



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Desarrollo de un espacio
virtual para la práctica de
ensayos de tracción**

MATERIAL DIDÁCTICO

Que para obtener el título de

Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A

Brandon Alejandro Juárez Moreno

ASESOR DE MATERIAL DIDÁCTICO

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 DESARROLLO DE UN ESPACIO VIRTUAL PARA LA PRACTICA DE ENSAYOS DE TRACCION 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.

BRANDON ALEJANDRO JUAREZ MORENO
Número de cuenta: 316321297

Agradecimientos

A mis padres, Arturo y Marisela, y a mi hermano Jordan, cuyo infinito apoyo me permitió llegar al lugar en el que me encuentro y ser la persona que soy. En los buenos momentos siempre me brindaron su compañía y amor. En los malos tiempos nunca carecí de sus consejos ni de su incansable fe en mí. Ellos son mi fuerza.

A mi asesor Yair, por su apoyo, paciencia y dedicación para guiarme durante mi servicio social y mi proyecto de titulación. Agradezco su admirable pasión por transmitir conocimientos e involucrarse más allá del deber para brindar a sus alumnos una formación excepcional.

A mis tíos y mi prima, quienes son una segunda familia para mi y nunca faltó algún detalle de su parte para contribuir a mi desarrollo como profesional y como persona.

A mi mejor amigo Julio, quien siempre me entiende y motiva, sin importar la distancia o el tiempo que se interpongan.

También a los amigos que hice en la facultad, quienes me acompañaron en muchos de los momentos que más disfruté durante esta etapa de mi vida.

Y a aquellos quienes no me acompañan más, pero siempre llevo en mis recuerdos.

Agradezco al Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación, PAPIME con clave PE109123, por la beca brindada para realizar este proyecto.

Índice de reporte

Introducción	6
Problemática.....	7
Planteamiento del problema	7
Alcance	7
Objetivos.....	8
Objetivo general.....	8
Objetivos específicos	8
Antecedentes.....	8
Realidad virtual	8
Estado de la técnica	9
Realidad virtual en la enseñanza de la ingeniería	10
Herramientas para desarrollar entornos de realidad virtual.....	11
Ensayo de tracción	13
Metodología.....	14
Planeación del laboratorio virtual	14
Práctica de ensayo de tracción en el laboratorio físico.....	15
Virtualización de la práctica de ensayo de tracción	19
Proceso de modelado en Blender	21
Probetas	22
Vernier.....	25
Herramental.....	29
Máquina universal de ensayos	37
Laboratorio	45
Materiales.....	51
Generación de scripts en Unity	56
Script básico para ensamblaje	57
Medición inicial de la probeta	58
Ensamble del herramental.....	63
Ejecución del ensayo de tracción	70
Medición final de la probeta.....	71

Animaciones	73
Animación de la probeta en Blender	73
Animaciones en Unity.....	80
Diagrama carga-desplazamiento.....	84
Implementación en VRChat	92
Resultados.....	93
Pruebas con usuarios	93
Resultados de las pruebas con alumnos	95
Resultados de las pruebas con docentes	102
Discusión de resultados	108
Trabajo a futuro.....	109
Conclusiones	111
Bibliografía.....	112
Anexos	116

Introducción

Gracias a los avances en la tecnología de computación están surgiendo herramientas que ofrecen a los seres humanos nuevas maneras de acceder a la información e interactuar con ella. Este es el caso de la realidad virtual (abreviada RV o VR por *virtual reality*), la cual, a través de la simulación de entornos físicos, permite a sus usuarios tener experiencias completamente inmersivas que pueden enriquecer los procesos de aprendizaje en una multitud de áreas del conocimiento.

Este trabajo describe a detalle el proceso de desarrollo de un espacio en RV dentro del cual se pueden simular ensayos de tracción. Dicho espacio está diseñado para complementar la formación académica de alumnos de ingeniería de materiales al ofrecerles un ambiente donde puedan practicar como lo harían en un laboratorio físico, cuando no tengan la posibilidad de acudir a uno.

