



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Rediseño del laboratorio
virtual de automatización
industrial**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A

Pablo Garrido Lanzagorta

DIRECTOR DE TESIS

M.A. Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado REDISEÑO DEL LABORATORIO VIRTUAL DE AUTOMATIZACION INDUSTRIAL que presenté para obtener el título de INGENIERO MECATRÓNICO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

PABLO GARRIDO LANZAGORTA
Número de cuenta: 317008481

Agradecimientos

A Lana, por haber llegado en el momento que más la necesitaba para impulsarme a seguir adelante.

A Yair, por haber sido el profesor que más me inspiró y apoyó tomando todas sus clases, el servicio social y, ahora, como director de tesis y titulación. Es un honor haber trabajado tanto con él.

A Andrés, por ser uno de los mejores amigos que la vida me pudo dar y mi inspiración para siempre aspirar a seguir creciendo como persona, amigo y profesionalista.

A André, por enseñarme que siempre hay posibilidad y lo único que se necesita es valentía y un poco de locura.

A Coss, por demostrarme que se puede superar la adversidad mientras se porta una sonrisa.

A Isaac, de quien aprendí que las personas correctas pueden hacer que tus problemas desaparezcan.

A Henri, por ser mi amistad más larga, ya 15 años de conocernos.

A Edith, por haberme acompañado, amado y apoyado incondicionalmente durante casi 5 años.

A mi abuelo Poncho, por siempre estar ahí para mí y ser la persona que más ha querido ver mi título de ingeniero.

Y a mi mamá, Nora, que siempre ha dado cuerpo y alma y me ha hecho el hombre que soy actualmente.

Índice

Antecedentes	5
Realidad virtual.....	5
Definición.....	5
Contexto histórico	6
Análisis del mercado.....	20
Realidad virtual en la educación.....	22
1 Laboratorio virtual de Neumática	23
1.1 Diseño original	23
2 Identificación de necesidades	37
2.1 Requerimientos finales	39
3 Diseño conceptual	42
3.1 Especificaciones	42
3.2 Concepto	43
3.2.1 Diagrama de caja negra.....	43
3.2.2 Diagrama de sistemas.....	44
3.2.3 Válvulas And y Or	47
3.2.4 Conectores.....	49
3.2.5 Tapones.....	50
3.2.6 Mesa de componentes neumáticos.....	50
3.2.7 Maletín neumático	51
3.2 Selección de soluciones	52
4. Desarrollo	53
4.1 Modelado en Blender	53
4.2 Integración en Unity.....	59
4.3 Programación en Udon#	62
4.3.1 Programación del laboratorio.....	62
4.3.2 Componentes nuevos	63
5 Pruebas y validación	67
5.1 Pruebas unitarias	67
5.2 Pruebas de integración	72

5.3	Pruebas funcionales	82
6	Resultados y análisis	89
7	Conclusión	96
8	Trabajo a futuro.....	97
8.1	Optimización	98
8.2	Calidad de vida (QOL).....	99
8.3	Características adicionales	99
Referencias		101

Antecedentes

Ya sea en un entorno virtual imaginario o con el objetivo de recrear espacios reales, la realidad virtual se ha vuelto parte de la vida de muchas personas. Actualmente, los entornos virtuales tienen diversas aplicaciones, dentro de las que encontramos los videojuegos, las redes sociales, simuladores, entre otros.

Realidad virtual

Definición

La realidad virtual es un concepto relativamente nuevo, el cual cuenta con varias definiciones. A continuación, veremos algunas de ellas:

- De la enciclopedia británica: “El uso del modelado y la simulación por computadora que permite a una persona interactuar con un entorno sensorial tridimensional (3D) artificial u otro entorno sensorial.”
- De la Real Academia Española: “Representación de escenas o imágenes de objetos producida por un sistema informático, que da la sensación de su existencia real.”
- De Diego Levis: “Una base de datos interactivos capaz de crear una simulación que implique a todos los sentidos, generada por un ordenador, explorable, visualizable y manipulable en ‘tiempo real’ bajo la forma de imágenes y sonidos digitales, dando la sensación de presencia en el entorno informático.”
- De Economipedia: “La realidad virtual es una ilusión artificial que simula un escenario creado a partir de tecnología informática.”

Las definiciones cuentan con la similitud de que deben ser imágenes generadas por algún medio informático, sin embargo, algunas no priorizan al usuario como parte

importante de esta tecnología, así que la definición que utilizaremos para este trabajo es la siguiente:

La realidad virtual es la representación de escenas o imágenes generadas a partir de sistemas informáticos que simulan un entorno en el cual una persona puede interactuar, dando la sensación de su existencia real.

Con esta definición, se establecen tres aspectos fundamentales para la realidad virtual:

- Generación de imágenes: deben ser generadas por un sistema informático, por ejemplo, una computadora o celular. Se acepta esta consideración ya que, aunque pueden ser generadas de varias maneras, una computadora tiene la capacidad generar múltiples FPS, lo que permite la fluidez del entorno virtual.
- Interactividad: el usuario debe tener la posibilidad de interactuar con el entorno virtual. Existen varias formas de lograr esta consideración, principalmente adaptando los dispositivos de entrada a las necesidades del entorno; puede ser mediante periféricos de computadora, pantallas táctiles, controles de consola o incluso dispositivos que se colocan en algunas partes del cuerpo, conocidas como *wearables*.
- Ilusión de realidad: el entorno debe hacer sentir al usuario que es real. Esta consideración incluye a las dos anteriores, ya que un entorno fluido e interactivo provoca la sensación de inmersión en el usuario. Este es el objetivo principal de la realidad virtual.

Una vez establecida la definición, se abordará brevemente la historia de la realidad virtual, así como su estado actual.

Contexto histórico

El origen de la realidad virtual se remonta a la década de 1930, con algunos aparatos que tenían como objetivo que el usuario experimentara sensaciones y viera imágenes generadas a partir de sistemas mecánicos. La realidad virtual ha evolucionado a pasos agigantados desde entonces, principalmente con la integración de la electrónica y la evolución de los dispositivos de sensado. En este trabajo se abordarán los acontecimientos más recientes, con la aparición de los visores en el mercado de consumidores y los últimos avances en esta tecnología.

En el año 2014, cuando Facebook (ahora Meta) comenzó a ver el potencial de la realidad virtual, se percató de que una empresa llamada Oculus había desarrollado el mejor prototipo de un visor comercializable y tenían como objetivo comenzar a introducirlo en el mercado. Fue entonces que decidieron comenzar a desarrollar esta tecnología, comenzando por la adquisición de Oculus. En este

mismo año, Sony anuncia PlayStation VR, que se convertiría en su primera generación de realidad virtual para su consola PlayStation 4. Con estos dos acontecimientos, se volvía cada vez más evidente que esta tecnología llegaba para quedarse, captando la atención de grandes empresas y, posteriormente, del mercado de consumidores.

Para 2015, Google anunciaría su primer intento de realidad virtual: Google Cardboard, enfocado a los teléfonos inteligentes. El usuario colocaba el teléfono en el soporte de cartón que llevaba en la cabeza y así lograba la experiencia de VR, siempre y cuando el teléfono tuviera la capacidad de procesamiento suficiente para reproducir contenido en este formato.



Ilustración 1: Google Cardboard

En 2016, ya había más de 230 empresas dedicadas al desarrollo de la realidad virtual, siendo Facebook la más grande con cerca de 400 empleados, seguida de compañías como Google, Apple, Amazon, Microsoft, Sony y Samsung. También en este año, PlayStation lanza al mercado el anteriormente mencionado PlayStation VR.



Ilustración 2: PlayStation VR

Esta propuesta de Sony contaba con el visor, dos controles llamados PlayStation Move y una cámara, la PlayStation Camera. Este visor se enfocó en el seguimiento de los movimientos de la cabeza y los brazos y la solución implementada fue en torno a la

cámara: tanto los controles como el visor tenían luces LED de distintos colores, así que la cámara podía identificar a cada uno y mapear sus movimientos dentro del juego. Además, el visor tenía un procesador interno capaz de procesar sonido en 3D y demás tareas en segundo plano, ya que la PlayStation 4 no tenía la suficiente capacidad de procesamiento. En caso de no contar con la cámara, el PS VR asumía un modo en el que únicamente reproducía contenido sin realizar el seguimiento de los movimientos del usuario, reduciendo la inmersividad. Un detalle importante del PS VR es que requería de una consola PS4 para funcionar.

Ese año también vio el lanzamiento del Oculus Rift, el primer visor comercial de Oculus, ahora como una división de Facebook. Contaba con un precio de lanzamiento de \$599 USD, mientras que llegó a México con un costo de \$13,900 pesos mexicanos.

En esta época, las interfaces de usuario aún no estaban bien desarrolladas y la mayoría ocupaba comandos por botones para la interactividad. Visualmente, las pantallas todavía tenían un desempeño lo suficientemente bajo para que las imágenes fueran identificadas como virtuales por el usuario.

En ese mismo año, HTC envió las primeras unidades del VIVE SteamVR, siendo este el primer lanzamiento comercial de un sistema en realidad virtual con seguimiento de posición basada en sensor, lo que le permitía al usuario poder desplazarse libremente dentro de un espacio definido.



Ilustración 3: HTC VIVE Steam VR

Como se observa en la ilustración 3, el sistema consiste en el visor, dos controles y dos sensores para detectar la posición y movimientos del usuario.

2017 marca el inicio de la competencia por dominar el mercado de la realidad virtual. Cada vez más personas comenzaron a adoptar estos visores, principalmente en el mercado de los videojuegos con más del 90%.

Facebook, ahora dueño de Oculus VR y en conjunto con Xiaomi, lanzan al mercado el visor Oculus Go en 2018. Este visor resultó la primera alternativa accesible para los consumidores con un precio de lanzamiento de €219, aproximadamente \$4,600 pesos mexicanos.

Este visor contaba con pantallas LCD que lograban una resolución conjunta de 2560 x 1440 píxeles a 72 Hz. Otros visores portaban pantallas OLED, con menor resolución y mayor tasa de refresco (90 Hz), pero eran menos accesibles para los consumidores, rondando los \$600 USD o \$13,000 pesos mexicanos.

Por otro lado, el Oculus Go tenía en su interior el procesador Qualcomm Snapdragon 821, con el procesador gráfico Adreno 530, un SOC que ya tenía dos años de antigüedad en el mercado, así que hicieron varios sacrificios en calidad gráfica para lograr imágenes a 1440p y 72 Hz, quedando un poco por debajo de la encontrada en consolas como la XBOX 360 o PlayStation 3, que salieron al mercado 14 años atrás.



Ilustración 4: Oculus Go

Este visor fue el primero con la capacidad de funcionar de manera independiente, es decir, sin necesidad de una consola o computadora externa, reduciendo aún más el costo frente a la competencia. También incluye un par de bocinas, así que el uso de audífonos era opcional.

En cuanto a la ergonomía, no eran pesadas y contaban con unas cintas de velcro que permitían portar el visor por mucho tiempo sin problema. Además, contaban con un separador flexible, que permitía utilizar lentes graduados.

Algunas de las inconformidades encontradas por los usuarios fueron la falta de carga rápida, seguimiento de movimiento limitado y ausencia de expansividad de la memoria

interna, así como software limitado. CNET lo clasificó como “VR para las masas”, mientras que The Verge lo catalogó como “bueno, pero no excelente”.

De acuerdo con reportes de Facebook, más de dos millones de unidades del Oculus Go fueron vendidas durante su oferta en el mercado. Por otro lado, Hugo Barra, expresidente de Oculus en Facebook, reveló que la gran mayoría de los compradores del Oculus Go lo habían abandonado después de unas pocas semanas - “el fracaso del Oculus Go nos encaminó al Oculus Quest muy rápidamente” - dijo.

Fue así como Facebook desarrolló el Oculus Quest en 2019, considerado como el mejor visor en relación calidad/precio del mercado en ese año y, también, el más cómodo. Fue la mejor entrada al mundo de la realidad virtual y atrajo la atención de muchos entusiastas.



Ilustración 5: Oculus Quest

Contaba con dos pantallas OLED de 1600 x 1400 píxeles, 4 sensores de movimiento, 6 grados de libertad, sonido integrado y un mando para cada mano. Su precio de lanzamiento fue de \$399 USD para el modelo de 64 GB, mientras que el modelo de 128 GB se lanzó en \$499 USD; en México se podía adquirir el primero desde \$7,400 MXN.

Este visor llegó con mejoras significativas sobre su predecesor, el Oculus Go, el cual no logró satisfacer las expectativas de los usuarios. Oculus las identificó y llevó a cabo un rediseño del visor, el cual consistió principalmente de las siguientes características:

a) Ergonomía

El Oculus Go, a pesar de ser más cómodo que otros visores, seguía siendo incómodo para los usuarios, causando dolor de cuello y fatiga en la cara y cabeza. Se identificó que las causas principales eran el velcro utilizado para la sujeción en la cabeza y el plástico del contorno de los ojos.

Así que, el Oculus Quest llegó al mercado con un soporte para la cabeza ajustable de plástico que distribuía el peso sobre un área mayor de la cabeza, así como un soporte ajustable de plástico suave que se ajustaba mejor a la forma de la cara y además era ajustable para acomodar a los usuarios que usaran lentes de aumento.

Por otro lado, los controles de este visor poseían un diseño totalmente ergonómico, encontrando un excelente balance entre funcionalidad y comodidad. La mayoría de los usuarios describe en sus reseñas que el posicionamiento del control en la mano se sentía como “magia”, ya que los dedos se posicionaban en cada botón intuitivamente con tan sólo sostener el control.



Ilustración 6: Posición de la mano en el control del Oculus Quest

b) Tracking sin sensores externos

Con visores anteriores, como el PlayStation VR, era necesario colocar sensores externos para poder realizar el seguimiento de los movimientos del usuario, sin embargo, el Oculus Quest implementó el seguimiento de movimientos mediante cámaras integradas en el visor y algoritmos de inteligencia artificial, con los que era posible identificar el entorno del usuario y generar un espacio seguro para la interacción con los entornos virtuales. El seguimiento de las manos se realizaba mediante el seguimiento de los controles, ya que estos contaban con un halo en la parte superior específicamente colocado para que las cámaras del visor pudieran detectarlos más fácilmente.

Con estas consideraciones de diseño, el Oculus Quest se convirtió en el visor *standalone* más popular, vendiendo un estimado de 5 millones de unidades en total.

Para 2019, Valve lanzó el Index, un visor cuyo diseño estaba orientado a usuarios distintos, aquellos entusiastas que buscaran una experiencia aún más inmersiva y de alta calidad gráfica. Así que, el Valve Index porta dos pantallas LCD de 1440 x 1600 píxeles y una tasa de refresco de hasta 144 Hz. El ángulo de visión era de 108° aproximadamente. Los lentes y páneles son ajustables para en ajuste de la distancia inter-pupilar del usuario.



Ilustración 7: Valve Index

Por otro lado, el visor era completamente dependiente de una computadora y la conexión era por cable. El seguimiento de movimientos se realizaba mediante sensores externos, tal como los visores de generaciones pasadas. El precio del visor era de \$999 USD si no se tenían los sensores de la generación anterior que, considerando el costo extra de la computadora necesaria para su uso, no fue la opción más atractiva para los usuarios, vendiendo un total de 149,000 unidades en 2019, mientras que las ventas se vieron afectadas en 2020 por la pandemia del COVID-19.

Para 2020, seguido del éxito del Oculus Quest, Facebook lanza el Quest 2. Una de las principales ventajas de este visor con respecto a su antecesor es que, mediante el uso de un puerto USB-C, también es posible utilizarlas con una computadora para una mayor calidad gráfica, otorgando la posibilidad de jugar juegos más demandantes.

Este visor, en lugar de buscar un rediseño, fue una mejora de lo que ya se tenía con el Oculus Quest. Se implementó reducción de peso, mejores componentes internos, mayor tasa de refresco y resolución de las pantallas, y mejor duración de la batería.

Algunas críticas de este visor fueron los velcros de sujeción, distancia interpupilar fija y la necesidad de utilizar una cuenta de Facebook para la utilización del visor y los servicios de Oculus.

Su precio de lanzamiento fue de \$299 USD para su versión de 64 GB, mientras que la versión de 256 GB se lanzó a \$399 USD. Se han vendido alrededor de 14.8 millones de unidades a nivel mundial y, en diciembre de ese mismo año, la app de Oculus se convirtió en la más descargada tanto en Google Play Store como en la App Store de Apple.



Ilustración 8: Oculus Quest 2

La pandemia del COVID-19 ayudó a impulsar las ventas del Quest 2, ya que la mayor parte de las personas no salía de sus casas para trabajar y muchos buscaron adentrarse en el mundo de la realidad virtual, optando por este visor por su gran relación calidad-precio.

Hasta este momento, el desarrollo de la realidad virtual fue implementado casi exclusivamente a la industria del entretenimiento, es decir, los videojuegos o reproducción de contenido multimedia. Sin embargo, ya habían surgido muchos casos en los que algunas empresas entrenaban a sus trabajadores utilizando la realidad virtual.

En 2017 surgió un artículo de la revista Fortune, en el que la empresa Farmers Insurance había comenzado una iniciativa para entrenar a sus empleados utilizando los visores Oculus Rift, comenzando desde tan solo 50 empleados, pero con el objetivo de que todos los miles de empleados recibieran el entrenamiento en realidad virtual. El entrenamiento constaba de recrear construcciones que cuenten con algún problema y permitir que los trabajadores exploraran y los detectaran. Al final, los trabajadores que tomaron el entrenamiento reportaron sentirse más confiados en sus habilidades y la

empresa indicó que el uso de la realidad virtual para el entrenamiento de sus empleados parecía ser el rumbo a seguir.

Esto impulsó a HTC, en 2021, a desarrollar un visor exclusivamente destinado a empresas y desarrolladores, el Vive Pro 2. Contaba con un precio de \$799 USD únicamente por el visor y de \$1399 USD por el conjunto completo, siendo uno de los visores menos accesibles del momento. Para su uso, es necesario utilizar una computadora y hasta cuatro sensores para el seguimiento de movimientos, logrando un área de 10x10 metros. El hardware del dispositivo es de alta calidad, logrando una resolución de las pantallas de 2448x2448 píxeles a 120 Hz y un ángulo de visión de 116°. También hicieron un acuerdo con Volkswagen para que sus empleados también fueran entrenados utilizando estos visores.



Ilustración 9: HTC Vive Pro 2

Hay poca información acerca de las ventas de este visor, sin embargo, el cambio de visión es interesante y quizás está un poco adelantado a su tiempo.

Asimismo, Facebook vio un potencial mucho mayor al que se estaba explotando en ese momento; notando que puede ser utilizada de muchas formas:

- Conexión: en lugar de estar conectado con tus amigos en una pantalla 2D, podrán interactuar en un espacio tridimensional, como en un concierto virtual.
- Educación: imagina poder teletransportarte y viajar en el tiempo para estudiar la historia mientras ocurren los hechos, o explorar otro planeta de cerca.
- Compras: tener la posibilidad de entrar en un espacio que personifique tu marca favorita, atender eventos de lanzamiento personalmente en cualquier parte del mundo y comprar productos físicos y digitales.

- Trabajo: imagina entrar a una reunión en la que no estás viendo a las personas en un recuadro, sino que todos están sentados alrededor de una mesa.
- Jugar: imagina jugar al ajedrez con tu amigo que vive al otro lado del mundo usando un holograma.

Así que decide llevar a cabo un cambio en su imagen, pasando a llamarse Meta, reflejando su enfoque en el desarrollo del Metaverso, un universo virtual en el que todo lo anterior sería posible. Así, todos los visores anteriormente conocidos como Oculus Quest, se nombrarían Meta Quest de este momento en adelante y, en 2022 lanza al mercado su visor premium de realidad mixta, el Meta Quest Pro.



Ilustración 10: Meta Quest Pro

Meta tomó un acercamiento diferente con este visor, siendo diseñado para creación de contenido y usuarios profesionales. A diferencia con el Meta Quest 2, cuenta con un factor de forma más pequeño, cámaras de alta resolución para la realidad mixta, rastreo de cara y ojos y controles actualizados con seguimiento de movimientos incluido.

Inició con un precio de \$1,499 USD, que era bastante alto y, después de unos 3 meses, meta redujo el precio a \$1,000 USD, logrando vender 1,138 millones de unidades.

A este visor se le dieron algunos usos de trabajo, por ejemplo, en arquitectura se usaban para crear interiores de edificios previo a la construcción. Sin embargo, la imagen capturada por las cámaras era descrita como granulosa y nada apegada a la realidad, restando inmersividad y calidad a la experiencia, así como software incompleto. Al final, no fue un producto bien recibido por los usuarios, recibiendo duras críticas, algunas diciendo que introdujo características innovadoras, sin lograr demostrar ninguna de ellas como debería. A pesar de todo esto, este fue el primer visor comercial enfocado en la realidad mixta y Meta utilizaría esta tecnología para el desarrollo del próximo visor Meta Quest.

Con el crecimiento tan grande y constante que la realidad virtual tuvo en esos años, era cuestión de tiempo hasta que le interesara a una de las compañías más grandes del mundo. Apple, a pesar de apostar por la innovación de alguna manera, desde la adopción y adaptación de características desarrolladas por competidores a sus dispositivos, hasta la invención del iPhone, que revolucionó el mercado de los teléfonos inteligentes; ha pasado de ser el líder indiscutible en tecnología, a luchar por mantener a sus clientes. Al ver que el mercado del iPhone y Mac ha disminuido drásticamente, decide adentrarse en el mundo de la realidad mixta con el desarrollo del Apple Vision Pro, anunciado en 2022 y lanzado en febrero de 2023.



Ilustración 11: Apple Vision Pro

Apple no se caracteriza por desarrollar productos accesibles y el Vision Pro no es la excepción. Con un precio de \$3,499 USD, está enfocado a entusiastas tanto de la realidad virtual como de la marca.

Este visor viene de un concepto ya conocido con los visores anteriores y agrega características que lo vuelven único. Viene con dos pantallas micro-OLED, cada una de 3660 x 3200 píxeles y tasa de refresco de entre 90 y 100 Hz. Para generar tal calidad de imágenes, tiene el procesador M2, mismo que usan en sus laptops y computadoras de escritorio, con capacidades también para IA. Tiene un sistema de cámaras 3D estereoscópicas para seguimiento frontal y ocular, escáner LiDAR, sensor de parpadeo y 4 unidades de medición inercial (IMUs). La calidad del sonido es de las mejores que se pueden encontrar, utilizando audio espacial con seguimiento dinámico de la cabeza, ray tracing de audio y una matriz de seis micrófonos.

Mientras que los demás visores están hechos para ver algo en ellos, el Apple Vision Pro está hecho para ver a través de él. No tiene ningún control externo, únicamente se utilizan las manos para interactuar. Tras aprender el gesto de juntar los dedos pulgar e

índice para hacer el equivalente a un click en una computadora, el funcionamiento del visor se vuelve mucho más intuitivo.

La interfaz cuenta con la digitalización del campo de visión normal y ventanas que se le superponen, es por esta razón que las pantallas deben ser de tan alta calidad, para lograr la realidad aumentada. Al igual que la visión normal, el enfoque es mayor en la zona donde ven los ojos, mientras que se presentan zonas algo borrosas en la visión periférica; esto ayuda también a no sobrecargar la capacidad gráfica del procesador.

Al abrir alguna app y generar la ventana flotante, esta se quedará donde la dejemos, es decir que podemos abrirla en la sala, ir a la cocina y, al regresar, esa ventana seguirá en la sala, así que es mejor utilizar el Vision Pro de forma estática.

Su funcionalidad es limitada por varios factores, como la cantidad limitada de aplicaciones o capacidad de interacción más lenta que con una computadora normal, pero la mayor limitante es la batería, siendo de entre 2 y 3 horas de uso. Otro aspecto negativo de este visor es que la banda de sujeción estándar resulta incómoda para sesiones de uso mayores a 30 minutos, debido a que concentra todo el peso del visor en los pómulos; aunque viene también con otro soporte que distribuye mejor el peso.

Usuarios han expresado que, aunque el diseño de Apple es innovador, no son realmente útiles para trabajar ni cuentan con una biblioteca de aplicaciones lo suficientemente robusta para diversificar su uso. Sin embargo, la reproducción de contenido multimedia es lo que realmente vale la pena de este visor.

Se han vendido alrededor de 200,000 Apple Vision Pro desde su lanzamiento hasta la fecha, y se agotó inmediatamente durante la preventa, así que fue bastante atractivo, considerando el precio.

Se podría decir que quien compra un Vision Pro es un *early adopter*, que ya sabe exactamente qué es lo que va a tener con esta tecnología. Es un visor de primera generación; si llega más contenido y una rebaja al precio, podríamos estar ante el futuro de la tecnología para consumidores.

Aún es necesario presentar otros dos visores, uno de ellos es el PlayStation VR 2, dedicado completamente a los videojuegos y viene con mejoras con respecto a su predecesor. En primer lugar, la resolución de las pantallas es de 2000 x 2040 píxeles en cada ojo y un panel OLED de 120 Hz. Es un visor grande y pesado, pero Sony desarrolló un sistema de sujeción que distribuye el peso a lo largo de toda la cabeza, volviéndolo más cómodo de lo que se esperaría. Los controles cuentan con baterías internas de litio y transmiten una sensación similar a la que se espera de un control DualSense tradicional de la PS5, con retroalimentación háptica en los gatillos y detección de los

dedos. Al pasar la mano por un obstáculo en un juego, el control comienza a vibrar para dar la sensación del tacto, mientras que el casco también puede vibrar para aumentar la sensación de inmersión en el juego.

Como es la tendencia en estas nuevas generaciones de visores, incluyen un sistema de seguimiento ocular, esencial para algunos menús e interacciones dentro del juego. A diferencia de los últimos dos visores, este también requiere ser conectado a una PlayStation 5 para funcionar.



Ilustración 12: PlayStation VR 2

Se estima que el PSVR 2 logró vender alrededor de 1.7 millones de unidades a nivel mundial, con un precio de \$550 USD, además del costo de la PlayStation 5, demostrando una importante tendencia del mercado de estos visores: el entretenimiento.

Lo último en visores de realidad virtual son los Meta Quest 3, lanzados en Octubre del 2023. Son exactamente lo que se esperaba que fueran, la evolución del Meta Quest 2, pero con características del Meta Quest Pro que lo hacen sentir como una experiencia totalmente nueva.



Ilustración 13: Meta Quest 3

Portan dos pantallas de 2064 x 2208 píxeles, logrando una resolución 4K+ con una frecuencia de actualización de 90 Hz, con una opción experimental que la eleva hasta los 120 Hz. A diferencia del Meta Quest 2, este visor ofrece una experiencia de realidad aumentada, alineándose con la visión del Apple Vision Pro. El diseño es más ergonómico y liviano y lentes mejorados que brindan mayor nitidez, con un mejor ajuste a la pupila.

Este visor incluye un sensor de profundidad que permite representar de forma más precisa y cámaras de 4 megapíxeles que permiten una imagen hasta 10 veces mejor que el Meta Quest 2 para entornos de realidad mixta. También equipan una nueva tecnología llamada Meta Reality, que permite mezclar mundos físicos y virtuales. También tienen un perfil 40% más delgado que su predecesor, siendo más delgadas y livianas.

Y, finalmente, Meta lanzó los Meta Quest 3s, una alternativa de \$300 USD pero con un rendimiento similar al Meta Quest 3, de \$500 USD. Ambos visores cuentan con el mismo procesador Snapdragon XR2 Gen 2, pero el 3s viene con algunos recortes en otros aspectos, por ejemplo, tienen las mismas pantallas que el Meta Quest 2, campo de visión menor y no cuentan con sensor de proximidad. Sin embargo, el precio las hace una opción muy prometedora para los que buscan una experiencia similar de realidad mixta.

