entorno 3D se evaluaron tres etapas de un escenario “sala de sistemas” el cual permite a un personaje que está en silla de ruedas experimentar:

- *Desplazamiento*
- *Observación*
- *Adecuación*

La aplicación fue desarrollada en Unity, un motor de videojuego multiplataforma permitiendo crear entorno virtual interactivo al tener funcionalidades como motor de físicas que permite al usuario tener una experiencia cercana a la realidad, con una interfaz de fácil interacción haciendo uso del teclado y mouse, el tiempo de participación del usuario esta en un rango entre 20 y 30 minutos.

Para el diseño de las pruebas en desplazamiento observación y adecuación nos basamos en tres fases:

- *Planeamiento y Diseño de Instalaciones y Ambientes Escolares. “Norma Técnica Colombiana NTC 4595”*
- *Experiencia de vida de persona en condición de discapacidad haciendo uso de una sala de sistemas.*
- *Instalaciones de sala de sistemas de la universidad militar nueva granada (bogotá, Colombia).*

3.1 INTERACCIÓN

Por medio de la aplicación ayudar a identificar en empresas y centros educativos posibles soluciones de accesibilidad en un lugar de trabajo [7], identificando las deficiencias que pueden haber, detectando, planificando y optimizando una buena gestión de accesibilidad de un espacio que beneficia a directivos pero no menos importante los usuarios con movilidad reducida, en estos ambientes se debe ofrecer los servicios que requieren las personas con capacidades excepcionales [8].

Para ello se realizaron pruebas de funcionalidad nos enfocamos en la captura de información para un posterior análisis métrico de datos cuantitativos mientras el participante realizaba cada actividad [9]. iniciando este proceso surgieron preguntas para validar el uso de la aplicación 3D que explicaremos más adelante.

Primera etapa:

La prueba consiste en desplazarse de un lugar a otro, el participante en esta prueba válida si lo hizo con facilidad o presentó inconvenientes, entendiendo si debería hacer alguna adecuación del entorno para que su desplazamiento, durante la ejecución se validó por medio de captura información correspondiente al tiempo del recorrido velocidad promedio y las colisiones que se generaron durante el desplazamiento. La Fig. 2 muestra una captura de pantalla de la prueba desarrollada. En el cuadro (a) se observa la vista en primera persona del usuario desplazándose por el laboratorio. El cuadro (b) muestra una vista en tercera persona de la misma actividad.



Fig. 2 Captura de pantalla de la prueba de desplazamiento por el espacio de trabajo.

Segunda etapa:

La prueba consiste en observación, estando ubicado en un puesto de trabajo el usuario se encuentra en su computadora, en él hay un cuestionario que debe responder respecto a lo que puede visualizar en su entorno respondiendo falso o verdadero, en esta prueba el participante válida si pudo visualizar con facilidad figuras dibujadas en el tablero o tuvo que desplazarse para verificar si las figuras existentes coincidían con las preguntas formuladas en la computadora. En esta etapa el participante entiende que otras adecuaciones que son indispensable, para que la accesibilidad no se entienda que solo es desplazamiento si no que hay otros factores a tener en cuenta cómo poder visualizar sin que hayan obstrucciones, es entendible que no podrá visualizar todo su entorno pero si los sitios considerados importantes, como lo muestra la Fig. 3.

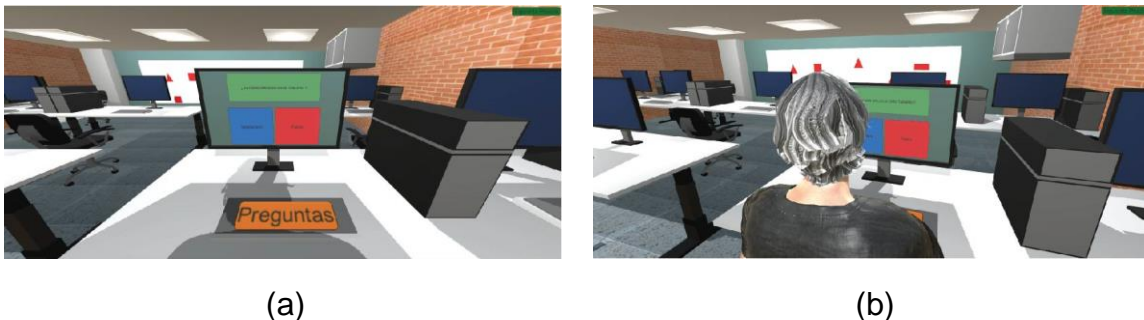


Fig. 3. Captura de pantalla de la prueba de visualización al tablero de clase.