El entorno virtual consiste en un laboratorio equipado con modelos tridimensionales con los que el usuario puede interactuar para realizar mediciones, ensamblar herramental en una máquina universal de ensayos, ejecutar un ensayo de tracción y obtener los resultados de este.

En los dos primeros capítulos del trabajo se aborda la problemática evidenciada por la pandemia de COVID-19, que dio origen a la idea de crear herramientas educativas más accesibles para los alumnos de ingeniería, así como los objetivos que guiaron el desarrollo del proyecto.

El tercer capítulo consiste en una investigación sobre la RV donde se mencionan algunos de los proyectos más importantes en la actualidad relacionados con esta tecnología, además se explican las posibilidades que ofrece para mejorar la enseñanza de la ingeniería y se habla sobre el software que se empleó en la construcción del espacio virtual. En esta sección se incluyen conceptos fundamentales para comprender los ensayos de tracción.

El cuarto capítulo trata sobre el proceso de elaboración del entorno virtual, comenzando con una descripción del procedimiento habitual para ejecutar una práctica de ensayos de tracción en el laboratorio de ingeniería materiales de la Facultad de Ingeniería y como se planificó la versión virtual de este. A continuación, se profundiza en cómo se realizó el diseño de cada uno de los modelos tridimensionales que conforman el laboratorio, al igual que el código que permite ejecutar la práctica.

En los últimos capítulos se exponen los resultados obtenidos tras realizar pruebas de validación del proyecto con alumnos y docentes de ingeniería, finalizando con una propuesta de trabajo a futuro para mejorar el mismo, tomando en cuenta las observaciones recabadas.

Problemática

Planteamiento del problema

Para mediados de marzo del 2020 las escuelas de todos los niveles educativos de México habían cerrado sus puertas ante la inminente declaración de emergencia sanitaria a causa de la epidemia de COVID-19. El cambio abrupto desde la educación universitaria presencial y escolarizada a modalidades no presenciales supuso múltiples retos tanto para los docentes como para sus alumnos, entre los cuales se encuentran la necesidad de tener acceso y conocimiento sobre el uso de herramientas digitales para la educación a distancia [1].

Una situación que representó especial dificultad fue la de adaptar a dicho medio digital las prácticas de laboratorio que se realizan en disciplinas como la medicina y la ingeniería, puesto que son actividades donde la presencia e interacción física son inevitables [2]. Para resolver este problema, una de las alternativas más efectivas fue emplear laboratorios virtuales, dado que ofrecen muchas ventajas como son la libertad de usarlos sin restricciones de tiempo ni de las veces que se pueden hacer los experimentos, la retroalimentación inmediata que brindan, la posibilidad de familiarizarse con las normas de seguridad mediante su uso, entre otras [3].

La epidemia evidenció que estos laboratorios virtuales pueden beneficiar a la comunidad universitaria ante cualquier otra circunstancia en la cual se vea impedido el acceso a los laboratorios físicos, por lo cual resulta útil la creación de más de estos recursos.

Una de las asignaturas cuyo estudio requiere de la constante realización de prácticas de laboratorio es la ingeniería de materiales, donde se realiza la caracterización mecánica de estos mediante diversos tipos de pruebas. En apoyo de los alumnos que cursan la asignatura de ingeniería de materiales en la Facultad de Ingeniería de la UNAM, este proyecto busca generar un laboratorio virtual donde puedan practicar ensayos de tracción para reforzar sus conocimientos teóricos y prácticos sobre el tema.

Alcance

Para este proyecto se desarrollará un laboratorio en realidad virtual que brinde a los usuarios equipo e información para que puedan ejecutar ensayos de tracción en él.

El ensayo requiere de una probeta de material metálico sobre la cual se simulará que se ejerce una fuerza de tracción, provocándole una deformación y posterior ruptura. Dicha fuerza será proporcionada por una máquina universal de ensayos que, a su vez, debe contar con herramental para montar la probeta en ella. Además, la práctica tiene que desarrollarse dentro de una habitación virtual con mobiliario adecuado para permitir que el usuario maniobre a través de ella e interactúe con el material.