Se estima que las ventas del Meta Quest 3 han superado ya el millón de unidades desde su lanzamiento, solidificando el estatus de los visores de Meta como los más populares del mercado.

Haciendo un pequeño análisis, no es sorprendente que estos visores sean los más vendidos; el precio es más accesible, tienen buenas pantallas, software bastante completo, son cómodos y no requieren de un dispositivo externo para funcionar. Además, Meta cuenta con una gran comunidad de desarrolladores y compatibilidad con plataformas como Steam, que proporcionan la posibilidad de ejecutar la mayoría de los juegos o demás experiencias que el usuario busque. Así que es posible utilizar únicamente el visor, sin embargo, se pueden conectar a una computadora también para conseguir mayor detalle y resolución.

Los demás visores no llaman la atención de tantas personas por que se han enfocado en desarrolladores, profesionales o videojuegos exclusivamente, reduciendo su potencial de venta, además de que la mayoría de ellos requiere de otros dispositivos para funcionar o su precio es exorbitante.

En México, la realidad virtual ha ido ganando popularidad, aunque aún no es tan utilizada. Principalmente la encontramos en eventos o parques, como Inspark, que es

completamente dedicado a la realidad virtual y cuentan con muchas experiencias. Además de los visores, implementan otros dispositivos para lograr una mayor inmersión. Por ejemplo, en el juego de carreras, las personas se sientan en un simulador de cabina de un monoplaza, con volante y pedales, mientras que en el simulador de vuelo sobre la CDMX, utilizan arneses y hamacas para que la persona sienta que está volando de verdad.

La realidad virtual cada vez es más popular y accesible para más personas. Existe la creencia de que son el futuro de la tecnología y que podrían reemplazar a los teléfonos inteligentes. Aunque esto no suceda actualmente, la posibilidad aún está ahí y la experiencia de utilizar un visor es algo que un teléfono no puede igualar, así que podrían llegar a complementarse en un futuro cercano, utilizando los visores en casa y los teléfonos fuera de ella.

También es importante recalcar que la realidad virtual no es exclusiva para estos visores. Este contenido también puede ser reproducido en otros dispositivos, como computadoras y celulares y, aunque la inmersividad se pierda, casi cualquier persona con un dispositivo puede acceder a él.

Análisis del mercado

A partir de 2017, la realidad virtual entraría en una etapa de crecimiento acelerado, con la introducción de visores comerciales y precios relativamente accesibles para los consumidores.

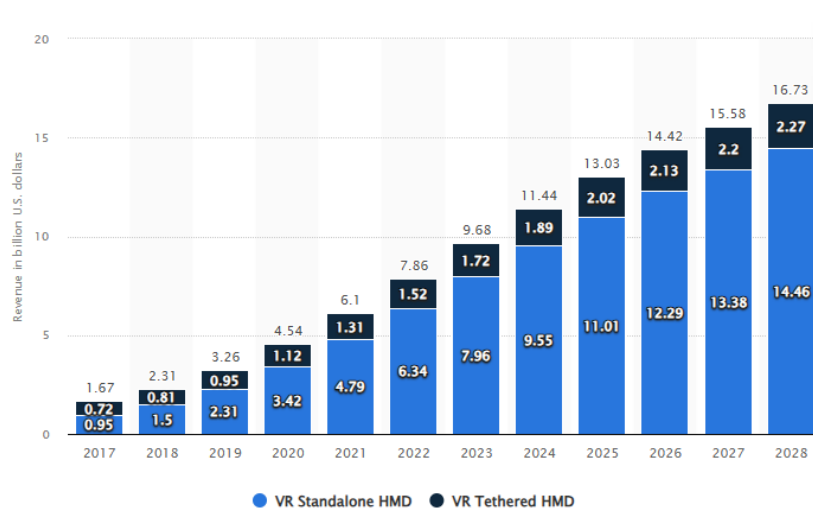


Ilustración 14: crecimiento del mercado de la realidad virtual

Como se observa en la ilustración 8, en 2017 el mercado de la realidad virtual estaba en 1.67 miles de millones de dólares, creciendo 685% para 2024, con un crecimiento anual promedio del 32%. De continuar esta tendencia, el mercado de VR podría superar los 16.73 miles de millones de dólares para el 2028.

Esta cifra es pequeña a comparación con el mercado de teléfonos inteligentes, cuyo valor alcanzó los 485 miles millones de dólares en 2022 y se estima que alcanzará los 792 miles de millones de dólares en 2029, pero su crecimiento sería del 63% con un crecimiento promedio anual del 7.2%, mucho menor que el crecimiento del mercado de la realidad virtual.

El mercado de la realidad virtual crece rápidamente, sin embargo, no es así en todo el mundo por igual.

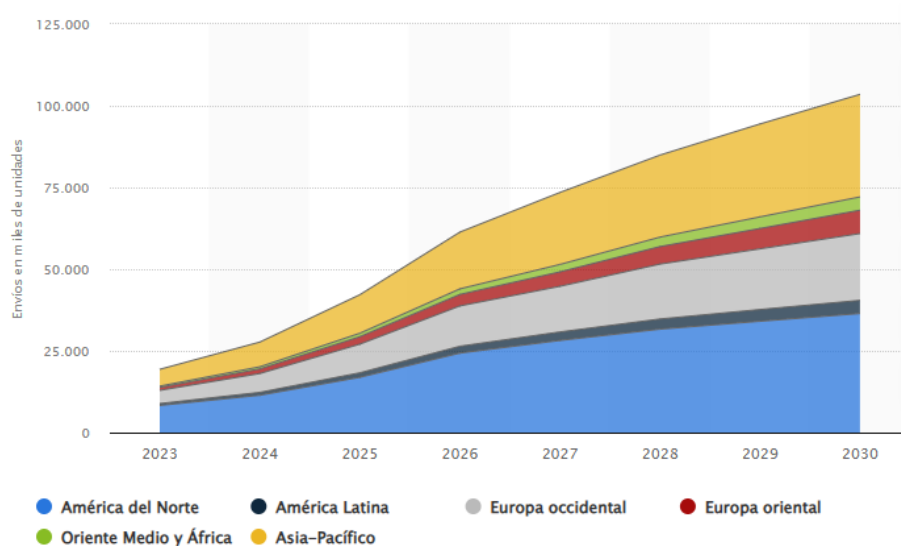


Ilustración 15: Mercado de la realidad virtual por región

Como se observa en la ilustración 15, la realidad virtual ha penetrado mayormente en Asia y Norteamérica, abarcando casi el 70% del mercado, con Europa tomando 20%, y el 10% restante corresponde a América Latina y África. No es ninguna sorpresa esta estadística, tratándose de nueva tecnología. Los países más avanzados tecnológicamente son los que han adoptado esta tecnología más rápidamente, principalmente Estados Unidos, China y Japón. La proyección indica que el mercado de los visores podría quintuplicarse para el 2030.

Realidad virtual en la educación

Como vimos anteriormente, una de las aplicaciones de la realidad virtual es la educación. Las posibilidades son ilimitadas y depende de la imaginación tanto del estudiante como del maestro, algunos ejemplos son:

- a. Traer fenómenos científicos a la realidad
- b. Explorar el universo con tan solo ver hacia el cielo
- c. Observación de órganos internos
- d. Prácticas médicas
- e. Revivir acontecimientos históricos
- f. Explorar el mundo
- g. Practicar exposiciones o presentaciones
- h. Admirar piezas de arte
- i. Entrenamientos profesionales
- j. Aprender nuevos idiomas

Se han realizado estudios sobre las ventajas de la realidad virtual en la educación. La universidad de Penn State demostró que los alumnos que utilizaron herramientas inmersivas de realidad virtual fueron capaces de completar una tarea más del doble de rápido que aquellos que utilizaron una computadora convencional.

Otro estudio que se realizó consistió en juntar estudiantes de Harvard y de la universidad de Zhejiang de China en un entorno virtual para el estudio de antiguos caracteres egipcios en una tumba de Giza como preparación para un viaje a Egipto. Los estudiantes fueron capaces de trabajar juntos y aprendieron todo lo necesario moviendo los modelos 3D de la esfinge y las tumbas.

En la UNAM ya se han estado realizando proyectos de realidad virtual. Se está explorando cómo se puede implementar tanto en la medicina como en la ingeniería, e incluso se ha visto que la tecnología a veces no es suficiente para lo que se quiere realizar con ella.

Una de las principales iniciativas de realidad virtual en la Facultad de Ingeniería es el Laboratorio de Otras Realidades (LOR), creado por el maestro Yair Bautista. Los alumnos de la facultad pueden formar parte de este laboratorio y desarrollar proyectos de realidad virtual en apoyo a la educación, dentro de los que destaca el desarrollo de laboratorios virtuales para la enseñanza práctica de algunas asignaturas. En este trabajo, se describirá el proceso de rediseño y desarrollo del laboratorio virtual de neumática, de la asignatura de Automatización Industrial.

1 Laboratorio virtual de Neumática

Un circuito neumático puede ser simulado de múltiples formas. Tradicionalmente, se utilizan simuladores en dos dimensiones, en los cuales los componentes neumáticos son distribuidos, configurados y conectados en el área de trabajo por el usuario, para posteriormente iniciar la simulación y verificar su funcionamiento.

Sin embargo, este tipo de simulaciones requieren adaptaciones para un entorno virtual. Primeramente, el cambio de un entorno en 2 dimensiones a uno en realidad virtual de 3 dimensiones propone ciertos desafíos, como el posicionamiento y dimensiones de los componentes, ya que el usuario debe tener la posibilidad de interactuar con todos los componentes necesarios para la conexión de los circuitos neumáticos.

1.1 Diseño original

En la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, se imparte la materia de Automatización Industrial, la cual contiene temas de programación de PLC, neumática y electroneumática.

En el laboratorio de la materia, se cuenta con un laboratorio con mesas neumáticas, las cuales contienen diversos componentes para la conexión de circuitos.

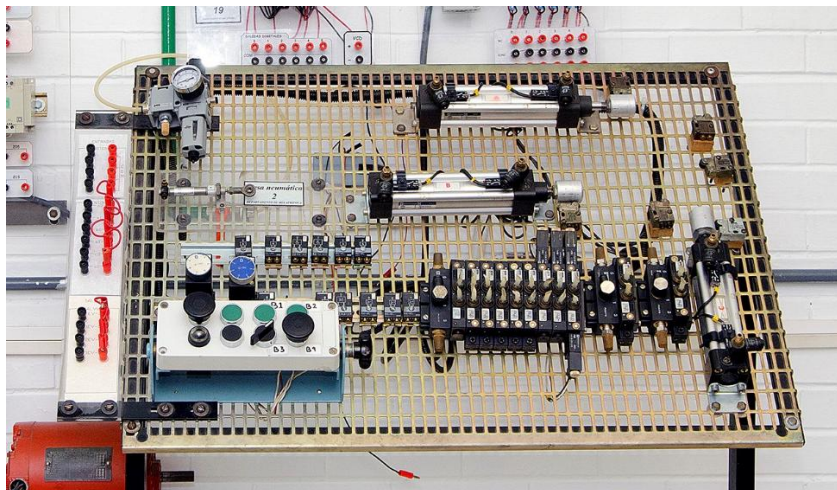


Ilustración 16: mesa neumática del laboratorio de Automatización Industrial

Los componentes de la mesa neumática son: unidad de mantenimiento, botonera con piloto neumático, cilindro de simple efecto, pistones de doble efecto, finales de carrera, válvula 5/2 monoestable, válvulas 5/2 biestables, temporizador positivo, temporizador negativo, válvulas And y Or.

1. Unidad de mantenimiento (FRL): aparato diseñado para depurar el aire comprimido en una planta. Se le llama FRL ya que desempeña las siguientes funciones: filtra el aire para mantenerlo libre de impurezas, atrapando contaminantes tales como el agua, polvo y aceite; regula constantemente la presión del aire para que los componentes reciban el suministro necesario, y lubrica el aire para reducir la fricción entre las partes móviles de los componentes.



Ilustración 17: Unidad de mantenimiento

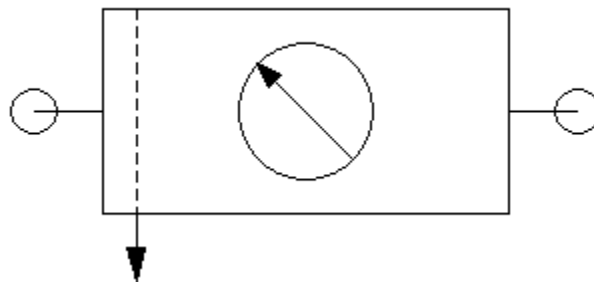


Ilustración 18: símbolo de la unidad de mantenimiento

2. Botonera con piloto neumático: cuenta con un botón enclavado y dos botones pulsadores (válvulas 3/2) que permiten el paso del aire al estar presionados, así como un piloto neumático que indica cuando hay presión en el sistema,

cambiando de color negro a rojo. Los demás botones son electrónicos, así que no serán tomados en cuenta para este trabajo.

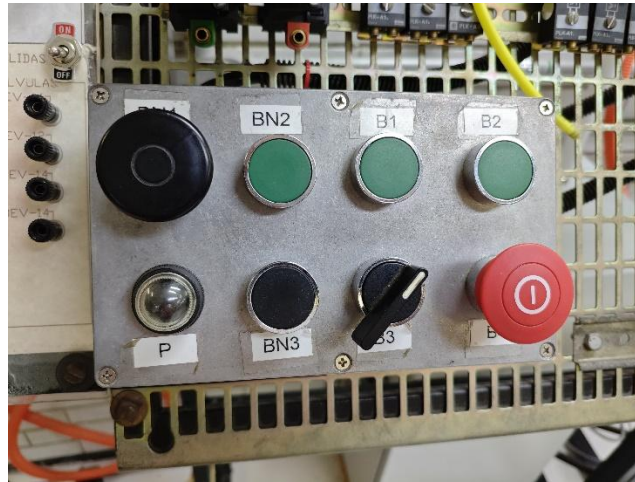


Ilustración 19: Botonera con piloto neumático

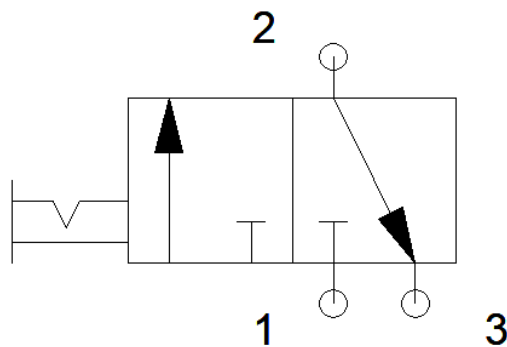


Ilustración 20: símbolo del botón enclavado

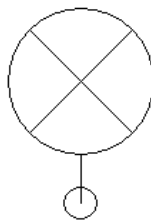


Ilustración 21: símbolo del piloto neumático

3. Cilindro de simple efecto: se compone de dos cámaras en las que se suministra aire para que el vástago se desplace en avance o retroceso. Cuenta con un resorte en una de sus cámaras y un émbolo interno donde se instala el vástago que separa ambas cámaras y se mueve para ejercer fuerza. El vástago se

extiende al suministrar aire comprimido en una de las cámaras y regresa a su posición de reposo mediante la acción del resorte.



Ilustración 22: cilindro de simple efecto

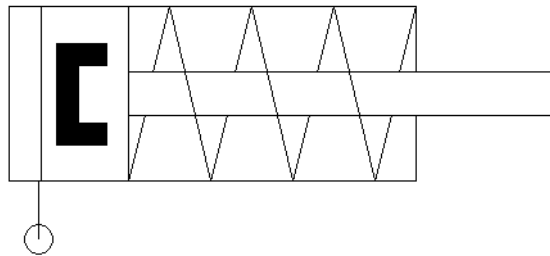


Ilustración 23: símbolo del cilindro de simple efecto

4. Cilindro de doble efecto: estructura similar al cilindro de simple efecto, sin resorte. Compuesto de dos cámaras en las cuales se suministra aire para mover el vástago. Contiene un émbolo interno en el vástago que separa ambas cámaras, el cual se desplaza para ejercer fuerza. El vástago se extiende y regresa a su posición de reposo mediante la inyección y liberación de aire comprimido en ambas cámaras.



Ilustración 24: cilindros de doble efecto

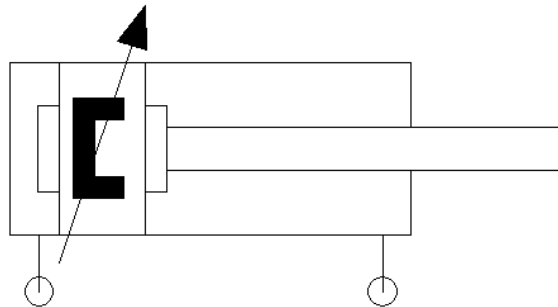


Ilustración 25: símbolo del cilindro de doble efecto

5. Final de carrera: válvula 3/2 accionada mediante un interruptor que detecta la posición de un elemento y regresa a su posición de reposo mediante un resorte. En este caso, detecta la posición del vástago del cilindro.



Ilustración 26: final de carrera

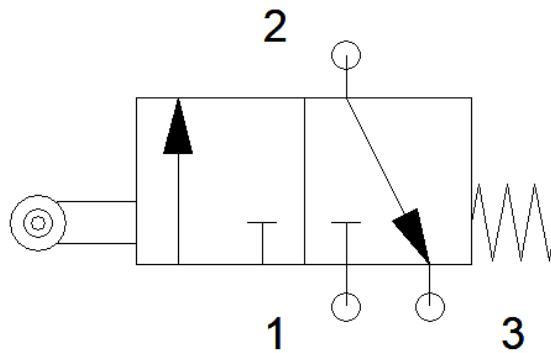


Ilustración 27: símbolo del final de carrera

6. Temporizador positivo: utilizado para retrasar la señal de salida. Consta de un depósito de aire, una válvula direccional pilotada y una válvula reguladora de caudal unidireccional. El aire comprimido entra en el acumulador de presión y, cuando alcanza el valor de conmutación, permite el paso del aire, retrasando la señal activa original.

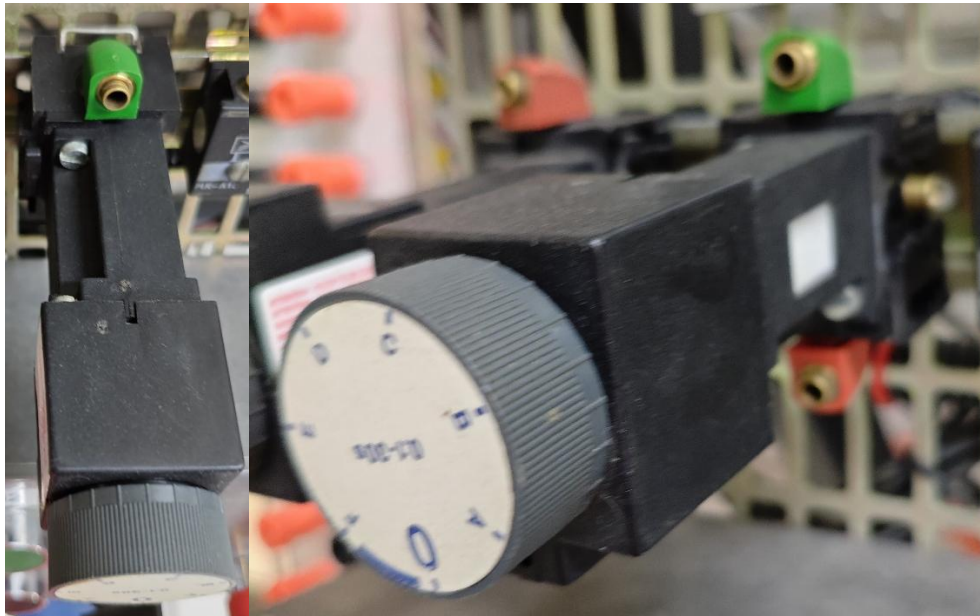


Ilustración 28: temporizador positivo

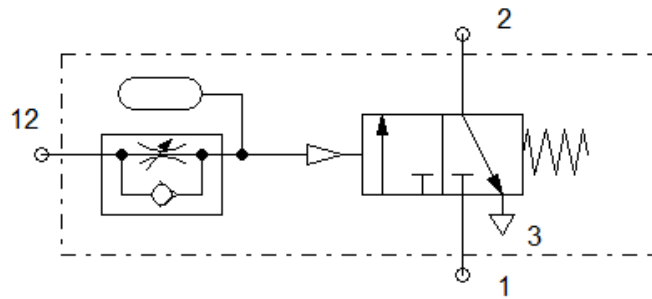


Ilustración 29: símbolo del temporizador positivo

7. Temporizador negativo: tiene los mismos componentes que el temporizador positivo, sin embargo, el aire comprimido puede pasar sin impedimento, activando la etapa de conmutación. Cuando la señal de entrada se apaga, la sigue activa durante el tiempo programado, retrasando el tiempo de desactivación.

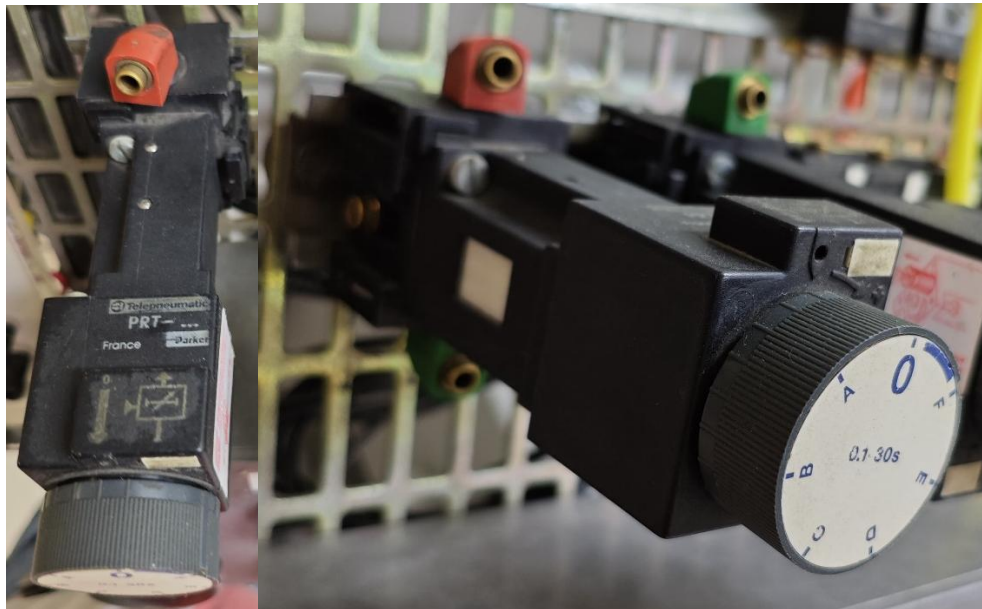


Ilustración 30: temporizador negativo

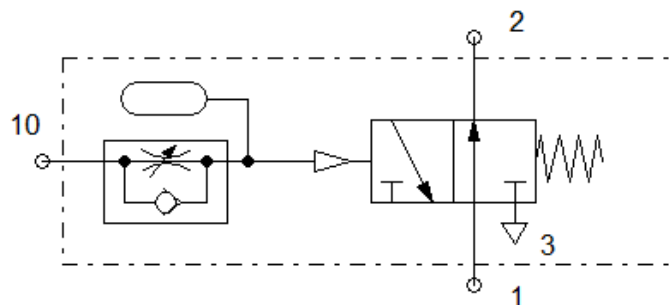


Ilustración 31: símbolo del temporizador negativo

8. Válvula 5/2 monoestable: cuenta con 5 vías y 2 posiciones. Si la señal de entrada es alta, se encuentra en posición de trabajo y permite el paso del aire comprimido, lo que activa un actuador neumático. Si la señal de entrada es baja, cierra el paso del aire y regresa a su posición de reposo, desactivando al actuador. La quinta vía permite el escape del aire comprimido.

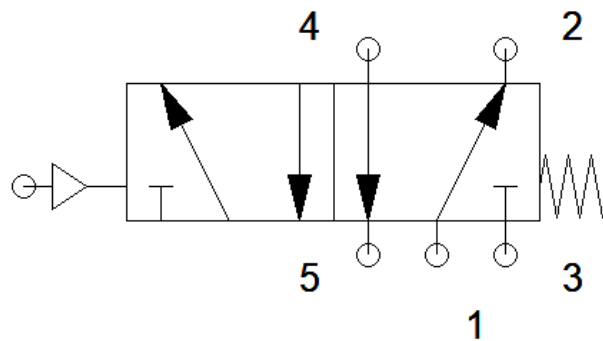


Ilustración 32: símbolo de la válvula 5/2 monoestable

9. Válvula 5/2 biestable: similar a la válvula 5/2 monoestable, sin embargo, cuenta con dos señales de entrada para activar tanto posición de trabajo como de reposo. Utilizadas en el laboratorio para gobernar a los cilindros de doble efecto.



Ilustración 33: válvula 5/2 monoestable a la izquierda y válvulas 5/2 biestables

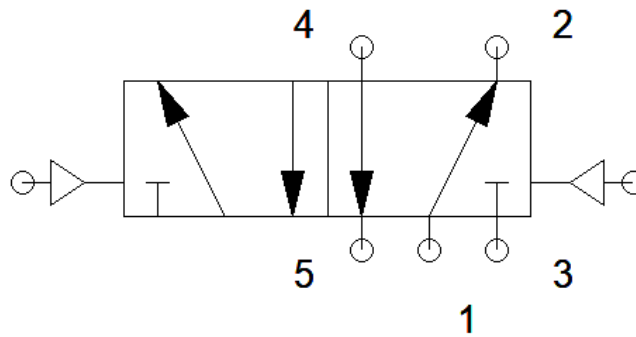


Ilustración 34: símbolo de la válvula 5/2 biestable

10. Válvula And: válvula neumática que permite el paso del aire comprimido cuando ambas vías de entrada reciben aire a presión; es decir, siguen la tabla de verdad del operador lógico And, que establece que ambas entradas deben ser verdaderas para que la salida también lo sea.

Tabla 1: tabla de verdad And

A	B	Salida
0	0	0
1	0	0
0	1	0
1	1	1

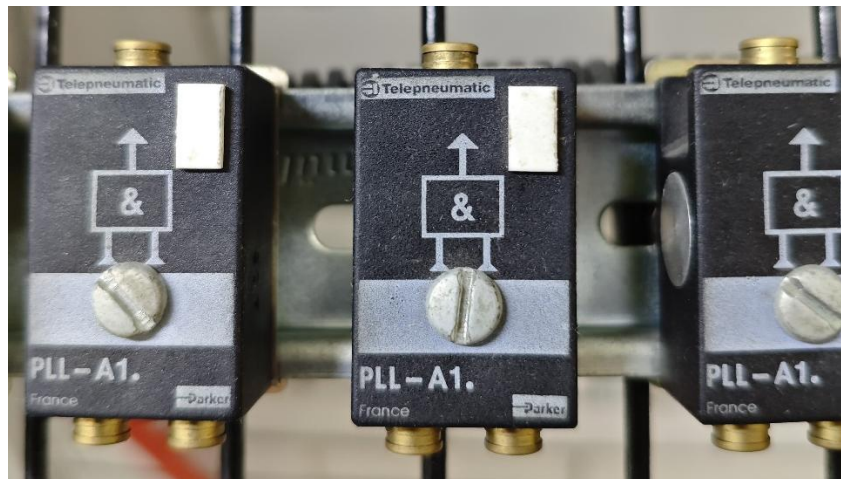


Ilustración 35: válvulas And

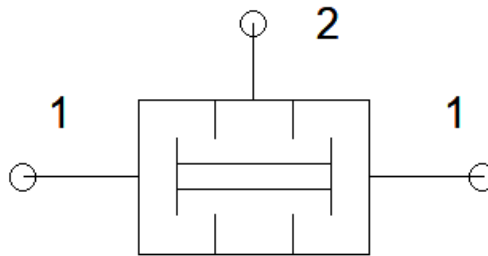


Ilustración 36: símbolo de la válvula And

11. Válvula Or: válvula neumática que permite el paso del aire comprimido cuando alguna vía de entrada recibe aire a presión; es decir, obedecen a la tabla de verdad del operador lógico Or, que establece que, si alguna entrada es verdadera, la salida también será verdadera.