Tercera etapa:

La prueba consiste en adecuación, teniendo en cuenta la prueba 1 y 2 el participante intenta generar una organización óptima del espacio de trabajo, en esta etapa la interacción con el entorno es importante ya que tiene la facilidad de quitar objetos que pueden ser de obstrucción ya sea para su desplazamiento y/o

de observación, en esta prueba el usuario valida si la adecuación realizada es funcional, en esta etapa el usuario entiende que la persona en condición de discapacidad no siempre es la que debe adaptarse a su entorno, también hay que dar una posible solución poniendo por delante la persona a la organización. Lo anterior se puede observar en la Fig. 4.

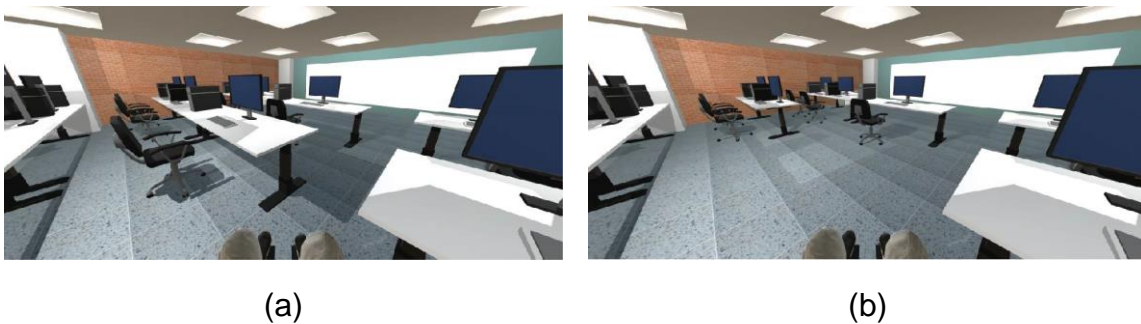


Fig. 4. Captura de pantalla de la prueba de adecuación del espacio.

3.2 POBLACIÓN

Fueron invitados 19 usuarios para participar en el funcionamiento de la aplicación sus edades están comprendidas entre los 20 y 26 años de edad, 9 de ellos fueron mujeres y 10 fueron hombres, 16 de ellos no habían participado en pruebas similares a ésta, siendo todos estudiantes de la UMNG 15 reconocieron la representación virtual de la sala de sistemas, la cual se tomó como referencia para la creación de la aplicación y evaluación de un escenario real.

Registramos las preferencias personales de cada usuario realizando encuestas antes y después de participar en la interacción de la aplicación, validamos cada

punto, se realizaron tres pruebas diferentes, donde nuestro enfoque género resultados de optimización en función de cada prueba.

4. RESULTADOS

Para la primera prueba de la aplicación se registra el seguimiento del desplazamiento en tiempo real empleado por cada usuario, donde el participante con menor tiempo registro 25 segundos, el participante con mayor tiempo registró 1 minuto con 45 segundos. El tiempo promedio en el que tardan en finalizar todos los participantes fue de 1 minuto 12 segundos, como se puede ver la Tabla 1.

Métrica	Mínimo	Promedio (desviación estándar)	Máximo
Tiempo	25 seg	1 min 12 seg (39,76 seg)	1 min. 45 seg
Velocidad	0	0,47(0,27)	1
Colisiones	0	6,2(4,3)	14

Tabla 1. Resultado de la prueba de navegación.

A partir de los datos capturados de tiempo y posición en el transcurso del recorrido se logra graficar la velocidad instantánea normalizada, partiendo de 0 como la menor velocidad y 1 como la mayor velocidad que hizo cada participante, esta

observación es consistente con la caracterización del desplazamiento durante la ejecución, a continuación hay tres gráficas elegidas previamente promediadas obteniendo la de menor velocidad , mayor velocidad y velocidad media. La Fig. 5 muestra .