Para ofrecer una experiencia similar a la que se puede obtener en el laboratorio físico, es necesario simular la obtención de las medidas iniciales y finales de la probeta con ayuda de algún instrumento de medición y un medio donde dichos valores puedan consultarse en todo momento.

Se espera que los resultados ofrecidos por la práctica virtual sean consistentes con los que se hayan obtenido en un ensayo real realizado previamente. Sumado a lo anterior, será conveniente que el laboratorio genere una gráfica de carga-desplazamiento para contribuir a la retroalimentación del estudiante.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un espacio virtual para ofrecer a los alumnos que cursan asignaturas enfocadas en la ingeniería de materiales una herramienta donde puedan practicar y complementar sus conocimientos sobre los ensayos de tracción, sin las limitaciones de disponibilidad que pueden afectar a un laboratorio físico.

Objetivos específicos

- Examinar la implementación de la práctica en un laboratorio real.
- Diseñar modelos 3D del herramental, máquina y material.
- Programar interacciones de medición, ensamble y ejecución de la práctica.
- Implementar el entorno virtual en la plataforma VRChat
- Realizar pruebas de validación con estudiantes y profesores

Antecedentes

Realidad virtual

La realidad virtual puede definirse como una base de datos interactivos con capacidad de generar, mediante un ordenador, una simulación que involucre a todos los sentidos. Esta representación puede ser visualizada, explorada y manipulada en tiempo real bajo la forma de imágenes y sonidos digitales, dando la sensación de estar presente dentro de un entorno informático [4].

Para poder considerarse auténticamente inmersivos, los entornos generados por esta tecnología deben cumplir con algunas condiciones de realismo, por ejemplo:

- Los objetos virtuales tienen que ser tridimensionales y exhibir las propiedades de fricción y gravedad que se esperarían de ellos en el mundo real ante cualquier tipo de manipulación.

- El usuario debe ser capaz de moverse e interactuar con el entorno virtual de forma intuitiva y en tiempo real.
- Los elementos del entorno deben devolver al usuario una respuesta sensorial o retroalimentación, siendo esta mejor cuanto más sentidos fisiológicos involucre.

De entre los tipos de sistemas de RV existentes, esta habitualmente es relacionada con los llamados sistemas inmersivos, los cuales consisten esencialmente en cascos con lentes estereoscópicas que distorsionan las distintas imágenes que una pantalla envía a cada ojo para dar la sensación de profundidad. Sumado a dichos elementos básicos, los visores de RV actuales también incluyen complementos como salidas de audio, sensores de movimiento, cámaras, controles periféricos para las manos e incluso inteligencia artificial integrada; todo esto para mejorar el nivel de inmersión que se ofrece al usuario [5].

Estado de la técnica

El mejor representante de las capacidades que los cascos de RV han alcanzado en los últimos años es el Quest 2 de Meta, además de ser por mucho el más popular con 14.8 millones de unidades vendidas para mediados del 2022 [6]. Se trata de un visor autónomo, pues no necesita conectarse a una computadora o teléfono inteligente para funcionar. En cuanto a los atributos clave del Quest 2, este ofrece 6 grados de libertad de movimiento, es decir, que por medio de sensores y cámaras el dispositivo es capaz de registrar por completo la rotación y el movimiento del usuario para reflejarlos con precisión dentro de los entornos de RV [7].

Otro sistema capaz de reproducir experiencias de RV, que causó gran impacto en la población recientemente, es el Vision Pro de Apple. Este visor lanzado al mercado el 2 de febrero de 2024 no solo puede manejar RV, sino que está orientado principalmente al uso de la realidad aumentada para dar a sus usuarios la posibilidad de mezclar contenidos digitales con el entorno físico que los rodea [8]. Apple busca que con este equipo se puedan realizar actividades como asistir a reuniones virtuales, trabajar con software de productividad o ver vídeos, por mencionar algunas, al mismo tiempo que se interactúa con el mundo real desde casa, la calle o cualquier otro lugar [9].