Tabla 2: tabla de verdad Or

A	B	Salida
0	0	0
1	0	1
0	1	1
1	1	1



Ilustración 37: válvulas Or

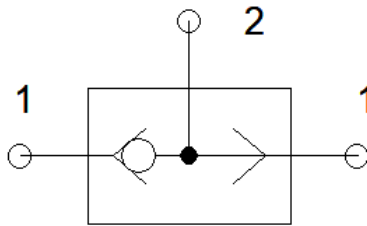


Ilustración 38: símbolo de la válvula Or

12. Manguera: medio por el cual fluirá el aire comprimido para alimentar los diferentes elementos. Conectan los diferentes componentes neumáticos y pueden ser de diferentes diámetros y materiales.

13. Conector en T: elemento que permite obtener presión en dos mangueras neumáticas a partir de una.



Ilustración 39: conector en T

14. Distribuidor: elemento que permite obtener presión en cuatro mangueras neumáticas a partir de una.



Ilustración 40: distribuidor

15. Tapón: elemento que impide el paso del aire a través de un racor.



Ilustración 41: tapón

Además, cada mesa neumática cuenta con un maletín neumático, que contiene otros componentes necesarios para los circuitos, como conectores de tres vías (en T), distribuidores, tapones y más válvulas 5/2 biestables. Las mangueras se encuentran en contenedores y los alumnos que trabajen en cada mesa pueden ocuparlas según sea necesario para la conexión de sus circuitos.



Ilustración 42: maletín neumático

Como se describió en la sección de antecedentes, el objetivo es crear una versión funcional de este laboratorio en realidad virtual. Existen algunas versiones, pero aún les

faltan muchas mejoras y cambios para lograr brindar una experiencia que emule al laboratorio real. A continuación se describe el estado inicial de este entorno virtual y sus capacidades.

El laboratorio virtual cuenta con un espacio cerrado, con decoración minimalista. Con esto, se evita que el usuario salga del laboratorio y experimente errores, y centra su atención en la mesa neumática virtual, que es donde se realiza la conexión de los circuitos neumáticos.

A continuación, se muestra una imagen del laboratorio inicial:

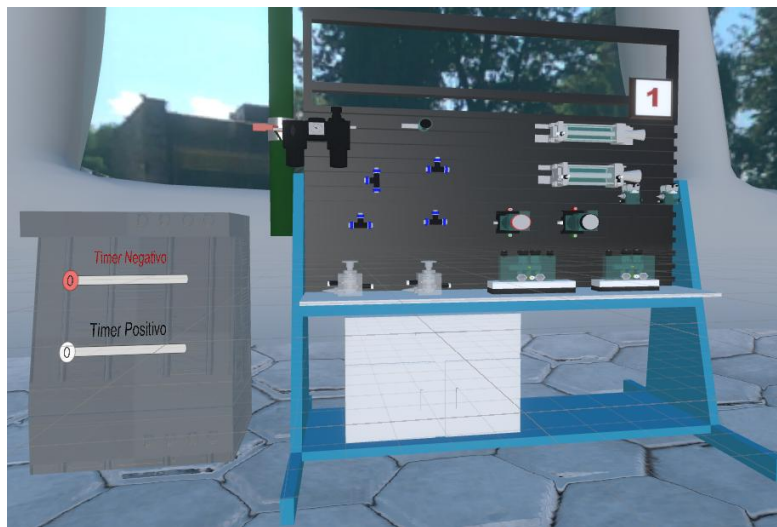


Ilustración 43: mesa neumática virtual inicial

En la ilustración 43, se observan algunos elementos neumáticos colocados en una mesa: unidad de mantenimiento, piloto neumático, cilindro de simple efecto, cilindro de doble efecto, finales de carrera, ambos temporizadores, botones enclavados, válvula 5/2 monoestable, válvula 5/2 biestable y conectores en T.

Todos los modelos son transparentes y lo suficientemente grandes para observar su interior.

Es posible interactuar con todos los racores, los botones, la perilla de la unidad de mantenimiento, la palanca del tubo colocado en la parte trasera izquierda de la mesa y los sliders de los temporizadores en el panel del lado izquierdo. Los únicos *objetos móviles* son los conectores en T, todos los demás objetos se mantienen fijos.

Para realizar la conexión de dos componentes, se interactúa con uno de los conectores dando click para que este cambie a color amarillo, para luego interactuar con otro

conector. Esto genera una línea de color azul claro entre ambos componentes, representando su conexión visualmente.

Para iniciar la simulación, se interactúa con la palanca roja en la parte trasera izquierda y la perilla de la unidad de mantenimiento, lo cual permite el paso de la presión a través del circuito. Las conexiones realizadas adoptan un color azul oscuro y, en caso de haber fuga, los conectores destapados se tornan de color rojo, se reproduce un efecto de sonido y se desactivan todos los componentes de la mesa.

Todos los sensores y actuadores neumáticos cuentan con animaciones que representan visualmente su funcionamiento interno.

Con estos componentes, es posible realizar algunos circuitos neumáticos sencillos, sin secuencias neumáticas de más de un actuador. El circuito más sofisticado que puede ser realizado en esta mesa es un oscilador temporizado, utilizando el cilindro de doble efecto, los finales de carrera, la válvula 5/2 biestable, un botón enclavado y un temporizador. El diagrama de conexión de este circuito se muestra a continuación:

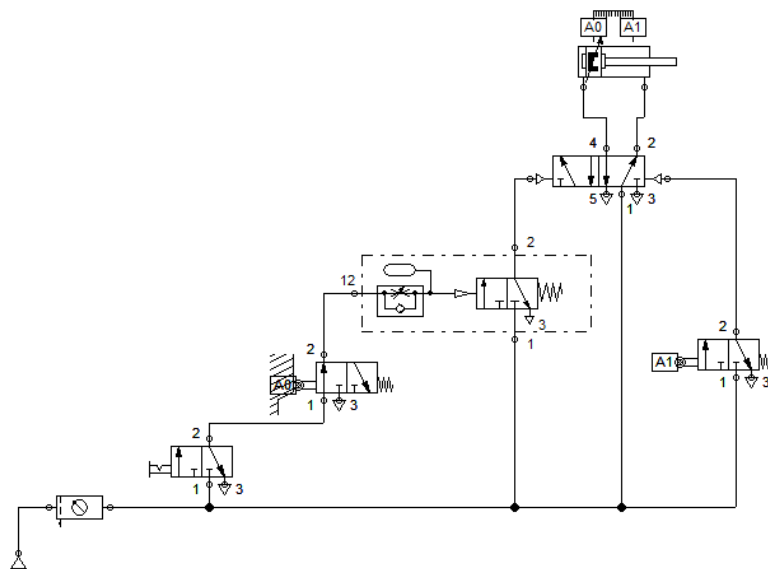


Ilustración 44: diagrama de conexión del oscilador temporizado

La disposición de los componentes en la mesa virtual varía con respecto a la mesa real. En ella encontramos una botonera con piloto neumático, pero en la mesa virtual, los botones y el piloto son componentes distintos. Por otro lado, las válvulas 5/2 biestables están colocadas sobre la parte inferior de la mesa virtual, mientras que, en la real, están un poco más arriba. Los temporizadores también se movieron para dar lugar a los conectores en T.

La mesa no cuenta con todos los componentes neumáticos necesarios para la emulación del laboratorio real y su funcionamiento es limitado, así que no es posible realizar todos los circuitos neumáticos necesarios para la asignatura. En este estado, es posible realizar 3 de las 7 prácticas y difícilmente podría realizarlas un usuario sin experiencia de uso de este laboratorio.

2 Identificación de necesidades

Para el desarrollo de este laboratorio virtual, este tendrá la capacidad de simular y representar visualmente los circuitos neumáticos necesarios para la elaboración de las siete prácticas relacionadas únicamente con el tema de neumática. En la mesa neumática real, existen componentes electroneumáticos que no forman parte de las prácticas de neumática, así que no son tomados en cuenta para este trabajo.

Las prácticas se describen a continuación:

- Práctica 5: Accionamiento de un cilindro de simple efecto
 - Objetivo general: El alumno aprenderá a trabajar con cilindros neumáticos de simple efecto.
 - Objetivos específicos:
 - El alumno aprenderá a controlar cilindros de simple efecto.
 - El alumno identificará cada una de las vías de una válvula 3/2.
 - El alumno entenderá el funcionamiento de una válvula 3/2.
- Práctica 6: Accionamiento de un cilindro de doble efecto
 - Objetivo general: El alumno aprenderá a trabajar con cilindros neumáticos de doble efecto.
 - Objetivos específicos:
 - El alumno aprenderá a controlar cilindros de doble efecto.
 - El alumno identificará cada una de las vías de una válvula 5/2.
 - El alumno entenderá el funcionamiento de una válvula 5/2.
 - El alumno entenderá el funcionamiento de los pilotajes neumáticos.
 - El alumno distinguirá las válvulas monoestables de las biestables.
- Práctica 7: Temporizador neumático
 - Objetivo general: El alumno aprenderá a utilizar un temporizador neumático.
 - Objetivos específicos:
 - El alumno conocerá los temporizadores neumáticos, positivos y negativos.
 - El alumno aprenderá a utilizar las válvulas de final de carrera.

- El alumno identificará cada una de las vías de un temporizador neumático.
 - El alumno entenderá el funcionamiento de los temporizadores neumáticos.
- Práctica 8: Secuencia neumática
 - Objetivo general: El alumno aprenderá a enlazar los movimientos de dos o más cilindros neumáticos.
 - Objetivos específicos:
 - El alumno aprenderá a implementar ciclos de trabajo que involucren el uso de más de un cilindro neumático.
 - El alumno aprenderá a utilizar las señales de un cilindro neumático para accionar el movimiento de otro cilindro.
- Práctica 9: Memorias neumáticas
 - Objetivo general: El alumno aprenderá a implementar circuitos neumáticos cuando la secuencia de trabajo de los actuadores tiene uno o más estados repetidos.
 - Objetivos específicos:
 - El alumno aprenderá el concepto de memoria neumática.
 - El alumno entenderá el funcionamiento de las memorias neumáticas.
 - El alumno aprenderá a utilizar las válvulas 5/2 como memorias neumáticas.
- Práctica 10: Método de cascada
 - Objetivo general: El alumno aprenderá a trabajar con el método de cascada.
 - Objetivos específicos:
 - El alumno aprenderá a resolver una secuencia neumática utilizando el método de cascada.
 - El alumno visualizará el funcionamiento de las válvulas para generar las líneas neumáticas correspondientes a cada paso de la secuencia.
 - El alumno visualizará cómo se elimina la interferencia de las señales no relevantes a cada paso de la secuencia.
- Práctica 11: Ciclo con movimiento repetido
 - Objetivo general: El alumno aprenderá a ejecutar una secuencia neumática que incluya el movimiento repetido de al menos un cilindro.
 - Objetivos específicos:
 - El alumno aprenderá a resolver secuencias neumáticas que incluyan movimientos repetitivos.

- El alumno visualizará el funcionamiento de las válvulas de memoria para poder diferenciar el movimiento subsecuente de un mismo cilindro.

2.1 Requerimientos finales

Con base en lo anterior, se realizó una investigación con los docentes que imparten la materia acerca de lo que ellos consideraban que debía contener el laboratorio, donde se identificaron las siguientes necesidades:

- Necesidad 1: Funcionalidad

Como herramienta complementaria de la materia de Automatización Industrial, realizar las conexiones de los circuitos neumáticos de la misma forma que lo haría en el laboratorio real, le proporciona al usuario experiencia previa a la realización de las prácticas, con el objetivo de que las realice de forma ágil y segura.

Para satisfacer esta necesidad, el requerimiento consta de la **cantidad de componentes**: es necesario colocar todos los componentes de la mesa neumática real en la virtual.

- Necesidad 2: Visualización

Como alumnos de la facultad de ingeniería, uno de los objetivos de la materia consta de la utilización del equipo para la automatización y control de procesos industriales, así que, es importante que el usuario conozca el funcionamiento interno de cada componente para conectarlos adecuadamente en cada circuito que se realice.

Al igual que la necesidad anterior, existen dos requerimientos:

1. **Comprensión**: posibilitar la observación del funcionamiento interno de los componentes neumáticos.
2. **Dimensiones**: el tamaño de los componentes será lo suficientemente grande para que sus componentes internos puedan ser observados a simple vista a la distancia de interacción.

- **Necesidad 3: Optimización**

En un entorno de realidad virtual, es necesario contar con cierto nivel de fluidez en la generación de imágenes para lograr el efecto de inmersividad en el usuario y disminuir el riesgo de provocar desorientación y/o malestar.

El requerimiento para esta necesidad consta de maximizar la **cantidad de fotogramas** producida por los dispositivos. Este laboratorio podrá ser ejecutado en una gran variedad de dispositivos, incluyendo computadoras de escritorio, laptops, celulares Android y visores de realidad virtual. En este caso, se cuenta con varias computadoras, celulares y visores Meta Quest 2 en la Facultad.

- **Necesidad 4: Facilidad de uso**

Es importante que el uso del laboratorio virtual sea sencillo. Al estar destinado a todos los alumnos de la materia, es necesario aplanar la curva de aprendizaje, ya que habrá alumnos que nunca hayan tenido contacto con la realidad virtual. Esto es gracias a la necesidad de cubrir con la totalidad del programa de estudio, así que es necesario apegarse al calendario.

Como requerimientos, se tienen:

1. **Distancia:** colocar los componentes al alcance del usuario, es decir, que sea posible interactuar con ellos sin la necesidad de saltar o estirarse.
2. **Sin interferencia:** colocar los componentes con suficiente espacio entre sí para evitar interferencia entre sus interacciones.
3. **Simpleza:** limitar la cantidad de interacciones a dos (interactuar y mover) y mapearlas a los botones principales de los controles del visor Meta Quest 2.

- **Necesidad 5: Familiaridad**

Al ser utilizado únicamente por los alumnos de la materia de Automatización Industrial, es importante que puedan relacionar lo que ocurre en el laboratorio virtual con sus prácticas reales. De esta manera, primero podrán realizar la conexión de sus circuitos de manera virtual, para posteriormente conectarlos de la misma manera en la mesa real.

Por lo tanto, para satisfacer esta necesidad, el requerimiento será la **similitud** entre la mesa virtual y la mesa real en apariencia y disposición de componentes.

- **Necesidad 6: Simultaneidad**

Las prácticas se realizan en brigadas de dos personas por cada mesa neumática y, al ser un simulador del laboratorio, es importante que al menos dos alumnos puedan conectarse simultáneamente y vean las conexiones y funcionamiento de los circuitos en tiempo real. También se puede utilizar como herramienta para asesorías cuando el laboratorio no esté disponible.

Para lograr incluir a varios usuarios, se tienen los siguientes requerimientos:

1. **Multijugador:** el laboratorio contará con la posibilidad de integrar a varios usuarios al mismo tiempo.
2. **Sincronización:** todos los usuarios podrán observar e interactuar con las mismas conexiones, circuitos y funcionalidad en tiempo real.

3 Diseño conceptual

3.1 Especificaciones

Tabla 3: Especificaciones de diseño

Requerimiento	Especificación	Valor	Justificación
Cantidad de componentes	Número de componentes igual a la mesa neumática real	1 unidad de mantenimiento	La división de Ingeniería Mecánica e Industrial de la Facultad de Ingeniería determinó que estos son los componentes necesarios en cada mesa neumática para la realización de las prácticas de Automatización Industrial.
		1 piloto neumático	
		3 botones enclavados	
		1 cilindro de simple efecto	
		3 cilindros de doble efecto	
		6 finales de carrera	
		1 temporizador positivo	
		1 temporizador negativo	
		7 válvulas 5/2 biestables	
		1 válvula 5/2 monoestable	
Visualización de componentes	Ver a través de los componentes neumáticos	6 válvulas And	Un cuerpo transparente deja pasar casi toda la luz que incide en ellos, permitiendo ver lo que se encuentra detrás.
		6 válvulas Or	
Dimensiones	Los componentes tendrán el tamaño suficiente para ver sus componentes internos	Visibles / No visibles	Se determinará visualmente que el tamaño de los componentes sea lo suficientemente grande.
Fluidez	FPS necesarios para la percepción de continuidad	24 fotogramas por segundo	La tasa de refresco en fotogramas por segundo (desde ahora FPS) para cintas cinematográficas.
Distancia	Distancia de interacción adecuada con los componentes neumáticos	Confinos del collider	Será necesario acercar la mano o puntero hasta que coincida con el collider del objeto
Sin interferencia	Distancia entre los componentes para evitar interferencia de interacciones	Colliders separados	Dos colliders no ocuparán el mismo espacio en ningún punto para evitar interferencia de interacción.
Simpleza	Pocos controles para utilizar el laboratorio virtual	2 controles	Solo es necesario un botón para interactuar y otro para recoger un <i>objeto móvil</i> .
Similitud	Semejanza visual entre la mesa real y la mesa virtual	Relacionable / No relacionable	Establecer una conexión visual entre el laboratorio real y el virtual para enriquecer el aprendizaje del usuario.
Multijugador	Posibilidad de uso de varios usuarios simultáneamente	Mínimo de 2 usuarios simultáneos	Las prácticas se realizan en brigadas de 2 personas.

Una vez establecidos los requerimientos y especificaciones necesarios para la elaboración del laboratorio, se procede a encontrar cómo se cumplirá con ellos. En el siguiente apartado, se elaborará un concepto, varias propuestas de solución y la selección de las mejores soluciones.

3.2 Concepto

Una vez traducidas las necesidades del usuario en requerimientos de diseño y establecidas y justificadas las especificaciones, es momento de proponer soluciones y explicar cómo se relacionan entre sí para elegir las que mejor se adapten al simulador de neumática.

El simulador de neumática se rediseñará con base en el siguiente concepto:

Un simulador con controles sencillos que consta de una mesa neumática parecida a la real, con componentes neumáticos de tamaño y transparencia suficientes para la observación del funcionamiento de sus componentes internos, así como distancia suficiente para interacciones cómodas. Los componentes serán los mismos que se encuentran en la mesa neumática real, para realizar las prácticas de la materia de Automatización Industrial, con un “maletín” neumático que tendrá conectores y tapones transportables para que la conexión de los circuitos neumáticos sea como en el laboratorio real.

3.2.1 Diagrama de caja negra

Como primer paso del diseño del concepto, se debe utilizar alguna herramienta de diseño que nos permita saber con qué se empieza y qué se quiere conseguir para proponer soluciones sin cerrarnos a las posibilidades.

En el diagrama de caja negra, contamos con entradas, que es lo que el usuario aporta al sistema, y salidas, que es lo que se espera obtener una vez que hagan uso del laboratorio virtual. Por otro lado, el laboratorio será la caja negra como tal.

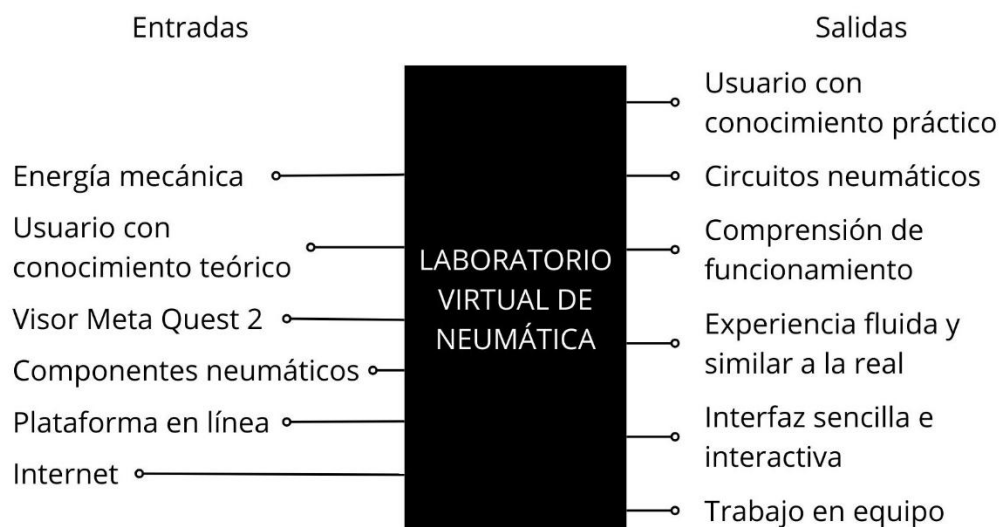


Ilustración 45: diagrama de caja

3.2.2 Diagrama de sistemas

Como se mencionó en el apartado anterior, la caja negra es el laboratorio virtual, el cual consta de varios sistemas. Estos sistemas toman las entradas provistas por el usuario y su trabajo es convertirlas en las salidas deseadas, todo basado en los requerimientos de diseño establecidos en la sección 2.

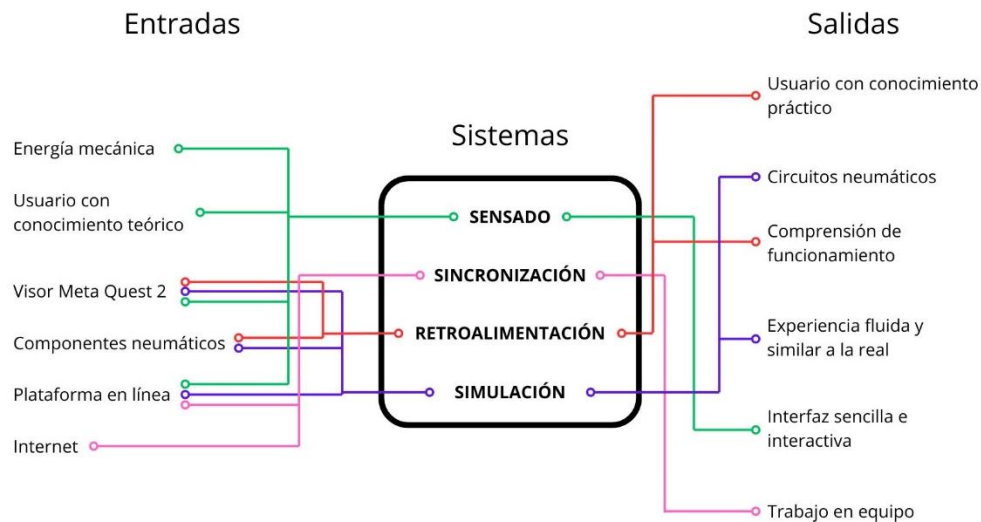


Ilustración 46: diagrama de sistemas

Como se observa en el diagrama anterior, la caja negra consta de cuatro sistemas. Cada uno tiene su propio objetivo y logran obtener las salidas entre sí.

- Sistema de sensado: sistema mediante el cual el usuario controla a su personaje e interactúa con el laboratorio.

Tabla 4: sistema de sensado

SUBSISTEMA	SOLUCIÓN ORIGINAL	SOLUCIÓN PROPUESTA
Posición	Trasladar la cámara	Sin cambios
Orientación	Rotar la cámara	Sin cambios
Acción	Tomar un objeto o seleccionar un elemento	Sin cambios

Existen muchos dispositivos que se pueden utilizar para controlar un entorno virtual, como guantes, *wearables*, o sensores externos; sin embargo, los requerimientos de diseño para este proyecto dicen que será ejecutado en el visor

Meta Quest 2, el cual ya cuenta con algunos sensores para la detección de las entradas provistas por el usuario. Con el objetivo de simplificar la interacción con el laboratorio, se optó por mantener esta solución.

- Sistema de sincronización: consta del uso de la plataforma en línea a través de internet. Se encarga de sincronizar las interacciones de varios usuarios con el laboratorio en tiempo real.

La solución utilizada para este sistema fue el uso de VRChat, una plataforma en línea en Steam. Puede utilizarse en un monitor o televisión, pero está diseñada para ofrecer experiencias en realidad virtual, principalmente entornos lúdicos. Sin embargo, la plataforma permite el desarrollo de entornos por parte de la comunidad y ofrece la conexión en línea mediante sus servidores. Como limitaciones, deben estar desarrollados en Unity, programados en Udon o Udon# y con el SDK de VRChat para cargarlos en la plataforma.

Se optó por mantener esta solución, ya que VRChat es destinado a la realidad virtual, cuenta con los servicios en línea necesarios para lograr la sincronización entre varios usuarios y es compatible con todos los dispositivos requeridos.

- Sistema de retroalimentación: Su objetivo es reportar al usuario los acontecimientos dentro del laboratorio virtual mediante el uso de imágenes y sonidos.

Tabla 5: sistema de retroalimentación

SUBSISTEMA	SOLUCIÓN ORIGINAL	SOLUCIÓN PROPUESTA
Audio	Reproducir audio mediante bocinas	Sin cambios
Video	Reproducir video mediante pantallas	Sin cambios

Como requerimiento de diseño, el laboratorio se ejecutará en dispositivos que ya cuentan con pantalla y bocinas, así que estas serán utilizadas.

- Sistema de simulación: Su objetivo es simular el funcionamiento de los circuitos neumáticos reales y permitirle al usuario observar su funcionamiento.

Tabla 6: sistema de simulación

SUBSISTEMA	SOLUCIÓN ORIGINAL	SOLUCIÓN PROPUESTA
Componentes	Al menos un componente funcional de cada uno	Todos los componentes existentes en la mesa neumática real
Conectores	Incluidos en la mesa	Mayor cantidad de conectores y retirarlos de la mesa neumática

Este es el único sistema del diseño que requiere cambios para satisfacer las necesidades establecidas en el capítulo 2.

Como primer punto, en el diseño original existe al menos uno de cada componente, sin embargo, es necesario contar con todos los componentes que se encuentran en la mesa neumática real para la conexión de los circuitos de cada una de las prácticas. Se replicará, en lo posible, la disposición de los componentes original en la mesa virtual, dependiendo del tamaño que tengan para poder observar su funcionamiento interno. A continuación, se explican las decisiones tomadas para cada componente:

- **Unidad de mantenimiento:** la mesa ya cuenta con una unidad de mantenimiento, se mantiene esta solución.
- **Botonera con piloto neumático:** se dividió en un piloto neumático y dos botones. Se mantendrá este diseño, agregando un botón más para un total de tres, igualando la cantidad de la botonera.
- **Cilindro de simple efecto:** la mesa cuenta con el único requerido para las prácticas, únicamente se cambiará de lugar para dar lugar a los cilindros de doble efecto y se reducirá su tamaño.
- **Cilindros de doble efecto:** la mesa cuenta con uno, se agregarán dos y se colocarán en el mismo lugar que en la mesa real.
- **Finales de carrera:** la mesa cuenta con 2 y se requieren otros 4, dos por cada cilindro de doble efecto. Se colocan al inicio y al final de la carrera de los vástagos.
- **Temporizadores positivo y negativo:** la mesa ya cuenta con uno de cada uno. No se realizarán cambios.
- **Válvulas And:** se requiere agregar las 6 válvulas And.
- **Válvulas Or:** se requiere agregar las 6 válvulas Or.
- **Válvula 5/2 monoestable:** la mesa ya cuenta con la única necesaria para las prácticas.