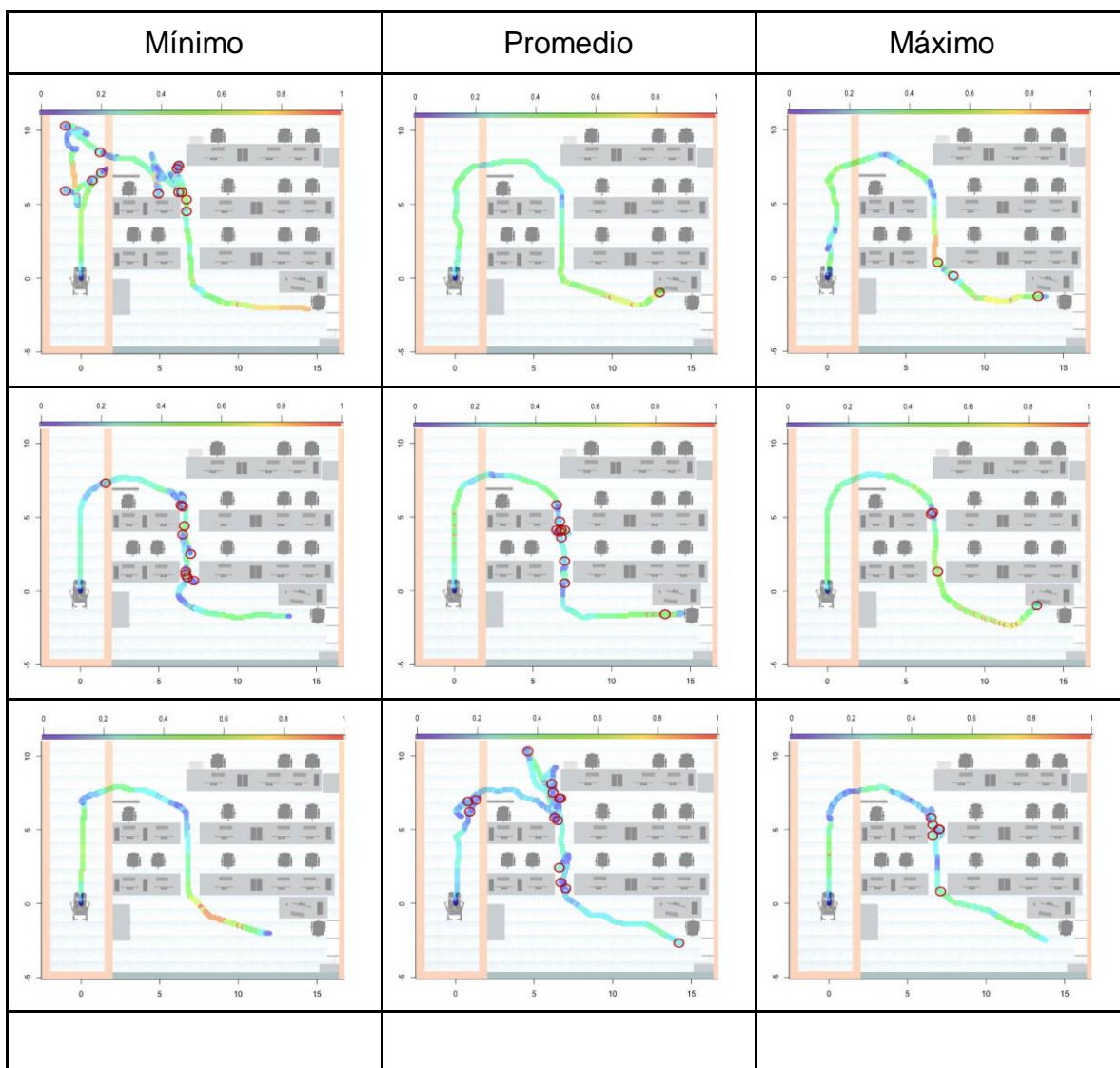


Fig. 5 Resultados de la prueba de navegación, para las métricas de tiempo de prueba, velocidad y número de colisiones. La primera columna muestra el usuario

que obtuvo el mínimo valor para cada métrica, la tercera columna muestra el usuario que obtuvo el máximo valor para cada métrica y la columna central el usuario que obtuvo el valor promedio.

Además se capturaron los datos de las colisiones o choque generados en el transcurso del recorrido, dos participantes no generaron ningún choque, uno de los participantes generó 14 choques en su recorrido siendo este la mayor cantidad en la gráfica podemos observar los sitios y objetos con los que colisionó. y finalmente se obtuvo el promedio de choques de todos los participantes y arroja que el promedio de 6 choques.

En la prueba tres a los participantes les pidió que teniendo en cuenta la prueba uno y dos con el fin de generar una posible solución de accesibilidad de la sala de sistemas eliminando objetos que fueran de obstrucción, ya sea desde la parte de observación y/o desplazamiento, teniendo en cuenta los elementos eliminados por cada participante se generan gráficos de intensidad para dar a conocer cuáles objetos generan obstrucción y es necesario dar solución de estas áreas de la sala de sistemas del mundo real.