Entre las muchas aplicaciones de la RV, su utilidad ha destacado especialmente en la educación. Prueba de ello son los proyectos desarrollados por diversas instituciones educativas como la Universidad de Rhode Island, donde se desarrolló una biblioteca de apps que emplean esta tecnología para mejorar el aprendizaje de sus estudiantes de ciencias biomédicas.

En esta biblioteca se incluyen simulaciones interactivas que permiten apreciar mediante modelos 3D las complejas interacciones moleculares que generan ciertos

medicamentos o aprender los procedimientos que se llevan a cabo dentro de un laboratorio de cultivo de células. Las apps de RV tuvieron un impacto positivo tanto en alumnos como en profesores, pues ambos acordaron que complementan el estudio realizado con lecturas y son un ambiente seguro para adquirir experiencia antes de ingresar a los laboratorios donde podrían ocurrir accidentes si no se tiene suficiente conocimiento sobre su funcionamiento [10].

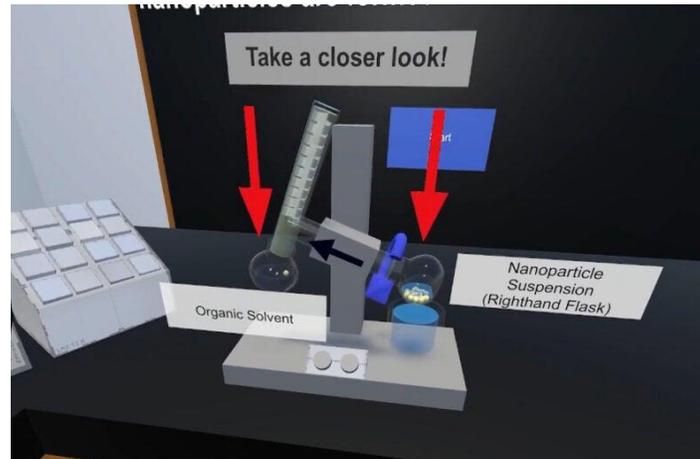


Figura 1. Aplicación en RV que ayuda a los estudiantes a visualizar moléculas [10].

Realidad virtual en la enseñanza de la ingeniería

El método tradicional para la enseñanza de aspectos teóricos de la ingeniería suele consistir en explicaciones verbales con un apoyo gráfico establecido en un pizarrón o en presentaciones con diapositivas digitales. Este acercamiento coloca al estudiante en una posición de aprendizaje pasiva, donde su principal labor a desempeñar es la de memorizar mecánicamente la información provista por el instructor [11]. Una alternativa para ofrecer un rol más activo a los alumnos, el cual conlleva beneficios cognitivos y pedagógicos, es complementar los métodos tradicionales y de educación en línea con herramientas de RV que incluyan escenarios inmersivos para permitirles involucrarse más en el proceso de aprendizaje [12].

Avanzando hacia el trabajo práctico realizado en laboratorios, este juega un papel vital en la adquisición de conocimiento dentro de muchas ramas de la ingeniería. Se ha observado que utilizar simuladores de RV provee a los estudiantes de una memoria autobiográfica similar a la que obtienen realizando los experimentos en la vida real, a diferencia de cuando solo los observan en un proyector dentro del aula [12].

El uso de la RV también tiene el beneficio añadido de proveer una experiencia educativa igualitaria para alumnos con necesidades especiales y aquellos que aprenden a distancia y no tienen acceso a los laboratorios físicos [12].

Herramientas para desarrollar entornos de realidad virtual

Se identificaron tres tipos principales de herramientas para crear entornos de RV como el que se desarrolla en este trabajo. A continuación, se describe en qué consisten y algunos ejemplos de ellas.