- **Válvulas 5/2 biestables:** se requiere agregar 6 para un total de 7 y se colocarán en el soporte inferior de la mesa neumática. Es necesario reducir su tamaño.

Por otro lado, cada mesa neumática cuenta con un maletín. En él se encuentran conectores en T, distribuidores, tapones, válvulas 5/2 biestables y algunos adaptadores para los diferentes tamaños de manguera. A continuación, se explican las decisiones tomadas para el maletín:

- **Conectores:** la mesa ya cuenta con 4 conectores de 3 vías (en T), es necesario agregar otros 2 para completar los 6 que se encuentran en el maletín neumático.
- **Distribuidores:** son conectores de 5 vías y existen 6 en cada maletín neumático. Se mantiene esta cantidad para el laboratorio virtual.
- **Tapones:** cada maletín neumático cuenta con 10 tapones, con más tapones en la mesa neumática real en las válvulas 5/2. Únicamente se agregarán los tapones del maletín neumático para la conexión de los circuitos. Los tapones de las válvulas 5/2 no serán agregados, ya que las válvulas de la mesa real comparten alimentación y deben estar tapadas para evitar fugas, pero en el laboratorio virtual son modulares y no requieren tapones.
- **Válvulas 5/2 biestables:** serán agregadas como parte permanente de la mesa neumática para simplificar su uso y facilitar interacciones.
- **Adaptadores de manguera:** no serán utilizados en el laboratorio virtual, que tendrá únicamente un tamaño de manguera con el que se realizarán todas las conexiones para evitar la necesidad de utilizar demasiados componentes en un espacio reducido.

3.2.3 Válvulas And y Or

El laboratorio virtual no cuenta con válvulas And ni Or, así que es necesario solucionar cómo incluirlas en la mesa neumática para cumplir con todos los requerimientos de diseño y especificaciones establecidas anteriormente.

Como se observa en la ilustración 47, la válvula And cuenta con un componente móvil interno. Al haber presión en una entrada, el aire comprimido ejerce una fuerza que mueve este componente y provoca que obstruya su paso. Es hasta que hay presión en ambas entradas que las fuerzas se equilibran, manteniendo una de las entradas obstruida, mientras que la otra se mantiene abierta, permitiendo el paso del aire a través de la válvula.

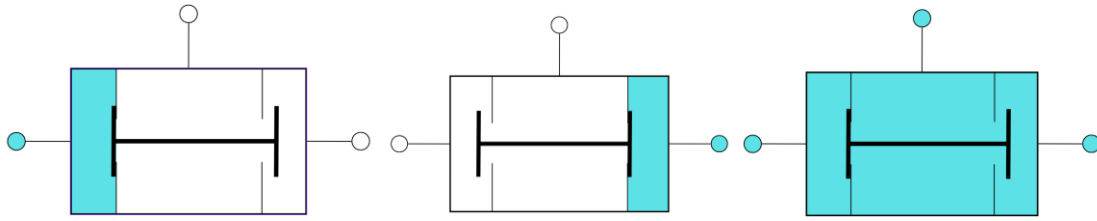


Ilustración 47: visualización de funcionamiento de la válvula And

La válvula Or también cuenta con un componente móvil interno, sin embargo, el aire comprimido ejerce una fuerza que lo mueve y provoca la obstrucción de la entrada de aire contraria, permitiendo el paso del aire a través de la válvula. Al haber presión en ambas entradas, las fuerzas se equilibran, pero el aire pasará a través de la entrada que haya recibido presión primero.

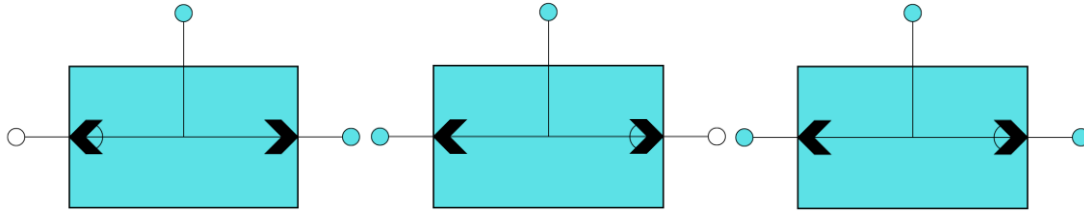


Ilustración 48: visualización de funcionamiento de la válvula Or

Por otro lado, las válvulas And y Or reales son pequeñas, de aproximadamente 200 mm de ancho y 300 mm de alto, tamaño bastante compacto que permite colocar muchas válvulas en un espacio pequeño.

Tabla 7: soluciones de las válvulas And y Or

SOLUCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Válvulas compactas con componentes internos simples	1. Ocupan menos espacio en la mesa 2. Apegado a la realidad	1. Dificultad para observar los componentes internos a distancia 2. Interferencia en las interacciones
Válvulas grandes con componentes internos visualmente similares a los diagramas	1. Facilidad de observación de los componentes internos a distancia 2. Sin interferencia en las interacciones	1. Ocupan más espacio en la mesa neumática 2. Diferentes a las válvulas reales

3.2.4 Conectores

El laboratorio cuenta con 4 conectores en T, sin embargo, en el maletín neumático existen 6 de estos y 6 distribuidores, cantidades que se respetarán en el desarrollo de este laboratorio.

Al ya haber conectores en T, los demás seguirán el mismo patrón de diseño, con el objetivo de reutilizar código y homogeneizar su apariencia.

Una de las principales desventajas de utilizar los mismos conectores que en el laboratorio real, es que, en ocasiones se llegan a utilizar demasiados, causando congestión en un espacio tan reducido, o es posible que se utilicen todos los tapones. Eso puede llegar a ser una molestia en realidad virtual al momento de realizar interacciones, así que tenemos varias soluciones a este problema:

Tabla 8: soluciones de los conectores

SOLUCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Conector muy grande, de 8 vías o más	1. Capacidad para realizar la conexión de múltiples componentes a un solo conector 2. Gran ahorro de espacio 3. Reducción de la cantidad de componentes utilizados en un circuito neumático	1. Ficticio 2. Utilización reducida, ya que solo pocos circuitos se beneficiarían de dicho conector 3. Interacciones difíciles 4. Posibilidad de utilizar demasiados tapones
Conector de 4 vías (en X)	1. Reducción del uso de conectores en T y tapones 2. Interacciones sencillas 3. Ahorro de espacio 4. Similar a la realidad 5. Simplificación de conexión de muchos circuitos neumáticos	1. Utilización de varios conectores para un circuito 2. No existe en el maletín neumático
No agregar conectores	1. Similar a la realidad	1. Utilización de muchos tapones 2. Utilización de muchos conectores en T

3.2.5 Tapones

Durante la conexión de los circuitos neumáticos en el laboratorio virtual original, es común que algunos conectores sobren, por esta razón, se creará un nuevo modelo de tapón virtual y habrá la misma cantidad que en el maletín neumático.

Con los tapones, utilizar la cantidad exacta de conectores no será problema y se podrán realizar las prácticas más complejas que requieran más conexiones de manera más sencilla.

Tabla 9: soluciones de los tapones

SOLUCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Tapón que se coloca en su lugar	1. Apegado a la realidad 2. Área de trabajo limpia	1. Complejidad de detección e interacción
Tapón que se conecta mediante manguera	1. Interacción simple	1. Área de trabajo con mayor número de conexiones

3.2.6 Mesa de componentes neumáticos

La mesa neumática es suficiente para los componentes neumáticos colocados originalmente, sin embargo, la necesidad de incrementar la cantidad de componentes provoca que la mesa requiera cambios, uno de ellos será el cambio de lugar de los conectores, que dejarán de formar parte de la mesa neumática. A continuación, se evalúan otras soluciones:

Tabla 10: soluciones de la mesa neumática

SOLUCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Reducir el tamaño de los componentes	1. Mayor cantidad de interacciones al alcance del usuario al mismo tiempo 2. Facilidad de observación del funcionamiento de todo el circuito neumático sin mirar alrededor	1. Mayor dificultad para observar el funcionamiento de los componentes 2. Mayor dificultad en las interacciones
Incrementar verticalmente las dimensiones de la mesa	1. Visibilidad adecuada del funcionamiento de los componentes 2. Interacciones sencillas	1. Dificultad para alcanzar las interacciones localizadas en la parte superior de la mesa
Incrementar horizontalmente las dimensiones de la mesa	1. Visibilidad adecuada del funcionamiento de los componentes 2. Interacciones sencillas	1. Menor cantidad de interacciones al alcance del usuario al mismo tiempo 2. Dificultad para observar el funcionamiento de todo el circuito neumático sin mirar alrededor

3.2.7 Maletín neumático

Como se comentó en el apartado anterior, los conectores serán removidos de la mesa neumática para colocarlos en algo que haga la función de un maletín neumático. En este espacio estarán los conectores y tapones que utilizarán los usuarios para la conexión de componentes.

Tabla 11: soluciones del maletín neumático

SOLUCIÓN	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Maletín neumático	1. Apego a la realidad 2. Ahorro de espacio	1. Complejidad en la interacción al momento de tomar un conector 2. Tamaño reducido de los conectores 3. Visibilidad reducida
Mesa de conectores	1. Conectores más grandes 2. Interacciones sencillas 3. Buena visibilidad de los conectores	1. Diferente a la realidad 2. Mayor necesidad de espacio
Pared de conectores ilimitados	1. Ahorro de espacio 2. Conectores grandes 3. Buena visibilidad de conectores 4. Interacciones sencillas	1. Desapego a la realidad 2. Dificultad de implementación 3. Posibilidad de utilizar demasiados conectores

3.2 Selección de soluciones

Al ya haber descrito cada una de las posibles soluciones, se procede con la selección de las que formarán parte del laboratorio virtual.

Como primer punto, se encuentran las **válvulas And y Or**, que son realmente pequeñas en el laboratorio real. Uno de los requerimientos de diseño es que el funcionamiento interno de los componentes sea observable a simple vista, así que la solución seleccionada es la segunda, serán **válvulas grandes con componentes internos visualmente similares a los diagramas**. Además, esta solución ofrece interacciones más sencillas con los conectores de las válvulas, simplificando la utilización del laboratorio.

En el caso de los **conectores**, es importante saber que el laboratorio real únicamente cuenta con conectores en T y distribuidores. Usualmente, durante la realización de las prácticas, es común requerir una conexión extra, necesitando un conector en T para realizarla, lo que puede ocasionar congestión con la cantidad de componentes en la mesa. Por otro lado, utilizar conectores demasiado grandes es muy diferente y realmente poco práctico, ya que muy pocos circuitos se benefician de dicho conector. Por todo lo anterior, la solución seleccionada es la **utilización de conectores en X**, ya que reducirán la necesidad de utilizar conectores en T y tapones, ahorrando espacio, además de que no se alejan tanto de lo que realmente ocurre en el laboratorio real.

Para los **tapones**, contamos con la opción de colocarlos en el conector directamente o conectarlos mediante mangueras. Aparentemente es mejor opción la primera solución, sin embargo, por cuestiones de tiempo, la solución seleccionada fue la segunda: **conectarlos mediante mangueras**, ya que no requiere un cambio en el código tan grande como la primera y su implementación es más sencilla para cuestiones de funcionalidad.

En cuanto a la **mesa neumática**, disminuir el tamaño de los componentes atenta contra el requerimiento de observar su funcionamiento a simple vista, así que se descarta. Ampliar la mesa verticalmente resulta una solución poco práctica, ya que puede ser incómodo interactuar con los componentes que se sitúen en la parte superior de la mesa, así que la solución seleccionada es **ampliarla horizontalmente**, permitiendo la colocación de todos los componentes en ella y mantenerlos al alcance de todos los usuarios.

Finalmente, para el **maletín neumático**, su implementación en el entorno virtual es poco práctica, ya que el tamaño de los conectores debería reducirse para colocarlos dentro de él, complicando la interacción con ellos, así que se descarta esta solución. Por otro lado,

la pared con los conectores infinitos presenta la complicación de tener la posibilidad de utilizar demasiados conectores, afectando las interacciones y el rendimiento del laboratorio, así que, la solución seleccionada es la utilización de una **mesa de conectores y tapones**, que ofrece una cantidad limitada de estos componentes, con buen tamaño y facilidad de interactuar con ellos.

4. Desarrollo

Habiendo definido el concepto, detectado los cambios necesarios y seleccionado las soluciones a implementar, se procede al desarrollo de dichas soluciones. Para este laboratorio virtual, se emplea modelado 3D, integración de los modelos en Unity y la programación en Udon# para completar su funcionalidad.

La versión inicial del laboratorio cuenta con algunos componentes neumáticos funcionales y es necesaria la adición de más componentes y un reordenamiento de la mesa para la optimización del espacio en la mesa virtual. En este caso, se modelarán las válvulas And y Or, tapones, conectores en X, distribuidores y la mesa de conectores. Por otro lado, se aumentará la cantidad de pistones de doble efecto, finales de carrera, botones enclavados, válvulas 5/2 biestables y conectores en T para contar con los mismos componentes que la mesa real. Además, se reorganizarán los componentes en la mesa y se colocarán los conectores en otra mesa. Finalmente, se programarán los nuevos componentes de manera similar al programa ya existente para una sencilla integración.

Para el modelado de los objetos, se decidió utilizar el programa Blender, ya que es gratuito y cuenta con las herramientas necesarias, además de que ofrece la flexibilidad necesaria para el modelado de objetos irregulares y orgánicos, que resultará útil principalmente para la válvula And.

4.1 Modelado en Blender

Durante el modelado de los componentes, se tomará en cuenta la necesidad de observación de los componentes internos, la cantidad de polígonos y el estilo visual.

Para homogeneizar los componentes en el laboratorio virtual, se utilizarán los materiales existentes en el proyecto para los nuevos modelos a integrar, así que, no será necesario agregar material desde Blender.

Las válvulas And y Or se modelarán de tal forma que los conectores tengan la distancia suficiente entre ellos para no causar interferencia, manteniendo un estilo similar a los demás componentes que ya se encuentran en la mesa neumática. Contarán con un cuerpo grande, con una cámara interna; en su interior habrá un componente móvil que se asemeje a los diagramas de funcionamiento.

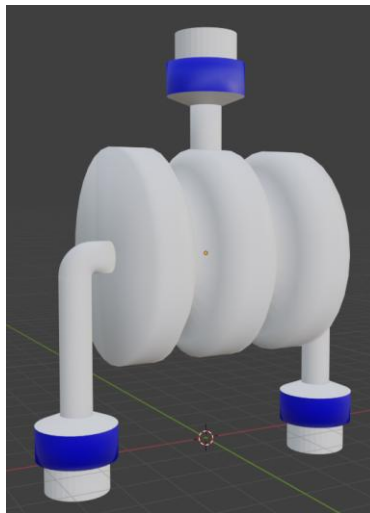


Ilustración 49: cámara de la válvula And

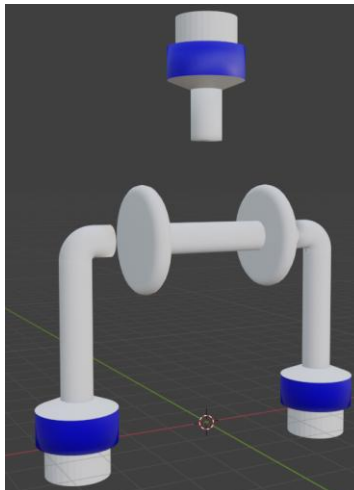


Ilustración 50: interior de la válvula And

En las ilustraciones 49 y 50, se observa el modelo de la válvula And. El interior es similar al diagrama de funcionamiento, con el componente interno que obstruye la entrada por donde exista presión primero.

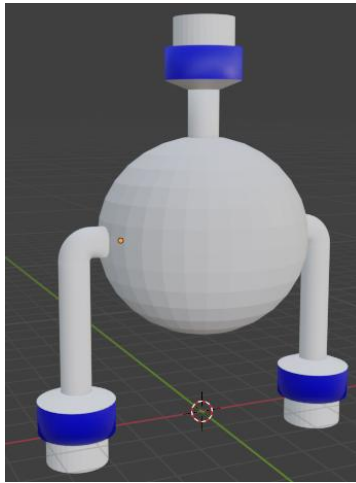


Ilustración 51: cuerpo de la válvula Or

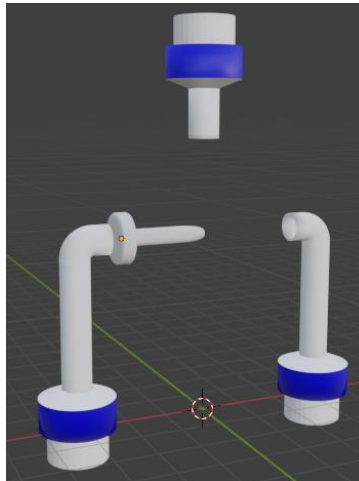


Ilustración 52: interior de la válvula Or

Por otro lado, en las ilustraciones 51 y 52, se observa la estructura de la válvula Or, con un cuerpo más sencillo, en el que el componente interno obstruye la entrada contraria a la que recibe presión primero, igual que en el diagrama de funcionamiento. Al saber que este componente será animado posteriormente, es necesario modelarlo como otro cuerpo para que actúe de manera independiente en Unity.

Objects	12
Vertices	5,680
Edges	10,800
Faces	5,140
Triangles	10,840

Ilustración 53: estadísticas de la válvula And

Objects	13
Vertices	7,268
Edges	14,056
Faces	6,814
Triangles	14,004

Ilustración 54: estadísticas de la válvula Or

En las ilustraciones 53 y 54, se observa la cantidad de objetos, vértices, aristas, caras y triángulos. Estos modelos fueron realizados con una topología cuadrada (quads), sin embargo, al aplicar la unión de vértices y modificadores destructivos, se generaron caras triangulares (triads), con el fin de disminuir la cantidad de polígonos para mejorar el rendimiento gráfico, el cual, considerando que se utilizarán 12 válvulas en total, es importante optimizarlo.

En el caso de los conectores en X y distribuidores, mantendrán un estilo visual similar al de los conectores en T existentes en la mesa original.

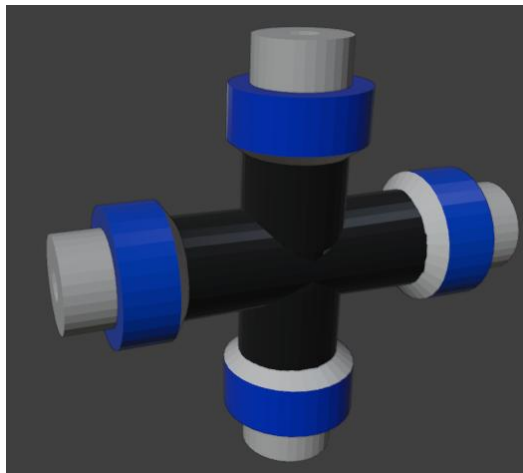


Ilustración 55: conector en X

Objects	7
Vertices	1,606
Edges	2,840
Faces	1,248
Triangles	2,488

Ilustración 56: estadísticas del conector en X

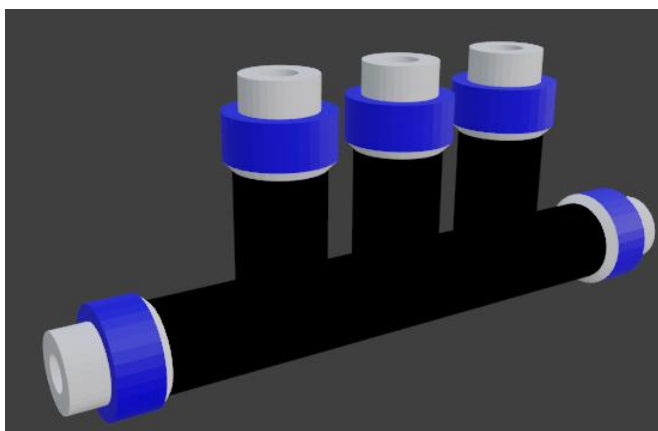


Ilustración 57: distribuidor

Objects	7
Vertices	1,376
Edges	2,304
Faces	956
Triangles	2,696

Ilustración 58: estadísticas del distribuidor

Al estar conformados principalmente por cilindros, los conectores son componentes sencillos y su impacto en el rendimiento gráfico es muy bajo.

Los tapones serán muy simples, únicamente consistirán en un conector y un cuerpo cerrado en forma de cono para representar a los tapones del laboratorio real.



Ilustración 59: tapón

Objects	2
Vertices	193
Edges	352
Faces	163
Triangles	378

Ilustración 60: estadísticas del tapón

Como se observa en la ilustración 60, el impacto de los tapones en el rendimiento del laboratorio es casi nulo.

Finalmente, la mesa de conectores será similar a la mesa neumática, pero con un estilo visual más sencillo para no desviar la atención del usuario.

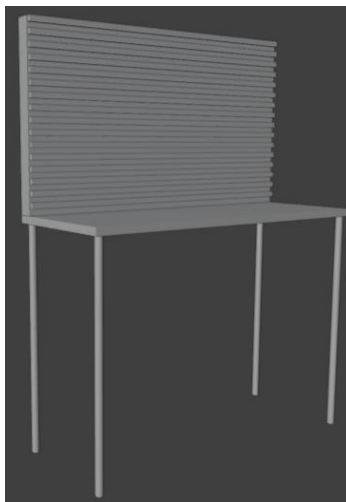


Ilustración 61: mesa de conectores

Objects	4
Vertices	414
Edges	628
Faces	258
Triangles	740

Ilustración 62: estadísticas de la mesa de conectores

Al igual que los tapones, la mesa de conectores es muy sencilla y tampoco afecta el rendimiento gráfico del laboratorio.

4.2 Integración en Unity

Ahora que se tienen los modelos necesarios para la expansión del laboratorio se procede con su integración en el entorno virtual.

Para utilizar los modelos en Unity, es necesario exportarlos a archivos .fbx y, posteriormente, copiarlos a la carpeta del proyecto. Inicialmente, tienen dimensiones muy grandes en comparación con lo demás objetos, requieren modificaciones en sus materiales y reposicionamiento.

Para crear una mesa similar a la real, se compara la disposición de los componentes en ambas mesas.

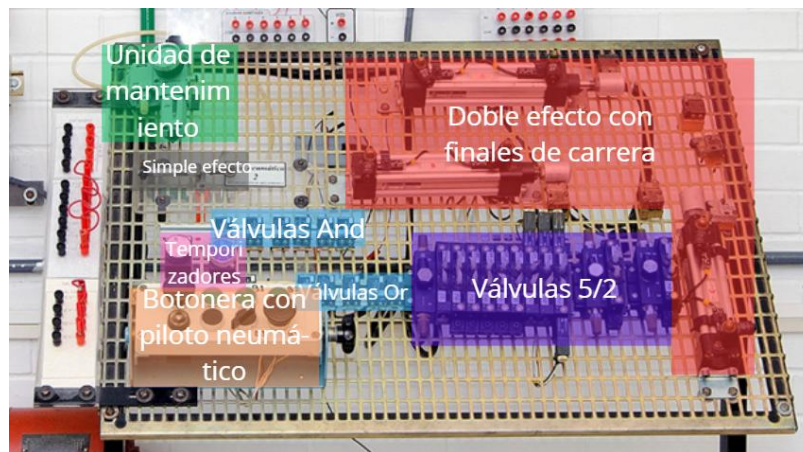


Ilustración 63: disposición de la mesa neumática real

En cambio, la disposición de los componentes en la mesa neumática virtual se muestra a continuación:



Ilustración 64: disposición de la mesa neumática virtual inicial

Esta mesa mantiene la posición de algunos componentes de la mesa real, por ejemplo, el cilindro de doble efecto, los botones y la unidad de mantenimiento; sin embargo, debido al redimensionamiento de los componentes pequeños, obliga a modificar la disposición original. Los temporizadores, válvulas 5/2 y cilindro de simple efecto son más grandes y requieren más espacio que los originales.

Para el reacomodo de los componentes, se optó por mantener una disposición similar a la ilustración 63, pero algunos componentes cambiaron de lugar, considerando la adición de las válvulas And y Or y los componentes faltantes, así como la expansión lateral de la mesa y la eliminación de los conectores.



Ilustración 65: redistribución de la mesa virtual

Con la distribución mostrada en la ilustración 59, se obtiene un espacio amplio de trabajo, donde es posible colocar algunos conectores en los espacios vacíos para mantener el espacio limpio y ordenado. Además, el tamaño de los componentes es lo suficientemente grande para observar su funcionamiento a simple vista y evitar interferencia entre los conectores. Asimismo, se incorporó la mesa de conectores al laboratorio y cuenta con los conectores, distribuidores y tapones.



Ilustración 66: distribución de la mesa de conectores

Y, para garantizar la visibilidad de los componentes internos, la textura de las válvulas será configurada como transparente dentro de Unity.

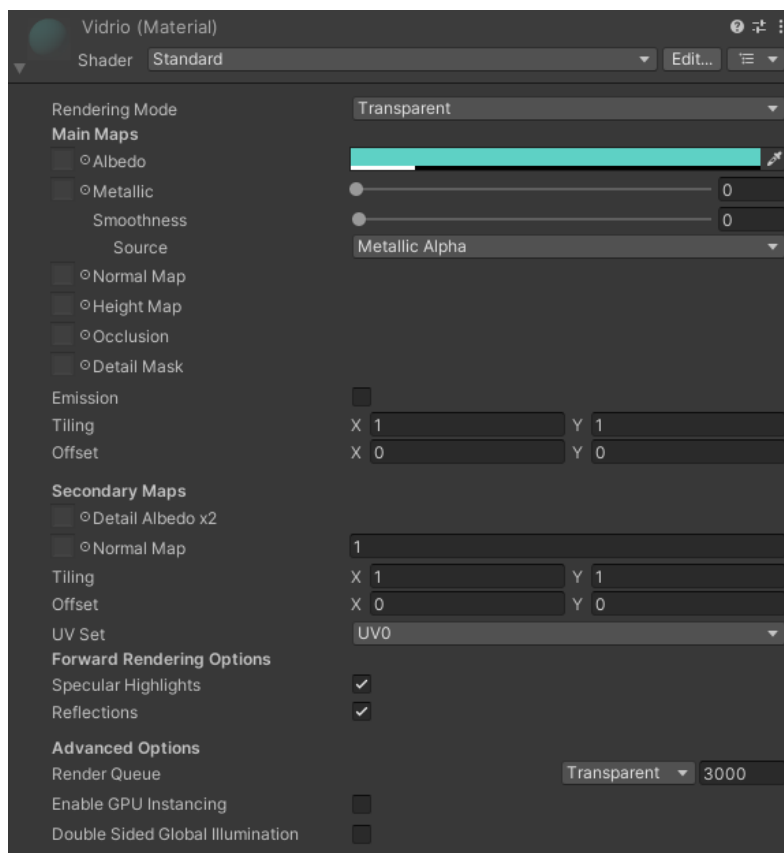


Ilustración 67: material transparente para las válvulas And y Or

4.3 Programación en Udon#

Al ser un proyecto de la plataforma VRChat, es necesario utilizar el SDK que contiene todo lo necesario para la ejecución de los entornos virtuales en ella. Es por lo anterior que la programación se realiza en Udon, un lenguaje de programación basado en C# que contiene todas las bibliotecas y recursos para poderse ejecutar en Unity, emulando un entorno de VRChat. Este lenguaje cuenta con un modo de programación basado en *noodles* o fideos, en el cual se conectan, por ejemplo, funciones con variables gráficamente, para implementar la lógica deseada y resulta conveniente para scripts pequeños y con lógica sencilla. Sin embargo, este laboratorio requiere scripts grandes y complejos, así que se decidió implementar Udon#, que es un modo tradicional de programación, casi idéntico a C# y ofrece mayor capacidad de programar lógica compleja, a cambio de requerir conocer la sintaxis y comandos propios de Unity y VRChat.