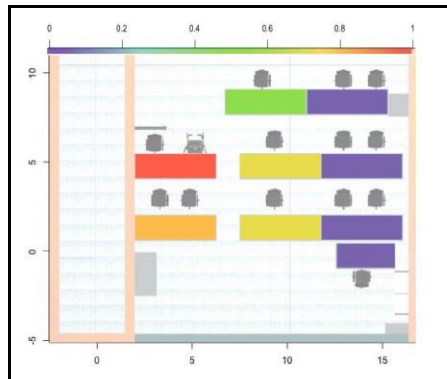


Fig. 12 tercera etapa adecuación objetos eliminados.

5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se planeó crear entornos virtuales propicios que pueda ser de ayuda para generar espacios accesibles para personas con discapacidad, el lugar de trabajo necesita ser adaptado para permitirles funcionar tan eficientemente como sea posible. Con los resultados expuestos en la presente investigación hemos podido constatar que características de cada prueba genera información importante para el escenario real, demostrando que puede haber falencias y que usuarios en condición de discapacidad no pueden desplazarse con facilidad en el mundo real (sala de sistemas). Para poder llegar a un lugar específico debe estar tropezando con el entorno e incluso llegar a lastimarse [10]. el rendimiento del motor implica que es posible emplear esta tecnología para su validación sistemática de accesibilidad, según los resultados de encuestas realizadas a los participantes el sistema es de fácil uso y es acogida favorablemente si desearan usarla en una posterior ocasión.

Al no haber un lugar designado que tengan adaptaciones mínimas de accesibilidad, la aplicación desarrollada puede ayudar a fortalecer ideas para dar

posibles soluciones de accesibilidad siendo este entorno virtual un diseño para imitar actividades del mundo real. el 68% de los participantes después de haber participado con la aplicación concordaron que la sala de sistemas de la Universidad no está habilitada para permitir que personas con movilidad reducida que usan sillas de ruedas hagan uso adecuado de estas salas.

Es importante tener en cuenta que este entorno virtual es una herramienta tecnológica que se puede ser explotada para un entrenamiento previo de validación de espacios y que usuarios interesados puedan hacer de sus espacios un lugar accesible. la comprensión y validación apropiadas del sistema pueden ser aplicadas a diversas plataformas de capacitación más personalizada para proporcionar mejores resultados para el proceso de adecuaciones accesibles.

6. REFERENCIAS

- [1] S. Sanchez-Gordon, M. Mejía and S. Luján-Mora, "Model for adjusting workplaces for employees with visual and hearing disabilities," 2017 Fourth International Conference on eDemocracy & eGovernment (ICEDEG), Quito, 2017, pp. 240-244.
- [2] Normas Técnicas Colombianas NTC 4595 Dirección de Descentralización Ministerio de Educación Nacional. Bogotá, Colombia. Marzo de 2006.
- [3] Holden, M. K. (2005). Virtual Environments for Motor Rehabilitation: Review. *CyberPsychology & Behavior*, 8(3), 187–211. doi:10.1089/cpb.2005.8.187
- [4] Durlach, N.I., & Mavor, A.S. (eds.). (1995). *Virtual reality: scientific and technological challenges*. Washington, DC: National Academy Press.

- [5] Burdea, G.C., & Coiffet, P. (2003). Virtual reality technology. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, Inc.
- [6] Stanney, K.M. (ed.). (2002). Handbook of virtual environments: design, implementation and applications. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- [7] J. Cañadillas, F. Xhafa and S. Caballé, "Development of Collaborative Tools to Improve Accessibility in Public Spaces," 2012 Third International Conference on Emerging Intelligent Data and Web Technologies, Bucharest, 2012, pp. 255-260.
- [8] N. Rodriguez, "Identifying Accessibility Conditions for Children with Multiple Disabilities: A Virtual Reality Wheelchair Simulator," 2018 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality Adjunct (ISMAR-Adjunct), Munich, Germany, 2018, pp. 370-372.
- [9] R. L. Ignacio Sánchez, I. Duran Encinas, J. A. Zuñiga Arce and A. I. De Casso Verdugo, "The Inclusion of Students from high Level Education with Disabilities through ICT's," 2019 International Conference on Inclusive Technologies and Education (CONTIE), San Jose del Cabo, Mexico, 2019, pp. 160-1603.
- [10] M. O. Agyeman and A. Al-Mahmood, "Design and Implementation of a Wearable Device for Motivating Patients With Upper and/or Lower Limb Disability Via Gaming and Home Rehabilitation," 2019 Fourth International Conference on Fog and Mobile Edge Computing (FMEC), Rome, Italy, 2019, pp. 247-252.