Comenzando con los modelos tridimensionales, pues son una de las partes más elementales del proyecto, debido a que dentro de un laboratorio a menudo se usan herramientas y equipo que no se ven en ningún otro ambiente, es poco probable encontrar modelos adecuados en sitios web donde otros usuarios disponen estos para su descarga. Surge entonces la necesidad de utilizar software para diseñar modelos 3D personalizados.

Con la ayuda de software denominado CAD (*Computer Aided Design*) primero se parte de cuerpos geométricos básicos, como un plano, un cubo o una esfera, compuestos de polígonos. Luego, con ayuda de diversas herramientas se modifica la forma de estos cuerpos, subdividiendo los polígonos y ajustando su posición y su tamaño hasta transformarlos en una representación tridimensional del objeto deseado [13].

Entre los software CAD considerados para este proyecto se encuentran:

- Autodesk Maya: ofrecido por la empresa Autodesk, Maya ofrece herramientas para hacer modelado, animaciones y renderización 3D; con un enfoque en el diseño de personajes y efectos visuales para las industrias del cine y los videojuegos, estando esta última fuertemente ligada al desarrollo de entornos virtuales [14].
- Blender: es una suite de creación 3D que permite modelar, animar, renderizar y editar videos, entre otras funcionalidades. A diferencia de otros software de CAD, Blender es completamente gratuito y de código abierto, así que cualquier persona puede usarlo tanto para fines educativos como comerciales [15].

Una vez contemplados los modelos 3D, es momento de enfocarse en el espacio virtual. Sin duda alguna, entre los recursos más útiles para construir experiencias virtuales, tanto que fue el más importante para este proyecto, se encuentran los motores gráficos. Dicho término se refiere a un entorno de desarrollo que proporciona herramientas y librerías de programación que permiten diseñar, crear y representar experiencias interactivas; principalmente videojuegos. Una de las características clave que estos programas pueden aportar al entorno virtual es que cuentan con un motor de físicas, capaz de dotar a los modelos 3D de atributos físicos como gravedad, peso, volumen y aceleración; potenciando en gran medida la sensación de realismo para el usuario [16].

Los motores gráficos más versátiles y populares son:

- Unreal Engine: fue creado por la compañía Epic Games en 1998 y desde entonces ha sido utilizado para desarrollar un sinnúmero de videojuegos, entre los cuales destacan títulos producidos por compañías muy grandes como Electronic Arts, Ubisoft y la propia Epic [17].

Además del desarrollo de videojuegos, Unreal puede usarse en la creación de animaciones para el cine y la televisión, así como para elaborar diseños arquitectónicos y simulaciones físicas de sistemas reales [18].

Su código fuente está escrito en C++, por lo que conviene conocer dicho lenguaje para trabajar con él.

- Unity: fue creado en 2005 por Unity Technologies y a lo largo de los años ha sido ampliamente utilizado, en especial por estudios de desarrollo de videojuegos independientes [19].

Una de las grandes ventajas que ofrece, además de sus potentes herramientas para crear mundos virtuales, animaciones y renderizado; es que los proyectos desarrollados en este motor pueden implementarse en más de 20 plataformas diferentes, incluyendo consolas, teléfonos inteligentes y cascos de RV [20].

Unity también ofrece la plataforma web Unity Learn, con más de 750 horas de cursos gratuitos para aprender a trabajar con el software. Este motor utiliza el lenguaje C# [21].

Ambos motores mencionados se pueden usar de manera gratuita con fines educativos y para el desarrollo de proyectos personales [22], [23].

Finalmente, es necesario encontrar un medio a través del cual sea posible compartir contenido de RV para que este pueda llegar a manos del público objetivo, en el caso de este proyecto, los estudiantes. Para desempeñar dicha labor, resultan de utilidad las llamadas aplicaciones de RV social. Estas consisten en entornos digitales donde los usuarios pueden interactuar entre sí en tiempo real, socializar y colaborar a través de la tecnología de RV [24].