Como se sabe de capítulos anteriores, parte de la mesa neumática ya está presente y funciona, así que es necesario agregar las funciones de las válvulas And y Or, así como los conectores en X y los distribuidores. Por otro lado, para que la mesa esté completa, se realizará un aumento en la cantidad de componentes.

4.3.1 Programación del laboratorio

Existen varios scripts pequeños con un script principal muy grande que contiene las funciones de cada uno de los componentes neumáticos. Los demás scripts constan de secuencias de animaciones, finales de carrera y realización de conexiones.

El script *ManValv* contiene la programación de la mesa neumática, teniendo las funciones de cada componente, el registro y actualización de conexiones y el control de las variables.

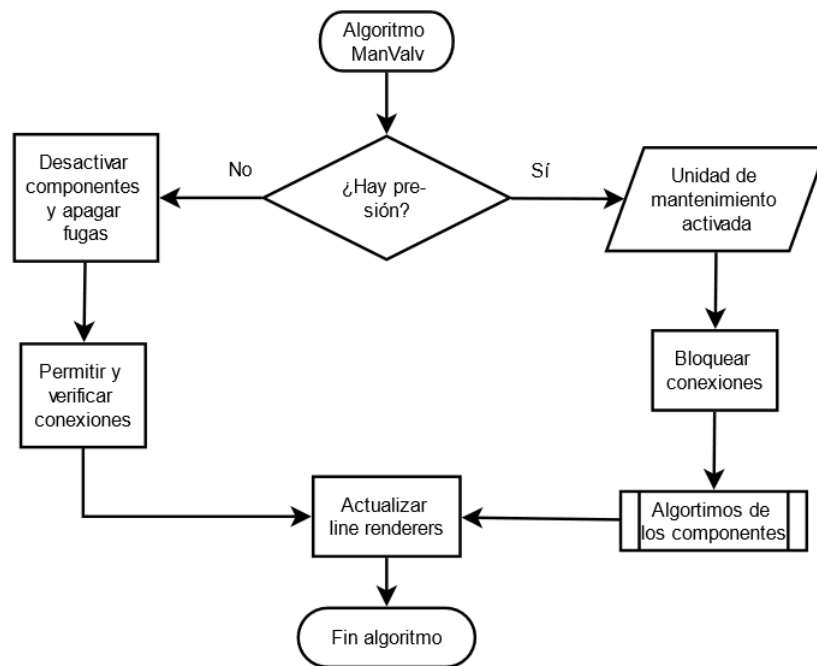


Ilustración 68: diagrama de flujo del script ManValv

Por otro lado, todos los componentes comparten la misma lógica, siendo que primero comprueban si hay fuga y luego actúan con base en esta comprobación.

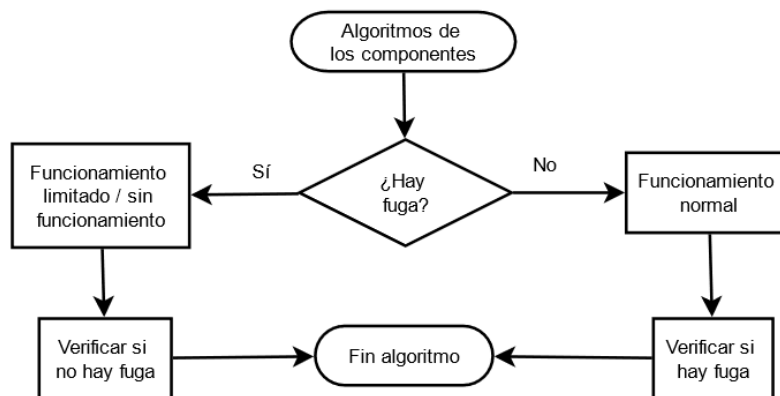


Ilustración 69: diagrama del funcionamiento general de los componentes neumáticos

4.3.2 Componentes nuevos

Utilizando la lógica descrita anteriormente, es necesario verificar si hay presión o fuga para determinar el funcionamiento de los componentes. En el caso de las válvulas And y Or, es necesario controlar las entradas, la salida y la animación del componente interno.

La válvula And obedece la lógica de la Tabla 1, así que la salida únicamente debe activarse cuando haya presión en ambas entradas. Sin embargo, la animación

únicamente sucede cuando solo haya presión en una de las entradas, y debe funcionar aún cuando haya fuga.

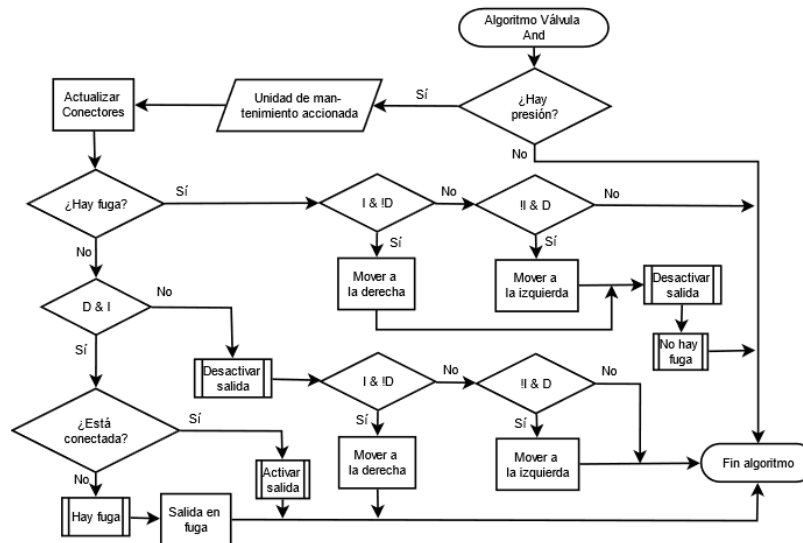


Ilustración 70: diagrama de flujo de la válvula And

Por otro lado, la válvula Or obedece la lógica de la Tabla 2, activando la salida cuando haya presión en al menos una de las entradas. Igualmente, la animación únicamente ocurre cuando haya presión en una entrada, y debe funcionar aún cuando haya fuga.

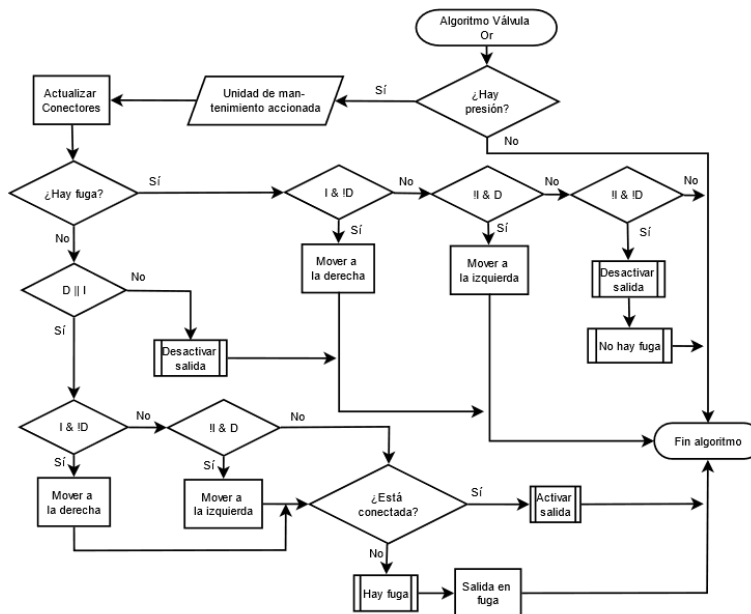


Ilustración 71: diagrama de flujo de la válvula Or

Las válvulas fueron programadas en Udon# siguiendo la lógica de estos diagramas de flujo, asegurando su funcionalidad sin importar que haya fuga.

Por parte del conector en X y el distribuidor, se reutilizó el código empleado para el conector en T, únicamente agregando el conector l para el primero y el m para el segundo.

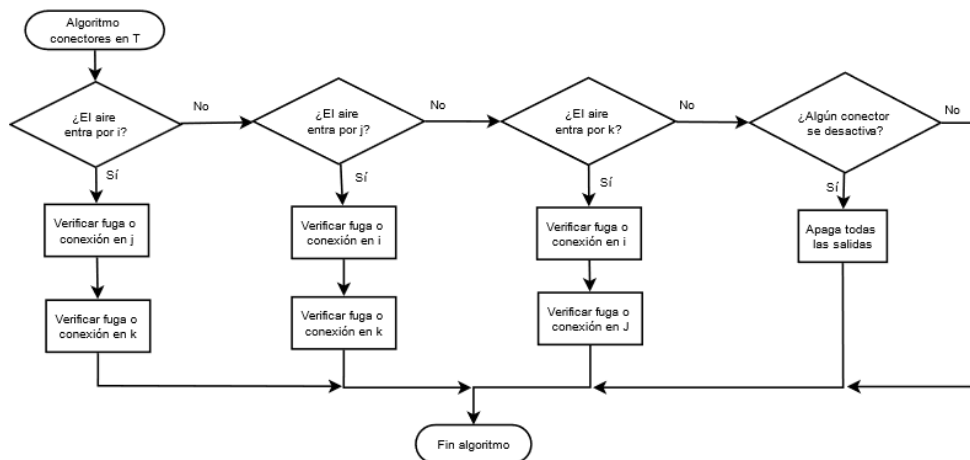


Ilustración 72: diagrama de flujo de los conectores en T

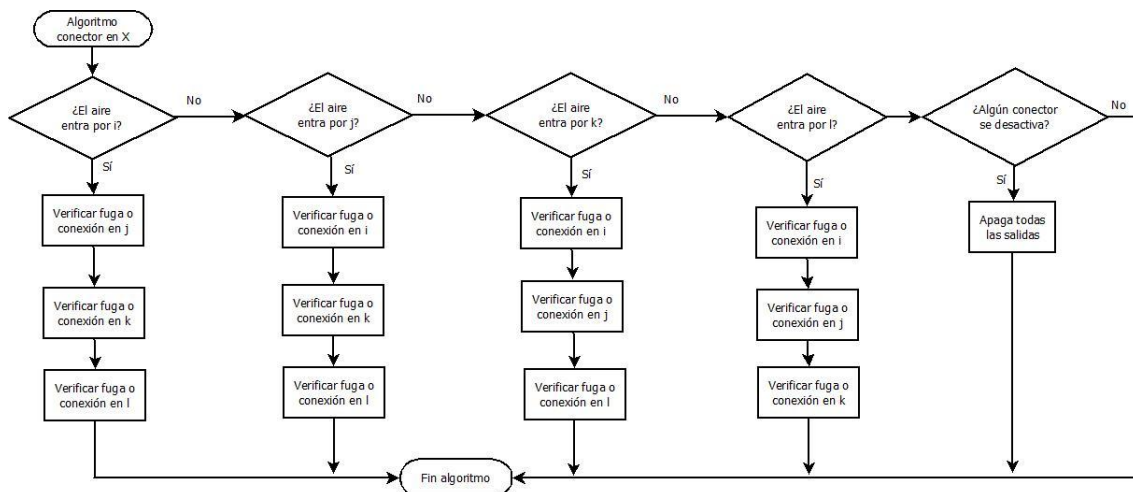


Ilustración 73: diagrama de flujo de los conectores en X

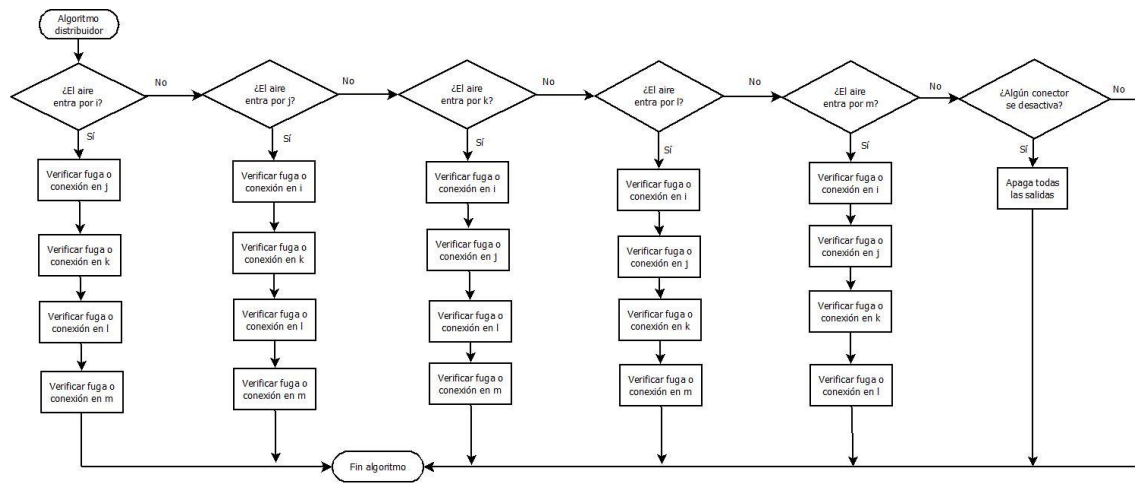


Ilustración 74: diagrama de flujo de los distribuidores

Finalmente, para los tapones es necesario revisar el algoritmo encargado de detectar las fugas, en este caso serán las conexiones y la función ConQuien.

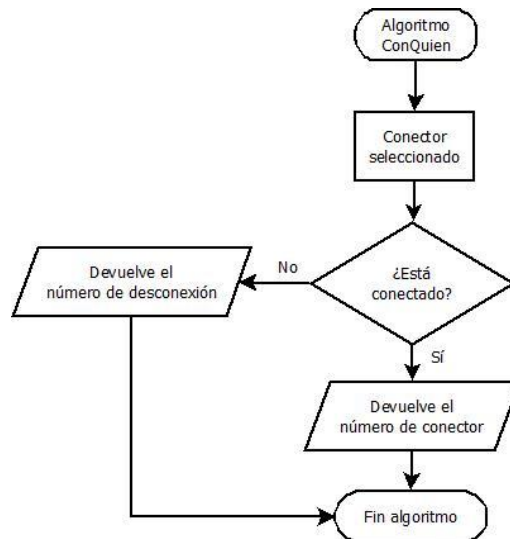


Ilustración 75: diagrama de flujo de la función ConQuien

Esta función activa una fuga cuando no encuentra conexión, así que, mientras haya una conexión establecida, no se producirá fuga. Por esta razón, los tapones no requieren programación, únicamente un número de conector dentro de Unity.

Una vez teniendo la programación completa y los componentes agregados a la mesa neumática, lo procedente es la realización de pruebas para validar el funcionamiento del laboratorio.

5 Pruebas y validación

Las pruebas son la parte más importante de cualquier diseño porque el resultado determinará si cumple o no con las especificaciones establecidas.

La estructura general de las pruebas constará de comprobar dos estados posibles del circuito neumático: funcionalidad normal o fuga. Será necesario verificar este funcionamiento a nivel de componente, así como con la interconexión de varios componentes para validar el funcionamiento del laboratorio.

La V estará presente en las pruebas validadas, mientras que la N se mostrará en las pruebas que no logren el funcionamiento deseado.

Finalmente, se realizará la conexión del circuito de la práctica 11, que contiene a todos los componentes de la mesa y así se validará la prueba funcional, resultando en un laboratorio totalmente capaz de replicar las prácticas.

5.1 Pruebas unitarias

En cuanto a las pruebas unitarias, serán realizadas a nivel de componente. De esta forma, se sabrá si es necesario realizar cambios en su funcionamiento individual o si se deben corregir errores en el código.

La versión original del laboratorio era estable y funcional con los circuitos sencillos, así que no se le realizará esta prueba a los componentes originales. Por lo tanto, los componentes a probar en esta sección son: válvulas And y Or, conectores y tapones.

Primero se probarán los tapones, ya que es muy sencillo comprobar su funcionamiento. Únicamente se conectará un tapón a la unidad de mantenimiento para comprobar que no exista fuga.



Ilustración 76: tapón conectado a la unidad de mantenimiento

Como se observa en la ilustración 76, ambos conectores y la manguera son de color azul oscuro. Tampoco se produjo el sonido de fuga, así que se valida el funcionamiento de los tapones.

La siguiente prueba se realizará en los conectores en X, se comprobará la activación de todos los conectores, cambiando el que se conecte a la unidad de mantenimiento. Finalmente, se comprobará el caso de la fuga en cada uno de los conectores.



Ilustración 77: pruebas sin fuga del conector en X

Como se observa en la ilustración 77, es posible introducir presión en cualquier conector para activar los demás.

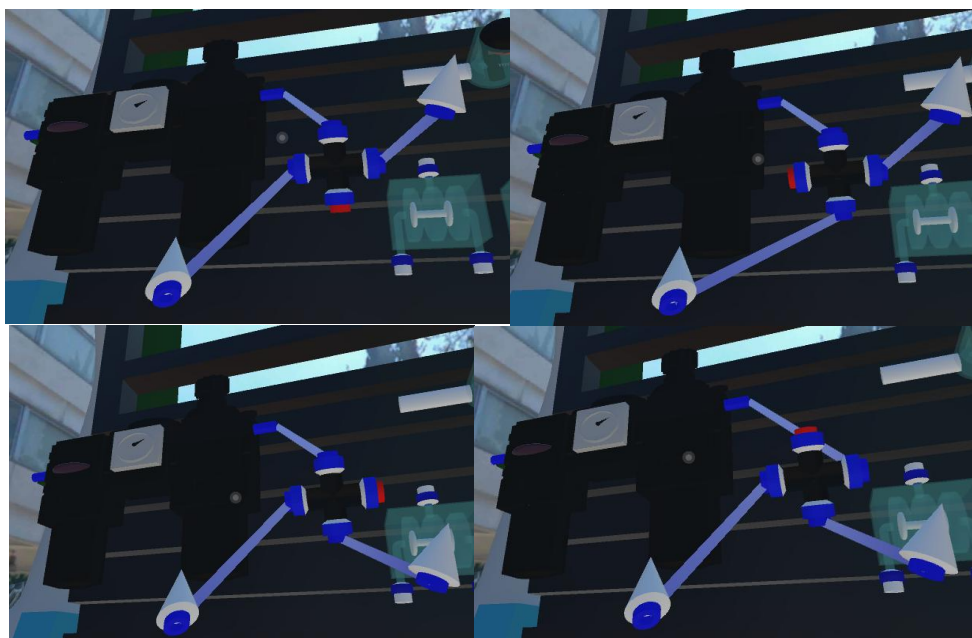


Ilustración 78: pruebas del conector en X en fuga

Como se observa en la ilustración 78, la fuga se puede presentar en cualquier conector, comprobando así el correcto funcionamiento de los conectores en X.

A continuación, se realizará la misma prueba en los distribuidores.

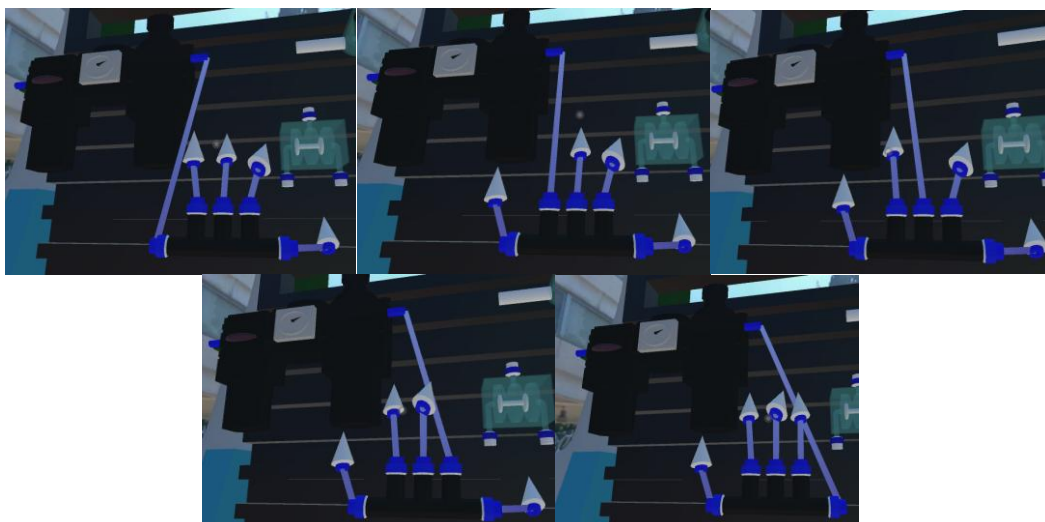


Ilustración 79: pruebas sin fuga del distribuidor

Como se observa en la ilustración 79, el distribuidor es capaz de recibir presión a través de cualquier conector y activar los demás conectores.

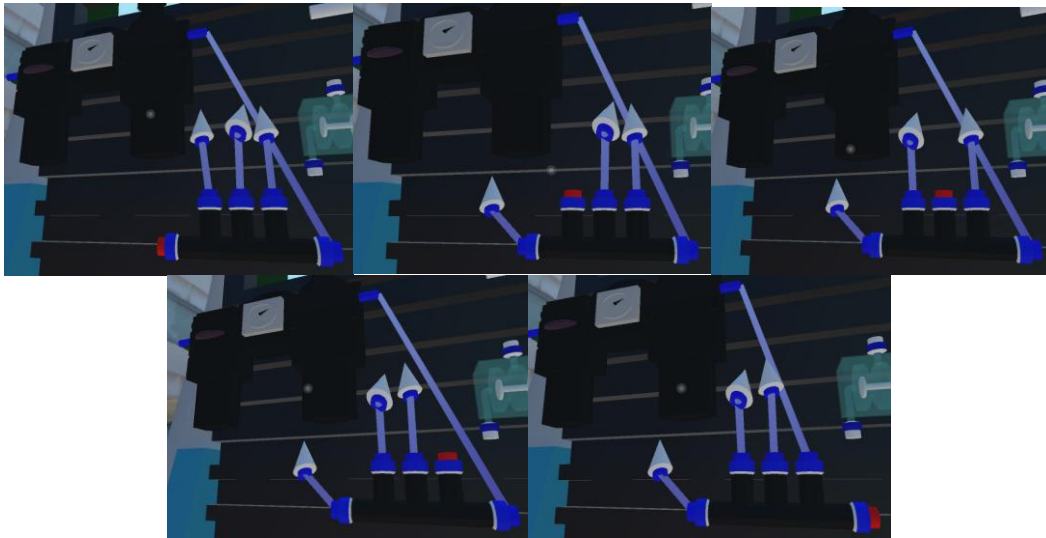


Ilustración 80: pruebas de fuga en el distribuidor

En la ilustración 80, se observa que la fuga se puede presentar en cualquier conector, con lo que se verifica el funcionamiento del distribuidor.

A continuación, se realizarán las pruebas de la válvula And. El objetivo es verificar el funcionamiento de la animación y la activación de la salida; para lo primero, se conectará cada entrada individualmente, lo que deberá activar la animación. Para lo segundo, se conectarán ambas entradas simultáneamente, para así activar la salida tanto en conexión como en fuga.

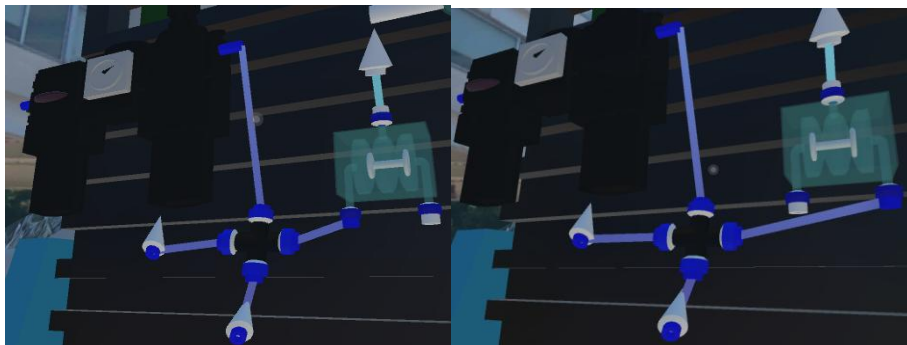


Ilustración 81: pruebas de la animación de la válvula And

Como se observa en la ilustración 81, la animación ocurre al activar la entrada izquierda, simbolizando la obstrucción del paso del aire. La animación igualmente ocurre cuando se activa la entrada izquierda, pero al lado contrario.



Ilustración 82: pruebas de la válvula And con salida activa

En la ilustración 82, se muestra la presencia de aire a la salida únicamente cuando ambas entradas están activas, cumpliendo con el funcionamiento lógico de la válvula. También es posible apreciar su funcionamiento en fuga, con la salida de color rojo al no existir conexión hacia el tapón. Con lo anterior, se valida el funcionamiento de la válvula And.

Finalmente, se realizará un proceso similar con la válvula Or, conectando cada entrada individualmente y luego de forma simultánea, primero con un tapón y luego en fuga. Si la válvula funciona adecuadamente, la salida estará activa en todos los casos.

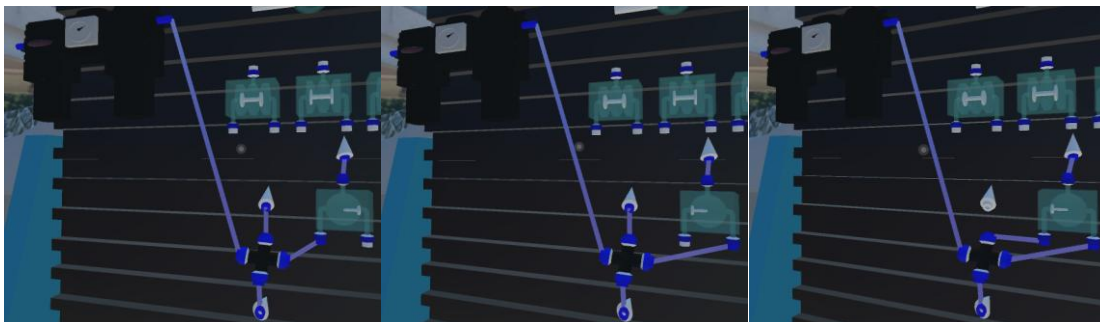


Ilustración 83: pruebas de la válvula Or con conexión a la salida

Como se observa en la ilustración 83, tanto la animación como la activación de la salida ocurren satisfactoriamente, obstruyendo la entrada opuesta y transmitiendo la presión.

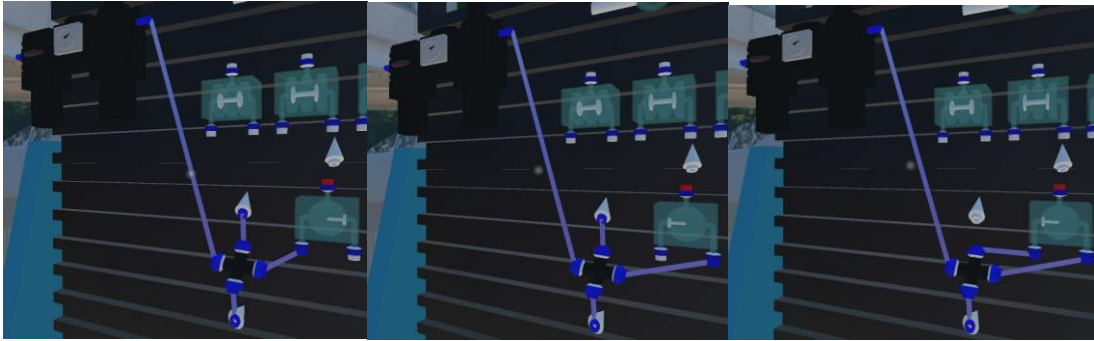


Ilustración 84: pruebas de la válvula Or con fuga en la salida

Al igual que el caso anterior, en la ilustración 84 se muestra que la animación y la activación de la salida ocurren cuando no hay conexión en la salida, provocando una fuga. Con las pruebas anteriores, se valida el funcionamiento de la válvula Or.

5.2 Pruebas de integración

Una vez comprobado el funcionamiento básico de los componentes nuevos, el objetivo es verificar su integración con los componentes originales, presentes en la mesa neumática desde la versión inicial.

Se realizarán las pruebas con circuitos sencillos para verificar condiciones de funcionamiento. Como primera prueba, se realizará la activación de un cilindro de simple efecto mediante una válvula And. El diagrama neumático es el siguiente:

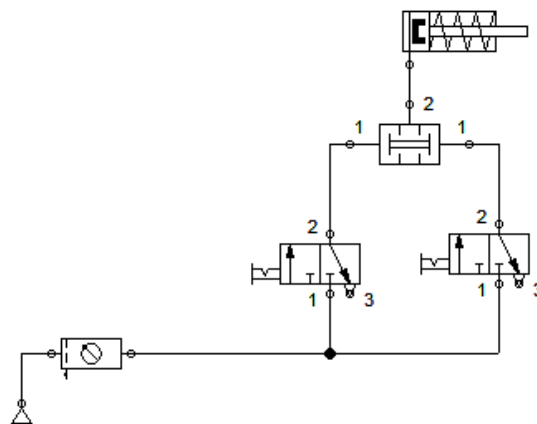


Ilustración 85: diagrama del circuito de la primera prueba de integración de la válvula And

Como se observa en el diagrama, ambos botones enclavados deben ser accionados simultáneamente para que el pistón de simple efecto se active. El circuito conectado en la mesa neumática virtual se muestra a continuación:

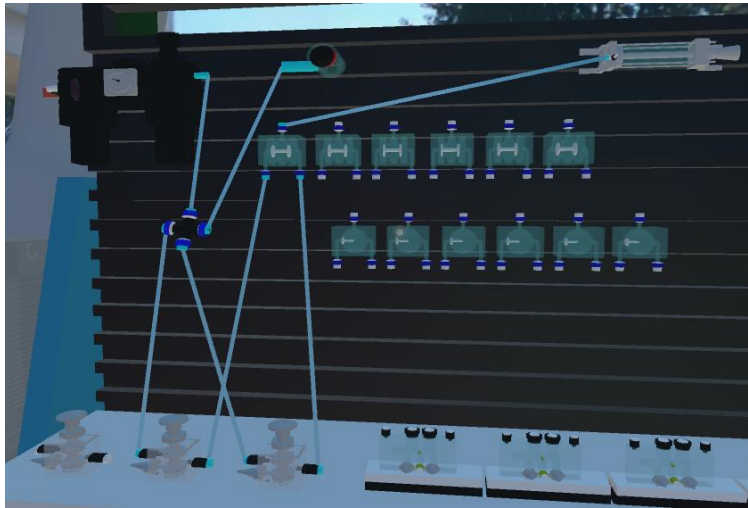


Ilustración 86: Conexión del circuito de la primera prueba de integración de la válvula And

Además, se utilizó un conector en X para la utilización del piloto neumático, así que esta prueba también servirá para validar el conector. Posteriormente, se activará la unidad de mantenimiento y un botón enclavado:



Ilustración 87: Accionamiento del botón izquierdo en la primera prueba de integración de la válvula And

Como se observa en la ilustración 87, tanto la unidad de mantenimiento como el piloto neumático señalan que existe presión en el sistema y las mangueras se tornan de color azul oscuro. Por otro lado, se observa la animación de la válvula And utilizada, desplazándose a la derecha y no hay paso de la presión hacia el cilindro de simple efecto.

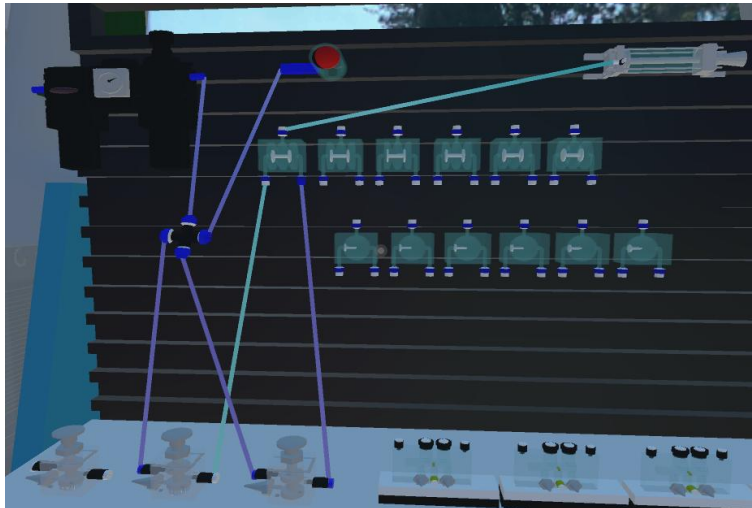


Ilustración 88: Accionamiento del botón derecho en la primera prueba de integración de la válvula And

Al accionar el botón derecho en la ilustración 88, la animación de la válvula And vuelve a accionarse, moviéndose al lado izquierdo e impidiendo el paso del aire hacia el cilindro nuevamente.

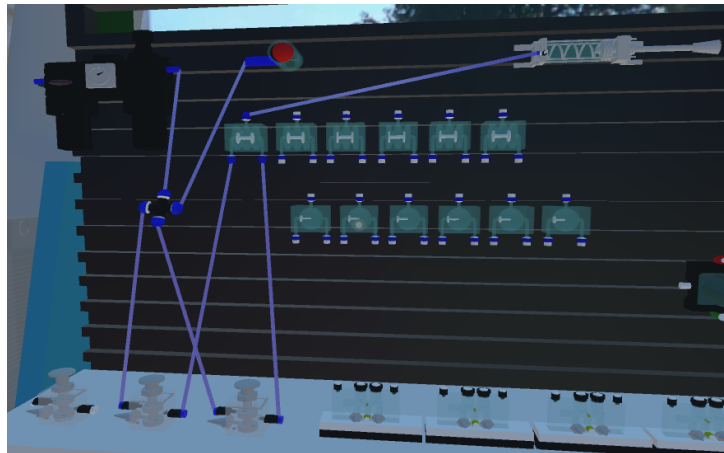


Ilustración 89: Accionamiento de la válvula And en la primera prueba de integración

Como se observa en la ilustración 89, al accionar ambos botones, la válvula And permite el paso del aire hacia el cilindro, accionándolo. En este caso, la animación no ocurre, debido a la igualación de la presión en ambos lados.

Para la segunda prueba, se utilizará un cilindro de doble efecto, una válvula 5/2 biestable accionada mediante la válvula And y un final de carrera. A continuación, se muestra el diagrama neumático:

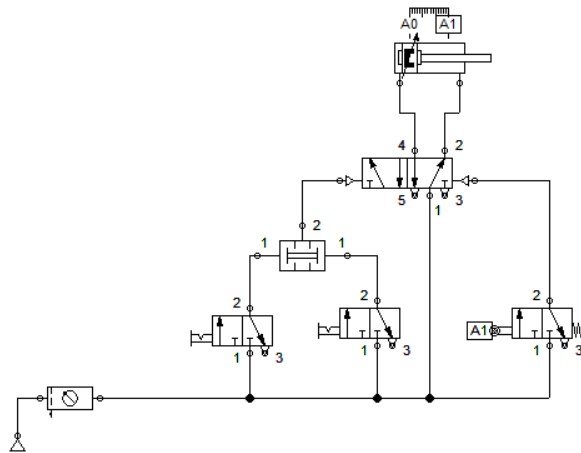


Ilustración 90: diagrama neumático de la segunda prueba de integración de la válvula And

Este circuito tiene el mismo funcionamiento que el circuito anterior, siendo necesario accionar ambos botones para extender el cilindro de doble efecto, que posteriormente regresará a su posición de reposo mediante la acción del final de carrera automáticamente cuando alguno de los dos botones sea desactivado. Se realizó el siguiente circuito en el laboratorio virtual:



Ilustración 91: circuito de la segunda prueba de integración de la válvula And

Se procede a realizar los mismos pasos que en la primera prueba de integración, accionando cada botón individual y simultáneamente, donde se obtuvo lo siguiente:

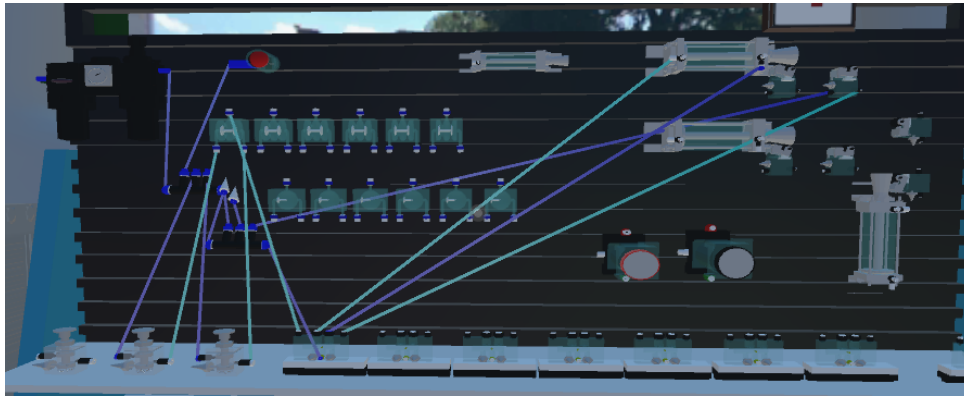


Ilustración 92: ningún botón accionado en la segunda prueba de integración de la válvula And

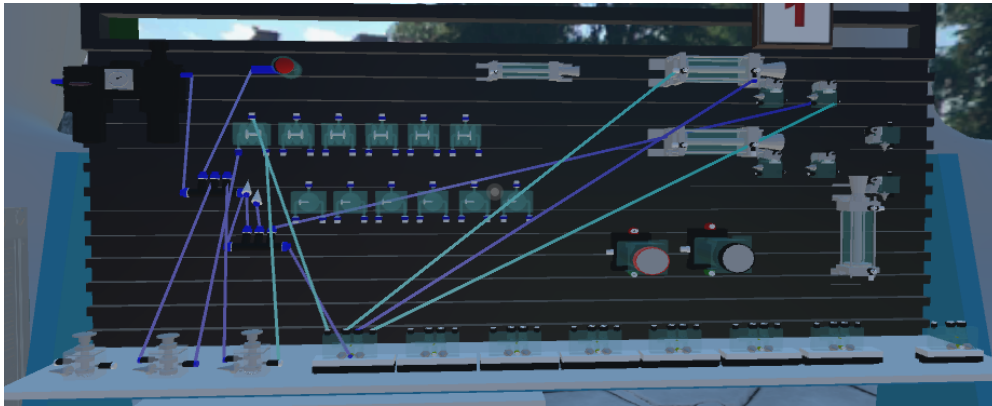


Ilustración 93: botón izquierdo accionado en la segunda prueba de integración de la válvula And

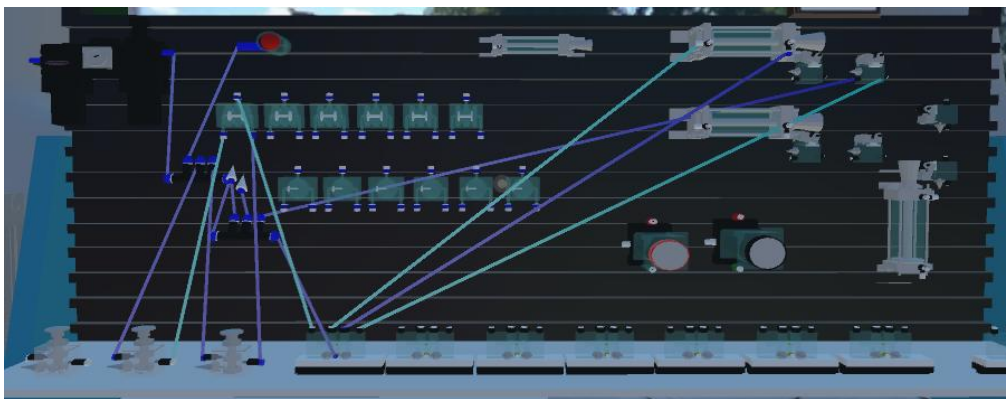


Ilustración 94: botón derecho accionado en la segunda prueba de integración de la válvula And

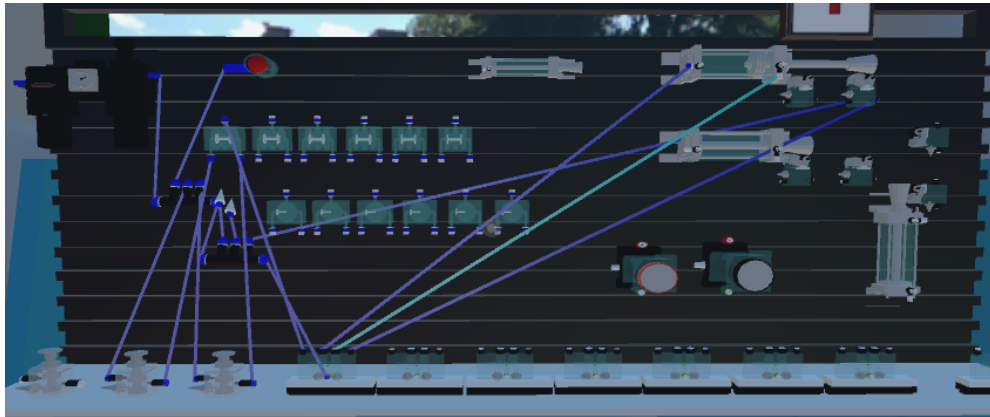


Ilustración 95: accionamiento del cilindro de doble efecto en la segunda prueba de integración de la válvula And

Como se observa en las imágenes, el circuito funciona adecuadamente, con la activación del cilindro de doble efecto únicamente cuando ambos botones enclavados son accionados simultáneamente y además, se utilizaron distribuidores y tapones. Con este resultado, se valida la integración de la válvula And, conectores en X, distribuidores y tapones en la mesa neumática.

Como siguiente punto, se realizarán las mismas pruebas con la válvula Or. A continuación se muestra el diagrama neumático:

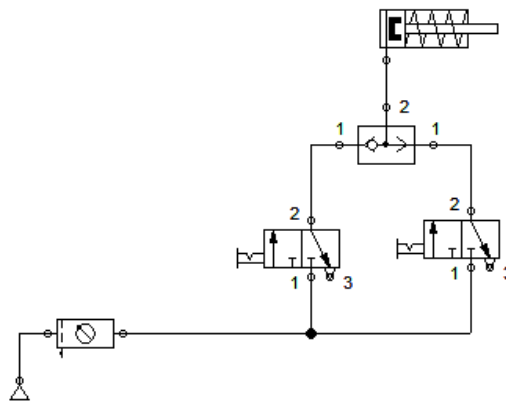


Ilustración 96: diagrama del circuito de la primera prueba de integración de la válvula Or

Como se observa en la ilustración 96, por lo menos uno de los botones enclavados debe ser accionado para que se active el cilindro de simple efecto. La conexión en el laboratorio virtual fue realizada de la siguiente manera:



Ilustración 97: circuito de la primera prueba de integración de la válvula Or

Al activar la unidad de mantenimiento y un botón enclavado, se activa el cilindro satisfactoriamente, sin importar cuál de los dos botones sea o si se accionan ambos a la vez y se desactiva únicamente cuando no se acciona ningún botón. Por otro lado, la animación también se ejecuta correctamente, obstruyendo la entrada opuesta.

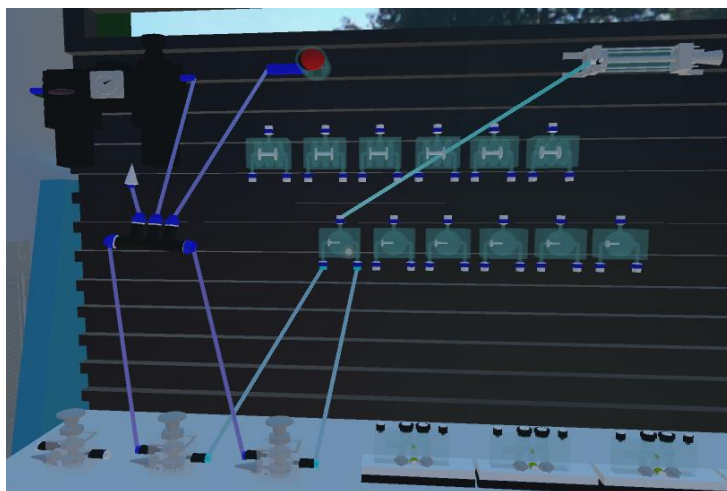


Ilustración 98: ningún botón accionado en la primera prueba de integración de la válvula Or

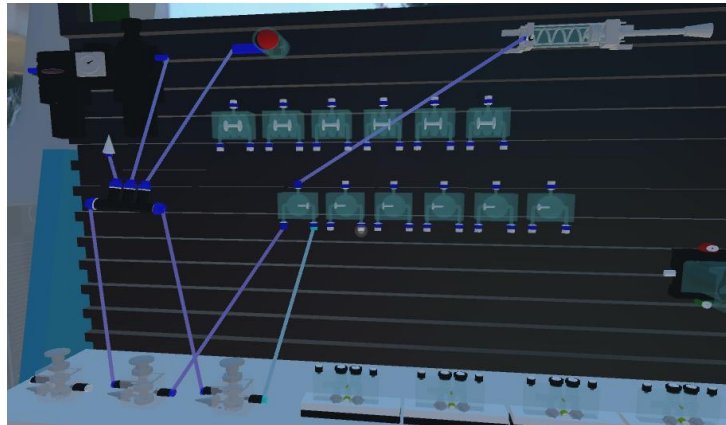


Ilustración 99: accionamiento del botón izquierdo en la primera prueba de integración de la válvula Or

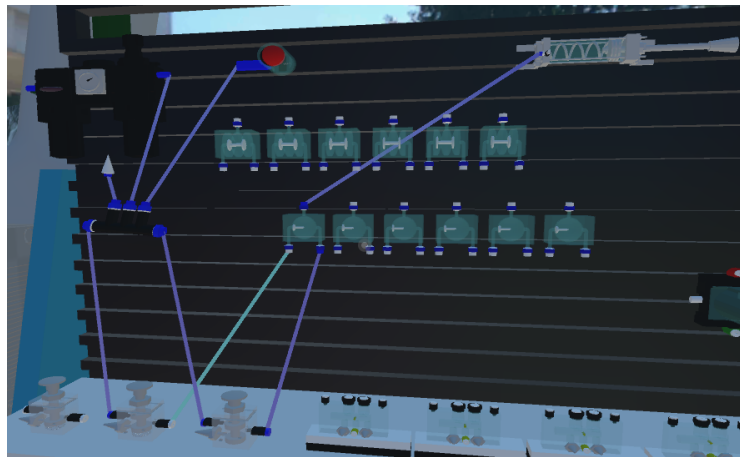


Ilustración 100: accionamiento del botón derecho en la primera prueba de integración de la válvula Or

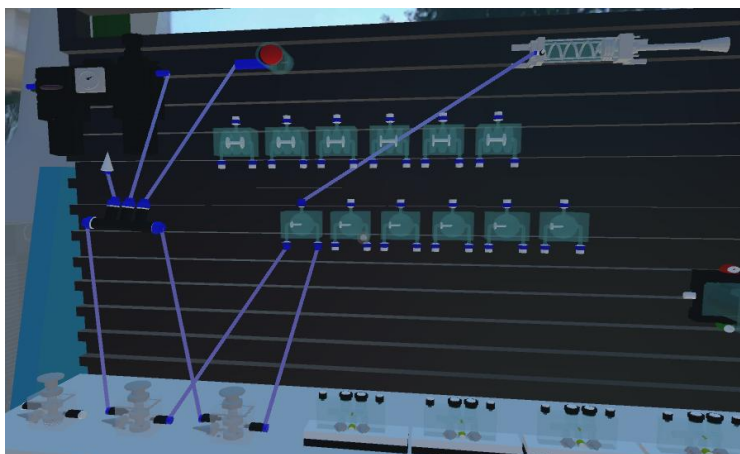


Ilustración 101: accionamiento de ambos botones en la primera prueba de integración de la válvula Or

Como siguiente paso, se realizará la misma prueba con el cilindro de doble efecto. El diagrama neumático se muestra a continuación:

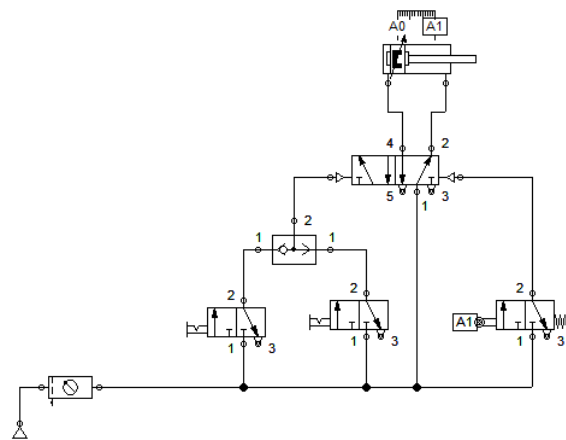


Ilustración 102: diagrama de la segunda prueba de integración de la válvula Or

El circuito conectado en la mesa virtual es el siguiente:



Ilustración 103: circuito de la segunda prueba de integración de la válvula Or

Se realizan los 4 casos de accionamiento de los botones enclavados:

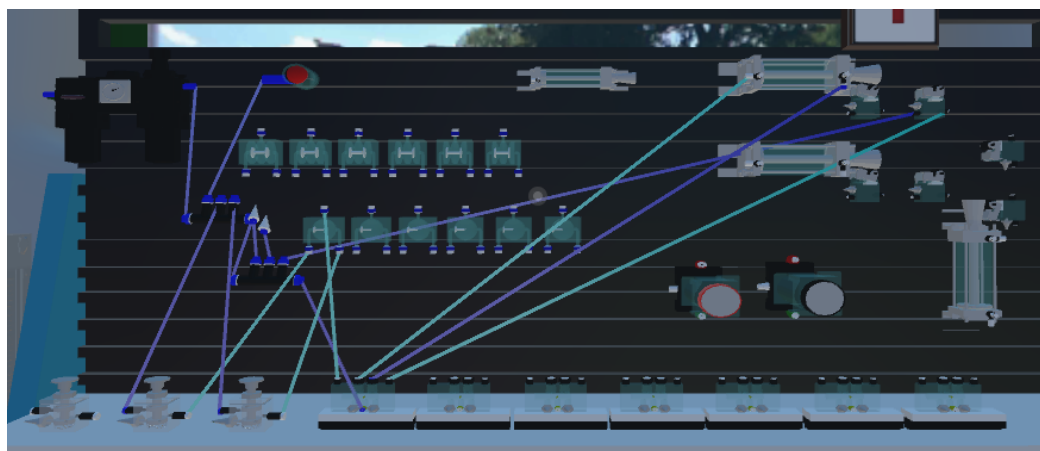


Ilustración 104: ningún botón accionado en la segunda prueba de integración de la válvula Or

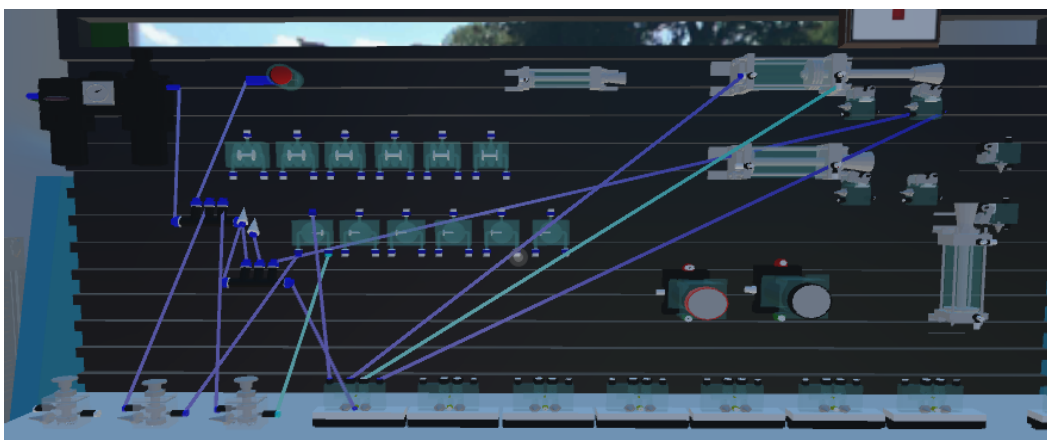


Ilustración 105: botón izquierdo accionado en la segunda prueba de integración de la válvula Or

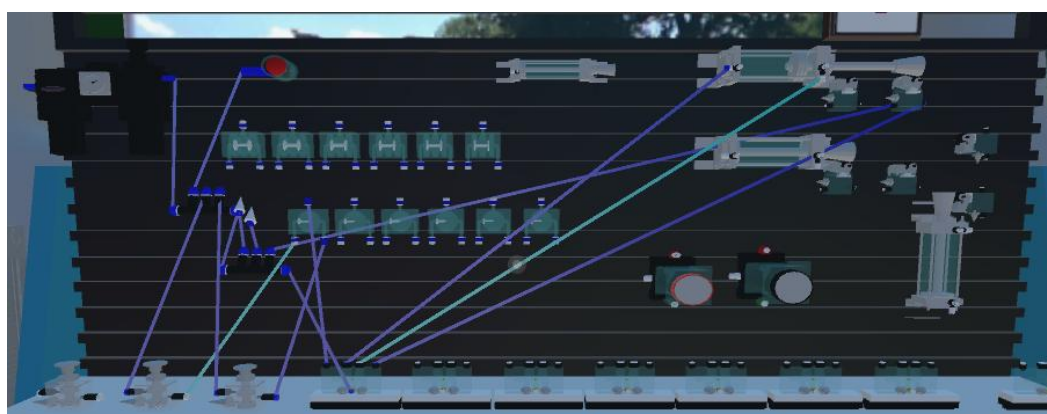


Ilustración 106: botón derecho accionado en la segunda prueba de integración de la válvula Or

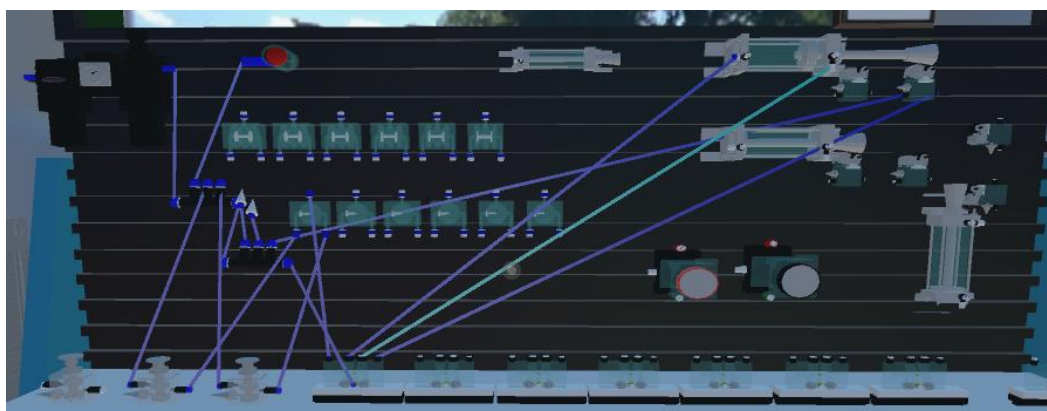


Ilustración 107: ambos botones accionados en la segunda prueba de integración de la válvula Or

Como se observa en las ilustraciones anteriores, la válvula Or funciona correctamente, accionando el cilindro de doble efecto con que alguno de los dos botones enclavados esté accionado, así como mostrando la animación correspondiente adecuadamente. Con

esto se valida la integración de la válvula Or en la mesa neumática y concluyen las pruebas de integración. No se consideró necesario realizar pruebas con los temporizadores ni la válvula 5/2 biestable porque son componentes funcionales desde una versión anterior a este proyecto y ya estaban integrados en la mesa neumática desde el principio.