Entre las aplicaciones más populares de este tipo se encuentran:

- VRChat: es una plataforma que permite interactuar con personas de cualquier parte del planeta dentro de mundos virtuales. La mayor parte del contenido dentro de VRChat es desarrollado por su propia comunidad de usuarios, ya que estos pueden crear sus propios mundos utilizando el kit de desarrollo de la plataforma dentro del motor Unity [25].

Otras actividades que se pueden llevar a cabo en VRChat son: personalizar en gran medida a los avatares de usuario, que son compatibles con tecnología de seguimiento corporal y de ojos, participar en juegos, asistir a eventos virtuales o

aprovechar cualquier otra funcionalidad que los miembros de la comunidad implementen dentro de sus mundos [25].

- Rec Room: es una aplicación destinada a crear una comunidad de usuarios que puedan interactuar entre sí a través de la RV. Ofrece diversas posibilidades como la de personalizar avatares, construir mundos virtuales y crear una gran variedad de juegos para compartir y divertirse [26].

Una de sus características más destacables es que es una aplicación multiplataforma, por lo que puede ser utilizada en computadoras, consolas, gafas de RV e incluso en teléfonos inteligentes [26].

Ensayo de tracción

El ensayo de tracción es una prueba mecánica fundamental que se utiliza ampliamente en la industria de la manufactura y la investigación, pues permite medir la respuesta de los materiales al esfuerzo de tracción (o tensión) y así determinar si son aptos para su aplicación final [27].

El ensayo consiste en la aplicación de un esfuerzo axial sobre una muestra de material, a menudo llamada probeta, hasta su rotura. Se suelen utilizar velocidades de deformación bajas para no distorsionar los resultados [28].

Los resultados del ensayo pueden representarse por medio de un gráfico denominado curva de deformación o diagrama esfuerzo-deformación, del cual se extraen las propiedades mecánicas del material sujeto a prueba. A continuación se describen las que suelen ser de mayor interés:

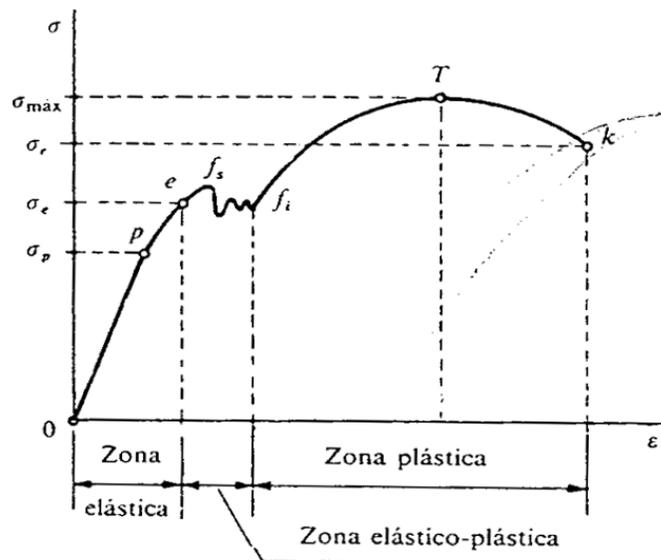


Figura 2. Diagrama esfuerzo-deformación [29].

- Módulo elástico (E): También es llamado módulo de Young. Es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación unitaria en la zona elástica. Dentro de dicha zona, se presenta una relación lineal entre el esfuerzo aplicado y la deformación que experimenta el material, denominada Ley de Hooke [30]:

$$E = \frac{\sigma}{e} \quad 1$$

Además, si la carga de tracción es retirada mientras el material se encuentra en la zona elástica, este regresará al estado en el que se encontraba antes de haberse deformado por dicha carga [27].

- Deformación ingenieril (e): Expresa la relación entre el cambio de longitud de la muestra después de haber aplicado una carga y su longitud original [27]:

$$e = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \quad 2$$

- Esfuerzo de cedencia (σ_e): También se le conoce como límite de fluencia o límite elástico. Es el valor del esfuerzo crítico necesario para iniciar la deformación plástica del material, la cual, a diferencia de la deformación elástica, es irreversible incluso después de retirar la carga de tracción [30].
- Esfuerzo máximo (σ_{max}): También es conocido como resistencia máxima a la tracción. Es el esfuerzo máximo que soporta una muestra durante el ensayo [27].
- Esfuerzo de ruptura (σ_r): También es llamado resistencia a la rotura o resistencia a la tracción. Se define como el esfuerzo de tracción máximo al que se puede someter una muestra de material justo antes de romperse [31].

Cabe destacar que la mayoría de los ensayos de tracción se realizan de acuerdo con las normas establecidas por organizaciones regulatorias como ASTM e ISO. Estas normas indican los parámetros y resultados aceptables de los ensayos dependiendo del tipo de material o producto sobre el cual son ejecutados. La norma que regula las pruebas de tracción en metales y materiales metálicos es la ASTM E8 [27].

Metodología

Planeación del laboratorio virtual

Con la intención de obtener más información sobre la implementación de los ensayos de tracción se realizó una visita al laboratorio de ingeniería de materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

Durante la estancia en el laboratorio se observó cómo se imparte la práctica de ensayos de tracción a un grupo de estudiantes de la misma facultad. Se recabó un registro con fotografías y videos tanto del procedimiento seguido durante la práctica como del

material y la máquina de ensayos utilizada. Dicho registro fue la base para planear las funciones que debe poseer el entorno virtual y la construcción de los modelos 3D, además se usó como apoyo el manual de prácticas del laboratorio de ingeniería de materiales.

Práctica de ensayo de tracción en el laboratorio físico

En el caso de la práctica observada se prepararon con anticipación dos probetas cilíndricas de acero 1018: una simplemente maquinada y la otra, además, recocida en un horno. Durante la práctica se realizó un ensayo de tracción para cada una de las probetas.



Figura 3. Probetas usadas durante la visita al laboratorio. Del lado izquierdo se observa la probeta simplemente maquinada y, del lado derecho, la probeta maquinada y recocida.

Para llevar a cabo los ensayos de tracción, el laboratorio de ingeniería de materiales está equipado con una máquina universal de ensayos mecánicos Instron serie 3560.

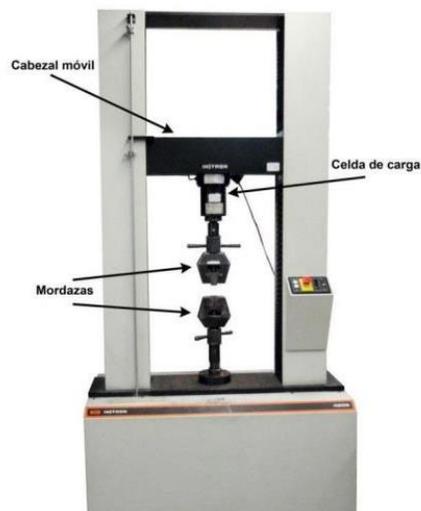


Figura 4. Máquina universal de ensayos Instron (tomada directamente del manual de prácticas) [32].

El profesor a cargo del laboratorio también presentó a los estudiantes el herramental necesario para montar la probeta en la máquina universal de ensayos. En seguida se incluye una breve descripción de dichas piezas junto con los nombres que se usarán para identificarlas durante el resto del trabajo. Cabe mencionar que se cuenta con dos unidades de cada pieza de herramental, correspondientes a los puntos de anclaje superior e inferior que tiene la máquina Figura 4.

- Base atornillable: uno de sus extremos cuenta con seis barrenos para poder unirla a la mordaza mediante tornillos, mientras que el otro puede atornillarse para fijar el ensamble completo en la máquina universal de ensayos.



Figura 5. Izquierda: base atornillable. Derecha: barrenos de la base.

- Mordaza: pieza cilíndrica con un espacio en el centro destinado a sujetar un extremo de la probeta con ayuda de un anillo metálico. También cuenta con seis barrenos para poder atornillarla a la base del ensamble.
- Anillo metálico: pieza con forma de anillo dividida en dos mitades. Su función es auxiliar en el acoplamiento entre la probeta y la mordaza.
- Tornillos: seis tornillos con cabeza Allen que sirven para unir la mordaza con la base atornillable del ensamble.