5.3 Pruebas funcionales

Al saber que los componentes nuevos se integran perfectamente con los componentes originales, la última prueba constará de la conexión del circuito neumático que comprende la práctica 11, la cual hace uso de casi todos los componentes neumáticos de la mesa al mismo tiempo. Se realizará la siguiente secuencia neumática: A+ B+ B- B+ B- A- C+ C- con un temporizado de 3 segundos después de cada B+. Esta secuencia neumática corresponde a una máquina estampadora: el cilindro A se encarga de prensar la lámina de metal, mientras que el cilindro B realiza el estampado y el cilindro C mueve la lámina ya estampada para dar espacio a una nueva.

El diagrama estado – fase de la secuencia neumática es el siguiente:

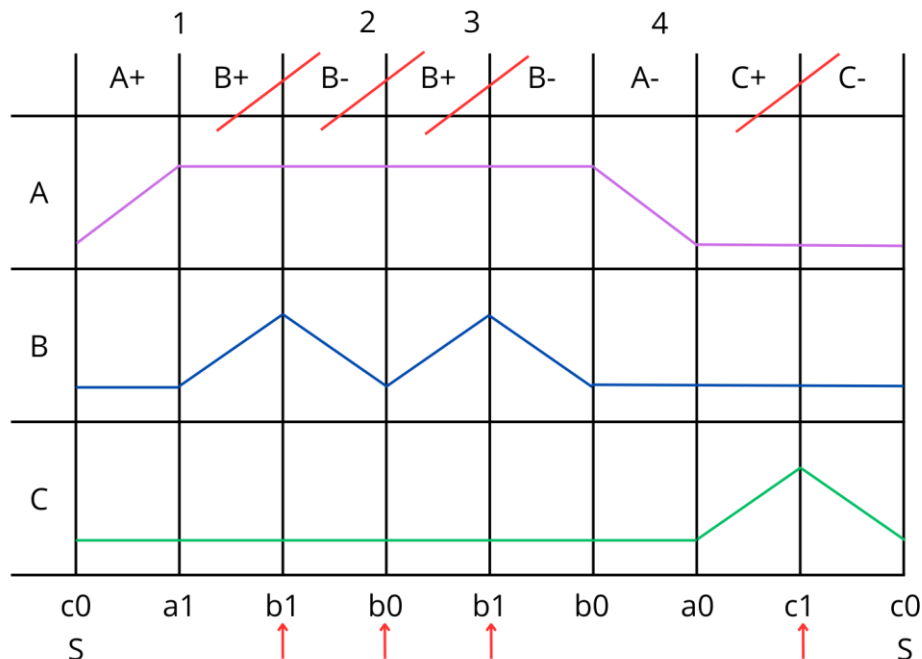


Ilustración 108: Diagrama estado - fase de la secuencia neumática de la práctica 11

En la ilustración 108, se establece la lógica para la elaboración del circuito neumático. Al haber entradas repetidas, se empleará el método en cascada para la conexión del circuito neumático, así que se utilizarán grupos, cuya condición es que no puede haber letras repetidas, así que lo óptimo es la utilización de 4 grupos. A continuación, se muestra el diagrama neumático realizado en FluidSim:

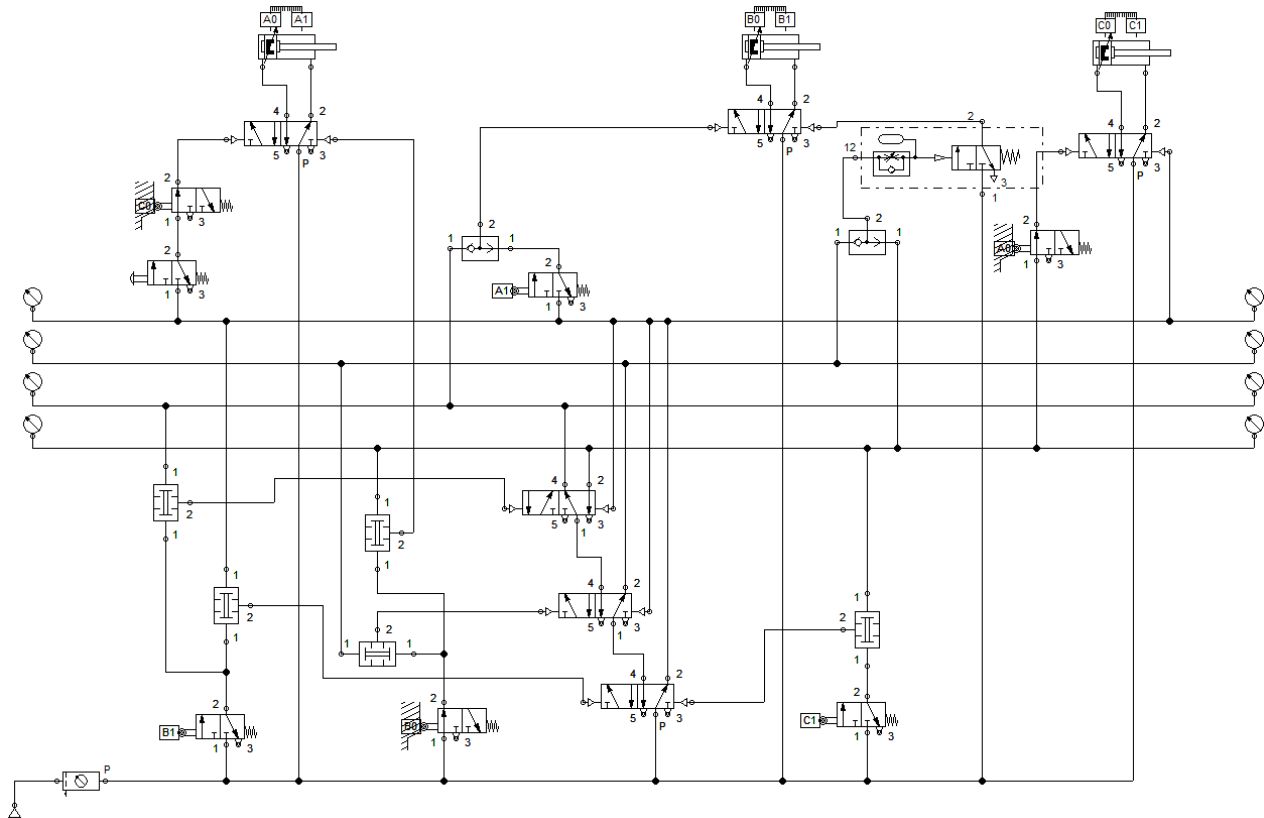


Ilustración 109: diagrama de conexiones del circuito de la práctica 11

Al tratarse de una secuencia que cuenta con repeticiones, se utilizan la mayoría de los componentes de la mesa neumática, incluyendo cilindros de doble efecto, válvulas 5/2 biestables, botón pulsador, finales de carrera, válvulas And, válvulas Or y varios tipos de conectores, por lo tanto se considera que es adecuado para la prueba funcional del laboratorio virtual y se procede con su conexión:

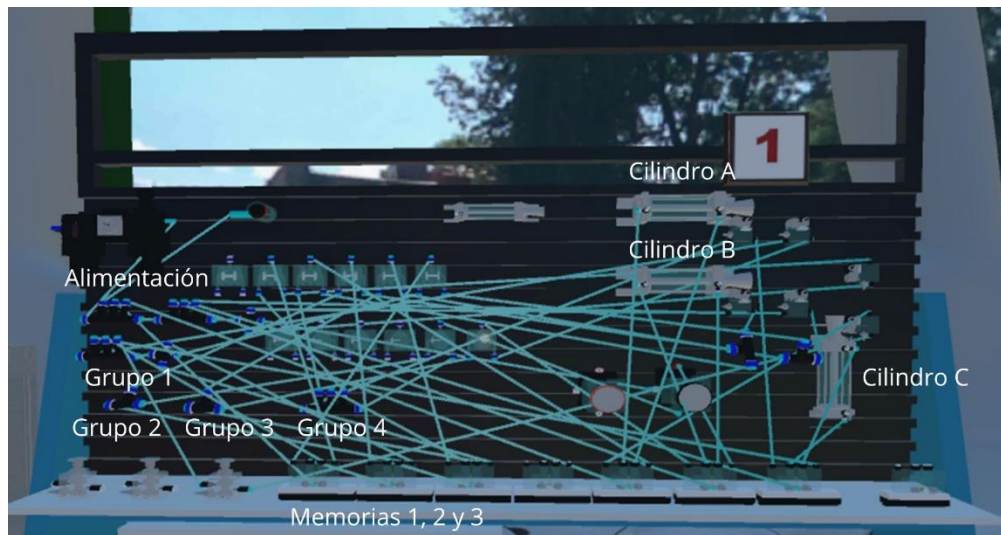


Ilustración 110: Práctica 11 conectada en el laboratorio virtual

Como se observa en la ilustración 110, se utilizaron los 3 cilindros de doble efecto, 6 memorias 5/2 biestables, el temporizador positivo, un botón enclavado, 5 válvulas And, 2 válvulas Or y casi todos los conectores y distribuidores.

Una vez teniendo el circuito conectado en la mesa neumática virtual, se procede con la simulación.

Para A+, es necesario que el grupo 1 tenga presión y se accione el botón enclavado:

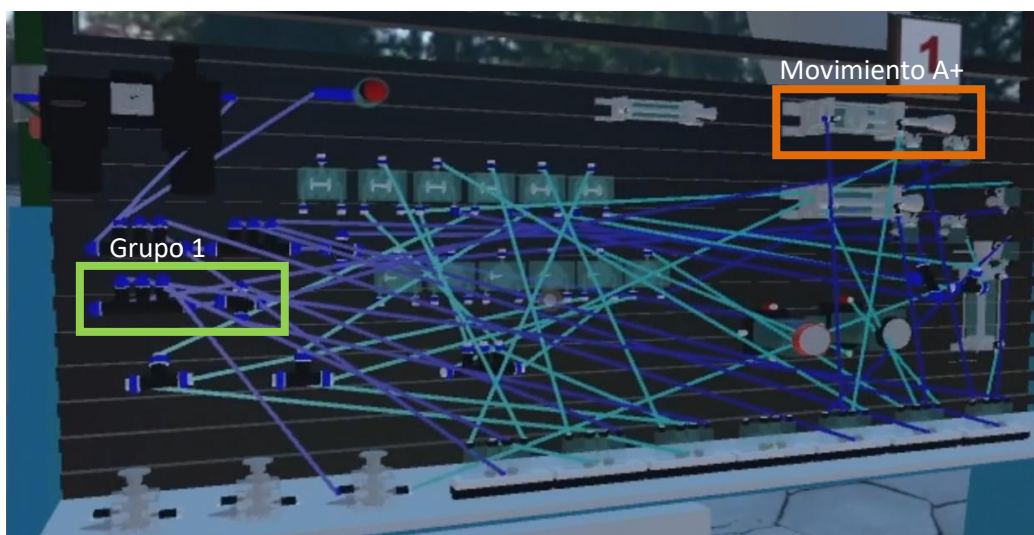


Ilustración 111: A+ en la prueba funcional

Al llegar a a1, se acciona el primer movimiento B+, manteniendo la presión en el grupo 1:



Ilustración 112: primer B+ en la prueba funcional

Cuando el cilindro B acciona b1, se produce el cambio de presión al grupo 2 y comienza el temporizado:



Ilustración 113: Accionamiento del grupo 2 en la prueba funcional

El temporizador positivo se encuentra programado para un conteo de 3 segundos, sin embargo, esto no es visualizable únicamente mediante imágenes.

Como siguiente paso, se genera el movimiento B-, seguido del cambio de presión al grupo 3:



Ilustración 114: primer B- en la prueba funcional



Ilustración 115: accionamiento del grupo 3 y segundo B+ en la prueba funcional

Al accionar b1 nuevamente, se produce el cambio de presión al grupo 4 y comienza el temporizado de 3 segundos.

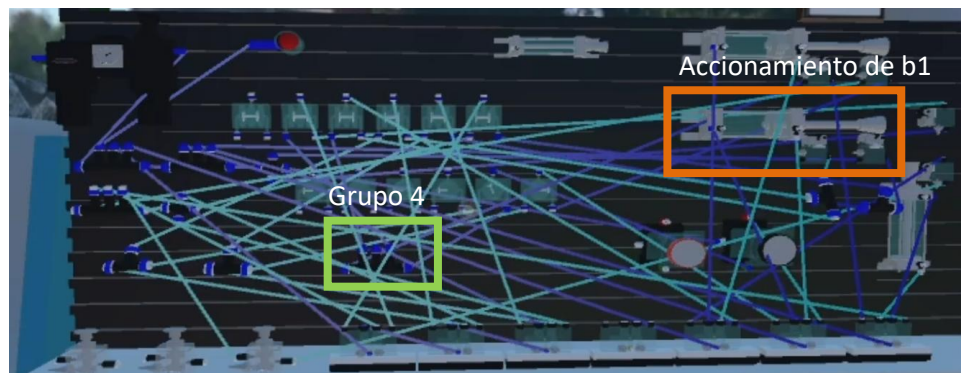


Ilustración 116: accionamiento del grupo 4 en la prueba funcional

Después del temporizado, nuevamente se realiza el movimiento B-:

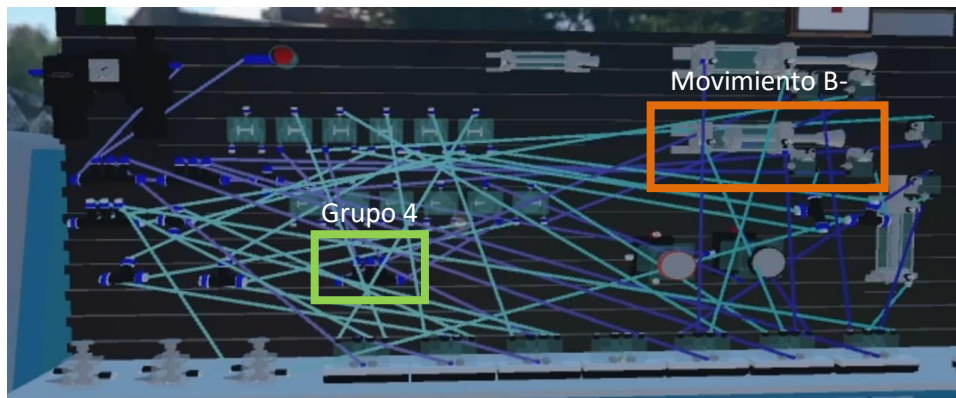


Ilustración 117: segundo B- en la prueba funcional

Al accionar b-, se inicia el movimiento A-:

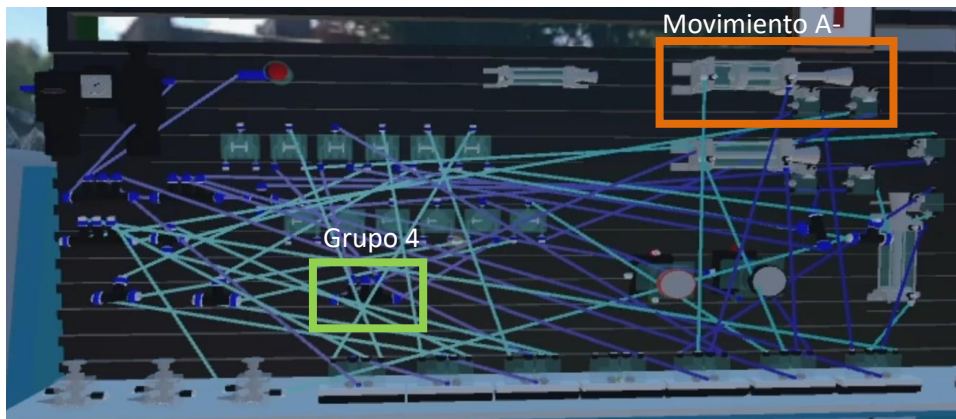


Ilustración 118: movimiento A- en la prueba funcional

Posteriormente, se acciona a0 y comienza el movimiento del cilindro C:

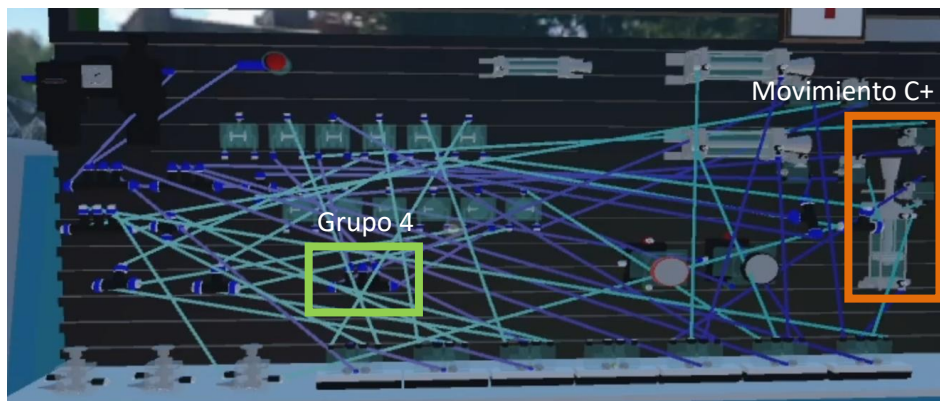


Ilustración 119: movimiento C+ en la prueba funcional

Finalmente, se acciona c1, comenzando el movimiento C- y realizando nuevamente el cambio al grupo 1 al accionar c0:



Ilustración 120: movimiento C- y accionamiento del grupo 1 en la prueba funcional

A partir de este punto, hemos regresado a la posición inicial y es necesario accionar el botón enclavado para repetir la secuencia. Durante la prueba, se accionó el circuito 10 veces, funcionando perfectamente en cada una de ellas.

Por lo tanto, al haber ejecutado con éxito la simulación del circuito neumático perteneciente a la práctica 11, se valida el funcionamiento de todos los componentes en conjunto.

Como última prueba, se realizó la conexión de varios usuarios simultáneamente a la misma instancia del laboratorio en la plataforma de VRChat:



Ilustración 121: prueba multijugador del laboratorio virtual

En esta prueba, se observó que todos los usuarios visualizaron el mismo circuito funcionando simultáneamente.

6 Resultados y análisis

Como se demostró en el capítulo anterior, el laboratorio ya tiene la capacidad de realizar todas las prácticas de neumática, sin embargo, en este capítulo se analizará si se cumplieron con las especificaciones de diseño del capítulo 3.1 para verificar si el rediseño es adecuado.

Para corroborar las especificaciones, es necesario abrir el laboratorio desde la plataforma de VRChat, donde estará disponible para usarlo en línea. El laboratorio en la plataforma se ve de la siguiente manera:

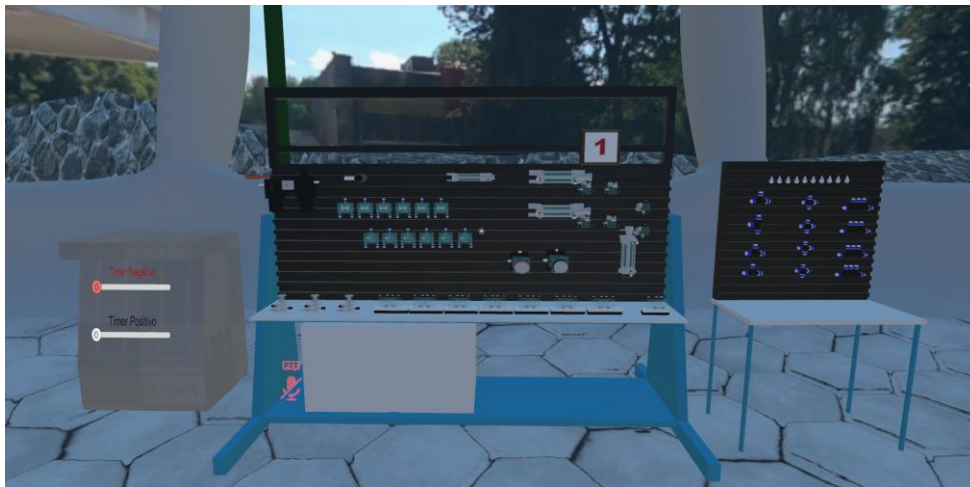


Ilustración 122: Laboratorio virtual en VRChat

Con base en esta versión final del laboratorio, podemos confirmar el cumplimiento de algunas especificaciones de diseño.

Como primer punto, se debe comprobar la **cantidad de componentes**. En la mesa virtual contamos con una unidad de mantenimiento, un piloto neumático, seis válvulas And, seis válvulas Or, tres botones enclavados, siete válvulas 5/2 biestables, una válvula 5/2 monoestable, un temporizador negativo, un temporizador positivo, un cilindro de simple efecto, tres cilindros de doble efecto y seis finales de carrera.

Por otro lado, los componentes neumáticos de la mesa tienen un material transparente, lo que permite la **visualización** del funcionamiento de sus componentes internos que, a su vez, son de color brillante para facilitar su observación.

Con respecto a las **dimensiones**, todos los componentes neumáticos fueron redimensionados para facilitar las interacciones y permitir la correcta apreciación de sus componentes internos y animaciones a una distancia que permita la observación de la mesa completa en pantalla.

Otro aspecto importante es el **nivel de fluidez** que tiene el laboratorio. Existe una gran diferencia en el rendimiento del laboratorio durante la simulación, perdiendo una considerable cantidad de FPS al activar la unidad de mantenimiento.

Al ser ejecutado en computadora, fácilmente alcanza un mínimo de 60 FPS con los requisitos mínimos de la aplicación de VRChat y la unidad de mantenimiento activa. Esto a veces no se cumple con un teléfono Android o con el Meta Quest 2 debido a su limitada capacidad de procesamiento, como se vará a continuación.

En el caso del teléfono Android, los requerimientos mínimos de VRChat únicamente especifican que debe tener mínimo el sistema operativo Android 10 y 6 GB de memoria RAM, es decir, se requiere un dispositivo de gama media o superior para que la aplicación se ejecute adecuadamente.

El laboratorio fue probado con un Xiaomi Poco F6, un teléfono Android de gama media, con un procesador Qualcomm Snapdragon 8s Gen 3 que cuenta con un procesador gráfico Qualcomm Adreno 735, sistema operativo Android 14 y 8 GB de memoria RAM.

Previo a la activación de la unidad de mantenimiento, el dispositivo alcanzó un mínimo de 72 FPS:



Ilustración 123: FPS del teléfono Android antes de la activación de la unidad de mantenimiento

Sin embargo, al activar la unidad de mantenimiento, esto se redujo a un mínimo de 51 FPS, perdiendo cerca del 30% del rendimiento:



Ilustración 124: FPS del teléfono Android después de la activación de la unidad de mantenimiento

En el caso del visor Meta Quest 2, sin la unidad de mantenimiento activa, se obtiene un mínimo de 45 FPS, con 52 FPS estables:



Ilustración 125: FPS del visor Meta Quest 2 sin activar la unidad de mantenimiento

Por otro lado, al activar la unidad de mantenimiento, se observa un mínimo de 24 FPS, con 27 FPS estables, perdiendo un 48% del rendimiento.



Ilustración 126: FPS del visor Meta Quest 2 al activar la unidad de mantenimiento

Como siguiente punto, la **distancia** de interacción con los componentes es exclusivamente al interactuar con el collider del objeto, sin importar la plataforma en la que nos encontremos. En el caso de una computadora, es necesario hacer coincidir el puntero central con el collider y luego utilizar el botón de interacción al ver el indicador de uso.



Ilustración 127: interacción en computadora

Al acceder en un dispositivo Android, el usuario lo debe tocar con el dedo en el punto donde se encuentra el collider del objeto y, en el Meta Quest 2, el usuario debe acercar la mano hasta coincidir con el collider y posteriormente utilizar el botón de interacción al ver el indicador de uso.

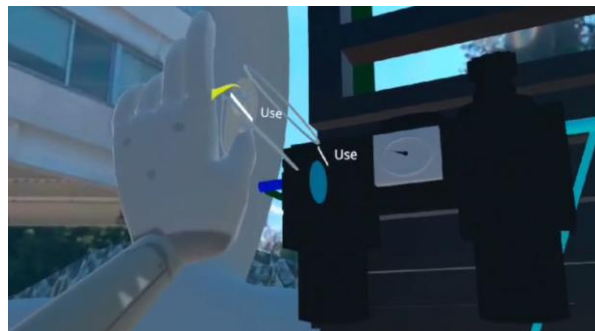


Ilustración 128: interacción en el Meta Quest 2

En el caso de la **simpleza**, el laboratorio cuenta con pocos controles que dependen de la plataforma. Al acceder por computadora, el desplazamiento del usuario se realiza mediante controles conocidos: con la tecla W se desplaza hacia adelante, con S hacia atrás, con A hacia la izquierda y con D hacia la derecha; mientras que la rotación de la cámara se realiza mediante el movimiento del ratón. El único botón de interacción es el click izquierdo del ratón y se utiliza para interactuar con los racores o para desplazar conectores y tapones.



Ilustración 129: controles en computadora

Los controles para Android se componen de un joystick del lado izquierdo para el movimiento, mientras que la rotación de la cámara se realiza mediante el arrastre de un dedo en el lado derecho de la pantalla. Para la interacción con los componentes, únicamente se deben de tocar por un instante cuando estén en pantalla.

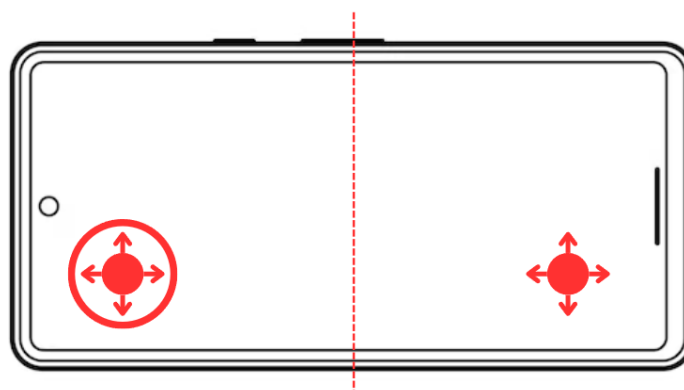


Ilustración 130: controles en Android

En cuanto al visor Meta Quest 2, el movimiento puede realizarse de dos maneras. La primera es mediante el uso de los joysticks; el izquierdo sirve para el desplazamiento mientras que el derecho sirve para la rotación de la cámara. Pero, al ser un dispositivo de realidad virtual, también puede seguir los movimientos del usuario, es decir, girar la cámara cuando el usuario gira la cabeza o moverse en el laboratorio cuando el usuario camina o se mueve. Además, cada mano tiene su propio botón de interacción, mapeado en el gatillo frontal de los controles, y otro para el desplazamiento de objetos, que es el botón que se encuentra en el dedo medio.



Ilustración 131: controles en el Meta Quest 2

Para nuestra especificación de diseño, únicamente se tomarán en cuenta los controles necesarios para las interacciones, debido a que los controles para movimiento siempre deben estar presentes en cualquier entorno de realidad virtual. Con base en lo anterior, en computadora y Android únicamente es necesario un botón para interactuar, mientras que el Meta Quest 2, se requiere de dos botones.

Posteriormente, para lograr **similitud** entre la mesa real y la virtual, se procuró colocar los componentes en la misma ubicación, aunque hubo algunas excepciones debidas a la implementación virtual de los componentes. En general, los modelos de los componentes neumáticos son diferentes a los componentes neumáticos reales, así que no fue posible replicar la apariencia de la mesa neumática en su totalidad. Aun así, la disposición de la mesa virtual sí tiene cierta similitud con la real.

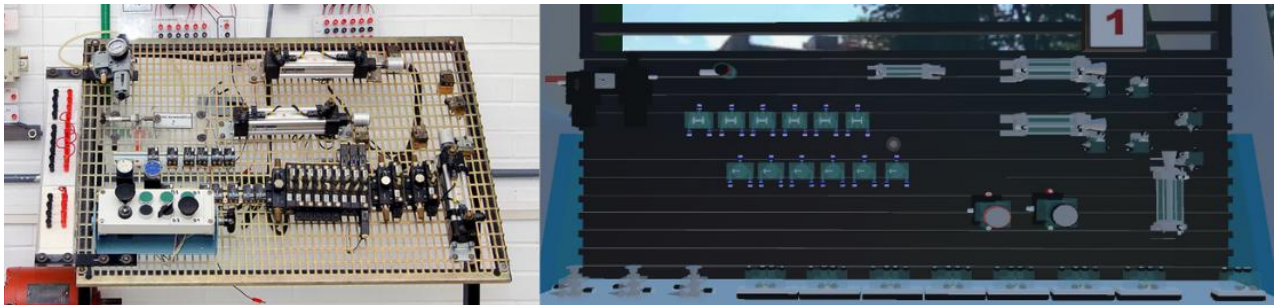


Ilustración 132: mesa real y mesa virtual

Como siguiente punto, la plataforma de VRChat permite la conexión simultánea de varios usuarios a una misma instancia del laboratorio e, incluso, la creación de varias instancias simultáneas, creando varios entornos **multijugador**.

En las pruebas se detectó que todos los usuarios podían observar el mismo circuito funcionando de la misma manera, sin embargo, ocurrían algunos errores de

sincronización cuando varios usuarios interactuaban con los componentes al mismo tiempo, ocasionando discrepancia de lo que observaba cada usuario. Estos errores pueden deberse tanto a la cantidad de ping como al código mismo. Como solución, se sugiere que se conecten varios usuarios al mismo tiempo, pero únicamente uno de ellos interactúe con la mesa neumática mientras los demás observan.

Así que, una vez habiendo descrito los resultados obtenidos, se comparan con las especificaciones del capítulo 3.1:

- Especificaciones de funcionalidad

Tabla 12: Cantidad de componentes

Componente	Valor definido	Resultado obtenido
Unidad de mantenimiento	1	1
Piloto neumático	1	1
Botón enclavado	3	3
Cilindro de simple efecto	1	1
Cilindro de doble efecto	3	3
Final de carrera	6	6
Temporizador positivo	1	1
Temporizador negativo	1	1
Válvula 5/2 biestable	7	7
Válvula 5/2 monoestable	1	1
Válvula And	6	6
Válvula Or	6	6

- Especificaciones independientes de la plataforma

Tabla 13: especificaciones independientes de la plataforma

Especificación	Valor definido	Resultado obtenido
Visualización	Transparente	Transparente
Dimensiones	Visibles / No visibles	Visibles
Distancia	En collider	En collider
Sin interferencia	Colliders separados	Colliders separados
Similitud	Relacionable / No relacionable	Similar
Multijugador	≥ 2 usuarios simultáneos	4 usuarios simultáneos

- Especificaciones dependientes de la plataforma

Tabla 14: especificaciones dependientes de la plataforma

Plataforma	Especificación	Valor definido	Resultado obtenido
Computadora	Fluidez	≥ 24 FPS	60 FPS
Celular Android			51 FPS
Meta Quest 2			24 FPS
Computadora	Simpleza	≤ 2 controles	1 control
Celular Android			1 control
Meta Quest 2			2 controles

7 Conclusión

En este trabajo tuvo como objetivo el rediseño del laboratorio virtual de Automatización Industrial con base en las necesidades de los docentes que imparten la materia, mediante el uso de tecnologías de realidad virtual aplicada a la educación.

Con base en los resultados de las pruebas, este rediseño cumple con las necesidades identificadas, cubriendo los requerimientos de diseño establecidos, quedando completamente funcional, con buena capacidad de visualización, utilizando controles sencillos y permitiendo a varios usuarios conectarse al mismo tiempo a una misma instancia del laboratorio.

En cuanto a la inmersión de la realidad virtual, este entorno comprende los sentidos de la vista y el oído con imágenes, gráficos y sonidos, generando una experiencia lo suficientemente inmersiva para realizar las prácticas de manera satisfactoria. Para mayor inmersividad, podría considerarse la estimulación del sentido del tacto mediante retroalimentación háptica en futuras versiones.

El entorno virtual fue desarrollado de tal forma que el usuario siempre esté en el laboratorio, sin posibilidad de salirse, con una sola mesa neumática y los componentes necesarios para su operación. Las adecuaciones realizadas fueron basadas en la correcta visualización de los componentes y el espaciado entre interacciones, ocasionando una aparente diferencia visual entre la mesa real y la virtual. A pesar de ello, los componentes fueron colocados en posiciones similares, facilitando la capacidad de relacionar los circuitos de la mesa virtual con los de la mesa real.

Por otro lado, la implementación de la plataforma de VRChat posibilita la interacción de varios usuarios con el laboratorio, generando diferentes instancias. Una brigada de laboratorio se compone de dos alumnos y ahora será posible que los dos entren al

mismo tiempo al laboratorio virtual para realizar las prácticas de la misma forma que en el laboratorio real. Aún es necesario mejorar la sincronización al interactuar varios usuarios al mismo tiempo con la mesa neumática, pero funciona correctamente si las interacciones se realizan una por una, mostrando el mismo resultado para todos los usuarios conectados.

Con todo lo anterior, hasta el momento se cuenta con un prototipo funcional que cumple con las necesidades básicas encontradas hasta el momento. Sin embargo, este es un proyecto que aún tiene mucho por delante para poder implementarse adecuadamente con los alumnos de la Facultad. Se deben hacer algunas modificaciones y agregar características adicionales que no afectan el funcionamiento central obtenido para realizar pruebas con usuarios reales, donde se comprobará si este concepto realmente es capaz de apoyar en su formación profesional.

Finalmente, es necesario realizar una revisión del código. Los dispositivos más limitados encontraron dificultades al ejecutar la simulación y, a pesar de superar el mínimo establecido en este trabajo, no es suficiente para su implementación final. En el siguiente capítulo, hablaré del trabajo que queda pendiente para futuras versiones.

8 Trabajo a futuro

A pesar de que el rediseño resultó ser correcto, aún es necesario realizar algunos ajustes para mejorar la experiencia del usuario dentro del laboratorio, que es funcional, pero aún es una versión alfa del objetivo que se quiere alcanzar.

Todo el trabajo realizado para este escrito corresponde a un proyecto que ya había sido iniciado por otros alumnos, y también será continuado por otros alumnos de la Facultad de Ingeniería en el futuro, así que, en este último capítulo, haré algunas mejoras pendientes que ayudarán a generar la primera versión oficial que pueda ser implementada en apoyo a la enseñanza de la materia de Automatización Industrial.

Dentro de los principales cambios que hay que realizar, encontramos los problemas de rendimiento y características que ayudarán a aproximar aún más la experiencia virtual a la real.

8.1 Optimización

Como se vio anteriormente, el laboratorio mantiene una alta tasa de FPS cuando la unidad de mantenimiento está desactivada, es decir, no se está ejecutando ninguna de las funciones de los componentes neumáticos. Esto nos indica que el rendimiento gráfico del laboratorio es adecuado, contando con modelos low – poly.

Sin embargo, al activarla, se pierde cerca del 30% del rendimiento y es debido a la lógica mediante la cual fue programado, que afecta principalmente el rendimiento de la CPU. El código funciona, pudiendo simular todas las prácticas adecuadamente, pero no está optimizado completamente para la potencia de procesamiento que ofrecen los celulares y visores; idealmente, debería ser una experiencia por encima de 60 FPS para evitar mareos y tener una calidad de visualización adecuada, así que expondré a continuación algunas mejoras y buenas prácticas a tomar en cuenta para futuras iteraciones:

- El código actual se encuentra casi completamente dentro del script *ManValv*, que contiene todas las funciones de los componentes neumáticos. Como buena práctica, se recomienda **separar cada función en un script diferente** y únicamente dejar la lógica del funcionamiento de la mesa neumática en este script. Con esto, será más sencillo realizar cambios en componentes específicos en el futuro en caso de que se encuentre alguna falla o se requiera cambiar alguna característica de algún componente en específico.
- Modificar el script *ConQuien*, debido a que consume muchos recursos de procesamiento. Este script selecciona un racor y verifica con todos los demás racores, uno por uno, si está conectado, y esto sucede por cada uno que tenga una conexión. Como sugerencia, utilizar una matriz de $n \times 2$ para **registrar los pares de racores conectados**; esto es posible porque cada racor cuenta con un número único que el código ya extrae y únicamente es necesario programar este pequeño código para mejorar significativamente el rendimiento del laboratorio.
- **Desactivar los componentes que no se utilicen**, por ejemplo, utilizando condicionales al invocar las funciones para evitar que se ejecuten sus códigos cuando la unidad de mantenimiento sea activada, nulificando su impacto en otros circuitos.
- Mejorar la **sincronización de interacciones simultáneas** de varios usuarios con la mesa neumática. Este es un tema de estudio para futuras versiones del laboratorio.

8.2 Calidad de vida (QOL)

La calidad de vida en un videojuego se refiere a cambios o mejoras hechas al su diseño o mecánicas para mejorar la experiencia del usuario sin alterar la jugabilidad. En el caso del laboratorio, he identificado varias mejoras de este tipo que podrían simplificar significativamente su uso, sin alterar su funcionalidad.

- Al haber conectado un circuito o movido los conectores de su lugar, es necesario deshacer las conexiones y regresar todo a su lugar manualmente, así que, en caso de requerir reiniciar la mesa a su estado original, es necesario salirse del laboratorio y cargar una nueva instancia en VRChat. Se recomienda agregar un **botón de reinicio** a un lado de la mesa neumática que regrese todo a su estado inicial, incluyendo la ubicación de los conectores, conexiones realizadas y animaciones de todos los componentes neumáticos.
- Me sucedió muchas veces que ya había conectado un circuito, pero al iniciar la simulación, resultó que faltaba alguna conexión y ocurría una fuga. Al cerrar la unidad de mantenimiento, corregía los errores de conexión e iniciaba la simulación de nuevo, para darme cuenta que algunos de los cilindros de doble efecto estaban en una posición distinta a la inicial, impidiendo que el circuito funcionara, así que muchas veces fue necesario regresarlos mediante la unidad de mantenimiento o reiniciar por completo el laboratorio y tener que conectar todo de nuevo. Para futuras iteraciones de este laboratorio, se recomienda agregar **botones de posición** al lado de estos actuadores para colocarlos en la posición deseada, ya sea la de reposo o trabajo, para evitar este tipo de situaciones y facilitar la conexión de circuitos neumáticos que inicien con algún cilindro de doble efecto en posición de trabajo.
- Muchas veces, al acomodar los conectores, no quedan en la posición deseada y sus interacciones pueden verse afectadas por el modelo de la mesa neumática, ocasionando que se deba reiniciar el laboratorio para poder volverlos a colocar. Se recomienda agregar **puntos de anclaje** en la mesa para estos conectores, para que los usuarios tengan un espacio de trabajo con mayor orden y el uso de estos conectores sea más ágil.

8.3 Características adicionales

Estas características se utilizarían para aproximar más la experiencia de uso del laboratorio virtual a la realidad en el laboratorio de la materia. En este caso, se encontró una posible mejora para las prácticas más complejas que involucran memorias neumáticas y grupos de presión.

En el laboratorio existen **mangueras de diferentes colores**, que sirven para poder diferenciar los distintos grupos de presión que se tengan en un circuito dado. En su versión actual, el laboratorio está fuertemente ligado al color azul oscuro de los conectores para funcionar, sin embargo, se puede implementar un cambio de color únicamente para el Line Renderer mediante un botón de selección de color a un lado de la mesa, y también habría que modificar el cambio de color que ocurre cuando reciben presión.

Como segundo punto, para aumentar la inmersividad del laboratorio, podría utilizarse la función **háptica** de los controles del Meta Quest 2, generando vibración al presionar los botones o al conectar alguna manguera, por ejemplo. Este punto es meramente una opinión, ya que no fue estipulada esta necesidad por parte de los docentes que imparten la materia.

Aplicando estos cambios en el laboratorio, la experiencia del usuario mejoraría de manera importante y se simplificaría bastante su uso, con lo que, en mi opinión, se podría tener la primera versión oficial para realizar pruebas con alumnos de la Facultad que estén cursando la materia.

Referencias

- [1] J. Llamas, «Realidad virtual,» 28 octubre 2022. [En línea]. Available: <https://economipedia.com/definiciones/realidad-virtual.html>.
- [2] Masatami, «Realidad virtual,» 13 julio 2024. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Realidad_virtual.
- [3] D. Levis, «¿Qué es la realidad virtual?,» 2006. [En línea]. Available: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/30471870/que_es_rv-libre.pdf?1391848087=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DQue_es_la_realidad_virtual.pdf&Expires=1722371699&Signature=dW52OZrJa4k53vcDLB7b~1f2U72U4BN0mzKnluBVGZqcYORd~5DVIwNXBfCQsaNfA3.
- [4] Realidad en Aumento, «Historia de la realidad virtual: cómo evolucionó esta tecnología,» 2024. [En línea]. Available: <https://realidadenaumento.es/historia-de-la-realidad-virtual/>.
- [5] Mundo Virtual, «¿Qué es la realidad virtual?,» 2016. [En línea]. Available: <https://mundo-virtual.com/que-es-la-realidad-virtual/>.
- [6] Proyecto IDIS, «Sensorama | IDIS,» 2014. [En línea]. Available: https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=cfbx1nn2&id=2997B45BAAC218F81AEC1FB7948A221C686B6183&thid=OIP.cfbx1nn2BOAtFfu0HdM_pwHaKB&mediaurl=https%3a%2f%2fh.bing.com%2fth%2fid%2fR.71f6f1d679f604e02d15fbb41dd33fa7%3frik%3dg2FraBwiipS3Hw%26riu%3.
- [7] Medium, «Pygmalion's Spectacles,» 2018. [En línea]. Available: https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=StwAC4UQ&id=894C4B6C1746C24D93751E4028D9E0CDBD20F649&thid=OIP.StwAC4UQKOQgGJmKgA01ogHaEu&mediaurl=https%3a%2f%2fmiro.medium.com%2fmax%2f565%2f1*fEHifqezq12Pq_tLse72w.png&cdnurl=https%3a%2f%2fth.bing.c.
- [8] Wikipedia, «Sensorama,» 9 marzo 2024. [En línea]. Available: <https://es.wikipedia.org/wiki/Sensorama>.
- [9] Virtual Reality Shop, «The Sword of Damocles (1968) - The Complete History of VR,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=9EDeQ4B0&id=F7A783F6B9C5A3AABD A5A7E0039752BCF2C6453A&thid=OIP.9EDeQ4B0gVxnb6fJqsgb3wHaGC&mediaurl=https%3a%2f%2fwww.virtual-reality-shop.co.uk%2fwp-content%2fuploads%2f2021%2f12%2fThe-Sword-of-Damocles>.

- [10] Flickr, «Where's my data glove?,» 2017. [En línea]. Available: https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=8RWYoemf&id=46D21BDAD431CD825E0CF0302954E206B68DF515&thid=OIP.8RWYoemfnFpnOaxIMhMKxgHaFj&mediurl=https%3a%2f%2flive.staticflickr.com%2f130%2f384542603_6881de60fe_b.jpg&cdnurl=https%3a%2f%2fth.bing.com.
- [11] The Koalition, «Oculus Rift Eyes-On Impressions - The Future Is Nigh,» 2013. [En línea]. Available: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=lpwZ9PMf&id=6B441DDDF452B033281005A36D056ABC5D343B8F&thid=OIP.lpwZ9PMfd6c10-wHCsF1FAHaFH&mediurl=https%3a%2f%2fi2.wp.com%2fthekoalition.com%2fimages%2f2013%2f09%2foculus.jpg%3ffit%3d1200%252C829%26ssl>.
- [12] FPS News, «Steam VR [HTC VIVE],» 2017. [En línea]. Available: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=5uJ%2bUZCR&id=089CAC9C6BC1CD217730E73991231ECD9C4B25A1&thid=OIP.5uJ-UZCRPIJxdBu7I4E3gHaEC&mediurl=https%3a%2f%2fth.bing.com%2fth%2fid%2fr.e6e27e5190913c8248c5d06eec8e04de%3frik%3doSVLnM0eI5E55w%26riu>.
- [13] Wikipedia, «Meta Quest,» 2 julio 2024. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Meta_Quest#:~:text=The%20first-generation%20Oculus%20Quest%20was%20developed%20by%20Oculus,Reality%20Labs%29%20and%20released%20on%20May%2021%2C%202019...
- [14] Business News, «The hot take on the new Apple Vision Pro XR headset,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.bing.com/images/search?view=detailV2&ccid=yyazvW8G&id=795FCD7D64256DE0043AC9FE954D5B97EE323C30&thid=OIP.yyazvW8G4TxQ7JbsMJbhKwHaEI&mediurl=https%3a%2f%2fi0.wp.com%2fimageio.forbes.com%2fspecials-images%2fimageserve%2f647eb63f7491cded16178351%>.
- [15] Facultad de Ingeniería, UNAM, «Manual de prácticas del Laboratorio de Automatización Industrial,» 18 septiembre 2020. [En línea]. Available: <https://mecatronica.unam.mx/documentos/o013/MADO-23v4.pdf>.
- [16] G. Mancuzo, «¿Qué es una Unidad de Mantenimiento o FRL?,» 21 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://blog.comparasoftware.com/unidad-de-mantenimiento/>.
- [17] Nelco Sistemas, «Cilindro simple efecto neumático,» 15 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.nelco.mx/2020/05/15/cilindro-simple-efecto-neumatico/>.
- [18] Nelco Sistemas, «Cilindro doble efecto neumático,» 8 mayo 2020. [En línea]. Available: <https://www.nelco.mx/2020/05/08/cilindro-doble-efecto-neumatico/>.
- [19] Ingeniería Mecafenix, «Que es un final de carrera y para qué sirve,» 26 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/sensores/final-de-carrera/>.

- [20] Learnchannel-TV, «Temporizador neumático,» marzo 2017. [En línea]. Available: <https://learnchannel-tv.com/es/neumatica/temporizador-neumatico/>.
- [21] Rome Co. Industrial, «Conexión neumática - Racor neumático - Usos y tipos - Catálogo,» 2018 abril 2024. [En línea]. Available: <https://www.romecoindustrial.com/2018/04/24/conexion-neumatica-racor-neumatico/>.
- [22] Picuino, «La válvula de simultaneidad o válvula and,» abril 2024. [En línea]. Available: <https://www.picuino.com/es/mecan-neumatic-valvula-and.html>.
- [23] Microscopio.pro, «Cómo Funciona Una Válvula 5/2 Monoestable,» 2024. [En línea]. Available: https://www.microscopio.pro/valvula-5-2-monoestable-funcionamiento/?expand_article=1.
- [24] D. Caballero y E. Belmontes, «Diseño de un entorno virtual lúdico con interacciones aptas para no nativos digitales,» 2024. [En línea]. Available: https://tesiumam.dgb.unam.mx/F/B1UCNJCALRE953LNSC4RYNC5T1RBNAYP931KJIA9BTPXNI3KI-13216?func=find-b&local_base=TES01&request=Dise%C3%B1o+de+un+entorno+virtual+I%C3%BAdico&find_code=WRD&adjacent=N&filter_code_2=WYR&filter_request_2=&filter_code_3=WYR&filte.
- [25] Xataka, «Oculus Go, análisis: esto es lo que nos ofrecen las gafas autónomas que aspiran a impulsar la realidad virtual por 219 euros,» xataka.com, 7 septiembre 2018. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/analisis/oculus-go-analisis-caracteristicas-precio-especificaciones>. [Último acceso: 13 octubre 2024].
- [26] Wikipedia, «Oculus Go,» wikipedia.org, 22 octubre 2024. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Oculus_Go. [Último acceso: 28 octubre 2024].
- [27] SKARREDGHOST, «Quest has sold 20M units, so why isn't VR mainstream yet?,» 3 marzo 2023. [En línea]. Available: <https://skarredghost.com/2023/03/03/quest-20-million-mainstream/>. [Último acceso: 1 noviembre 2024].
- [28] Wikipedia, «Oculus Quest,» 21 julio 2024. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Oculus_Quest. [Último acceso: 1 noviembre 2024].
- [29] Xataka, «Oculus Quest, análisis: el mejor visor de realidad virtual de esta generación ha llegado tal vez un poco tarde,» 29 mayo 2019. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/analisis/oculus-quest-analisis-caracteristicas-precio-especificaciones>. [Último acceso: 1 noviembre 2024].
- [30] Wikipedia, «Valve Index,» 19 agosto 2024. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Valve_Index. [Último acceso: 10 noviembre 2024].
- [31] Xataka, «Mejores gafas de realidad virtual: cuál comprar y siete modelos recomendados para todos los presupuestos,» 2 octubre 2024. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/seleccion/mejores-gafas-realidad-virtual-cual-comprar-siete-modelos->

recomendados-para-todos-presupuestos. [Último acceso: 10 noviembre 2024].

- [32] W. Greenwald, «Valve Index VR Kit Review,» PC Mag, 13 julio 2021. [En línea]. Available: <https://www.pcmag.com/reviews/valve-index-vr-kit>. [Último acceso: 10 noviembre 2024].
- [33] Wikipedia, «Quest 2,» 30 septiembre 2024. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Quest_2. [Último acceso: 10 noviembre 2024].
- [34] Xataka, «Oculus Quest 2, análisis: una de las mejores (y asequibles) opciones para iniciarse en la realidad virtual,» 17 octubre 2020. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/analisis/oculus-quest-2-analisis-caracteristicas-precio-especificaciones>. [Último acceso: 10 noviembre 2024].
- [35] J. Vanian, «Farmers Insurance Is Using the Oculus Rift to Train Workers in Virtual Reality,» 25 octubre 2017. [En línea]. Available: <https://fortune.com/2017/10/25/oculus-rift-headsets-farmers-insurance/>. [Último acceso: 18 noviembre 2024].
- [36] VRcompare, «HTC Vive Pro 2,» [En línea]. Available: <https://vr-compare.com/headset/htcvivepro2>. [Último acceso: 18 noviembre 2024].
- [37] J. Vincen, «HTC unveils new Vive Pro 2 with 5K resolution display and 120Hz refresh rate,» The Verge, 11 mayo 2021. [En línea]. Available: <https://www.theverge.com/2021/5/11/22428603/htc-vive-pro-2-release-date-pre-order-price-specs>. [Último acceso: 18 noviembre 2024].
- [38] Meta, «What is the Metaverse?,» [En línea]. Available: <https://about.meta.com/what-is-the-metaverse/>. [Último acceso: 18 noviembre 2024].
- [39] J. López, «Meta Quest Pro: si este es el metaverso que viene para productividad, lo compramos (aunque con algunas dudas),» Xataka, 13 enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/analisis/meta-quest-pro-opiniones-toma-contacto-video-fotos>. [Último acceso: 18 noviembre 2024].
- [40] Wikipedia, «Meta Quest Pro,» 30 septiembre 2024. [En línea]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Meta_Quest_Pro. [Último acceso: 18 noviembre 2024].
- [41] J. Lacort, «Apple Vision Pro, análisis: un potencial increíble en un producto imperfecto,» Xataka, 27 marzo 2024. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/analisis/apple-vision-pro-analisis-caracteristicas-precio-especificaciones>. [Último acceso: 18 noviembre 2024].
- [42] A. Vallejo, «Las PlayStation VR2 son un salto a otro nivel: las hemos probado en el CES y estas son nuestras impresiones,» Xataka, 11 enero 2023. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/realidad-virtual-aumentada/playstation-vr2-salto-a-otro-nivel-probamos-a-horizon-call-of-the-mountain-estas-nuestras-impresiones>. [Último acceso: 18 noviembre 2024].
- [43] J. Márquez, «Meta Quest 3: unas gafas de realidad mixta ergonómicas, potentes y con espíritu gaming gracias al soporte de Xbox Cloud Gaming,» Xataka, 27 septiembre 2023. [En línea].

Available: <https://www.xataka.com/realidad-virtual-aumentada/meta-quest-3-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>. [Último acceso: 18 noviembre 2024].

- [44] G. Hernández, «Meta Quest 3 es el nuevo visor de realidad mixta de Facebook y que competirá contra lo que sea que esté preparando Apple,» Xataka, 1 junio 2023. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com.mx/realidad-virtual-aumentada/meta-quest-3-nuevo-visor-realidad-mixta-facebook-que-competira-que-sea-que-este-preparando-apple>. [Último acceso: 23 noviembre 2024].
- [45] J. Marquez, «Meta Quest 3S: Mark Zuckerberg da un golpe en la mesa y ofrece una experiencia de realidad mixta por menos de 330 euros,» Xataka, 25 septiembre 2024. [En línea]. Available: <https://www.xataka.com/realidad-virtual-aumentada/meta-quest-3s-caracteristicas-precio-ficha-tecnica>. [Último acceso: 23 noviembre 2024].
- [46] Statista, «Envíos de auriculares (HMD) de realidad virtual a nivel mundial de 2023 a 2030, por area geográfica,» [En línea]. Available: <https://es.statista.com/estadisticas/1310877/gafas-de-realidad-virtual-rv-ventas-mundiales/>. [Último acceso: 30 noviembre 2024].
- [47] Inspark, «EXPLORA MUNDOS INIMAGINABLES SÓLO EN INSPARK,» [En línea]. Available: <https://inspark.com.mx/>. [Último acceso: 30 noviembre 2024].
- [48] B. Marr, «10 Best Examples Of VR And AR In Education,» Forbes, 10 diciembre 2021. [En línea]. Available: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2021/07/23/10-best-examples-of-vr-and-ar-in-education/>. [Último acceso: 30 noviembre 2024].
- [49] S. Gosset, «Virtual Reality in Education: Benefits, Uses and Examples,» built in, 22 marzo 2023. [En línea]. Available: <https://builtin.com/articles/virtual-reality-in-education>. [Último acceso: 30 noviembre 2024].