Figura 6. 1: Mordaza. 2: Anillo metálico. 3: Uno de los seis tornillos.

A continuación se describe el procedimiento observado dentro del laboratorio de la Facultad de Ingeniería para realizar un ensayo de tracción.

1. Medición de la probeta

- 1.1. Se colocan marcas en la probeta para delimitar el área que se tomará en cuenta al medir la longitud inicial (L_0).
- 1.2. Usando un vernier se mide la longitud L_0 entre las marcas.
- 1.3. Se mide el diámetro de la probeta en varias partes dentro del área delimitada por las marcas y se obtiene un promedio de estas medidas para usar dicho valor como el diámetro inicial (θ_0).

2. Montaje del ensamble inferior

- 2.1. Se coloca la probeta verticalmente sobre una mesa.
- 2.2. Se monta la mordaza sobre la probeta para que esta última quede dentro del espacio central.
- 2.3. Ambas mitades del anillo metálico se arman dentro del espacio central de la mordaza, completando el anillo y llenando el espacio vacío entre la mordaza y la probeta.
- 2.4. Se llenan los barrenos de la mordaza con sus correspondientes tornillos.
- 2.5. La base atornillable se coloca sobre la mesa de modo que sus barrenos queden mirando hacia arriba.
- 2.6. Se levanta el conjunto de piezas resultante del paso 2.4, sin permitir que se desarme, y se coloca sobre la base atornillable, procurando que todos los barrenos queden alineados.
- 2.7. Con una llave Allen, se enroscan dos tornillos que estén ubicados en lados opuestos de la mordaza. Esto se repite dos veces más con el resto de los tornillos para que todos queden apretados.
- 2.8. El ensamble completo se lleva hasta la base inferior de la máquina universal de ensayos para atornillarlo en ella.

3. Montaje del ensamble superior

- 3.1. La base del ensamble superior se atornilla bajo la celda de carga de la máquina.
- 3.2. Se coloca la mordaza superior alrededor de la probeta, de modo que caiga hasta reposar sobre la mordaza inferior.

- 3.3. Se arman las mitades del anillo metálico restante dentro de la mordaza superior, similar a como se hizo en el paso 2.3.
- 3.4. En este momento se enciende la máquina y, usando su panel de control, se baja el cabezal móvil hasta que la base superior entre en contacto con la probeta.
- 3.5. Se sube la mordaza superior hasta que esté en contacto con la base superior y se sostiene en dicha posición.
- 3.6. Se colocan los tornillos y se aprietan con la llave Allen, de la misma manera que en el paso 2.7.

4. Ejecución del ensayo

- 4.1. La máquina de este laboratorio cuenta con el apoyo de una computadora para configurarla y mostrar los resultados, así como un intermediario que comunica a estas dos. En este momento se encienden la computadora y el intermediario.
- 4.2. El intermediario se calibra para establecer el valor *Load* en cero.
- 4.3. En la computadora se selecciona la prueba de tracción y se ingresan los valores L_0 y θ_0 obtenidos durante las mediciones, así como la velocidad, que en este caso fue de 5 [mm/min].
- 4.4. Se inicia la ejecución de la prueba.
- 4.5. Durante la prueba puede observarse en el intermediario como van cambiando los valores de carga y elongación.
- 4.6. La prueba termina cuando la probeta se rompe.

5. Resultados

- 5.1. Para recuperar la probeta primero se desatornilla la mordaza superior.
- 5.2. Con los controles de la máquina se sube el cabezal móvil hasta que permita extraer la mordaza superior.
- 5.3. Se desatornilla y luego se extrae de la máquina la mordaza inferior.
- 5.4. Las dos mitades de la probeta ahora pueden retirarse de las mordazas.
- 5.5. Usando el vernier se mide el diámetro final de la probeta θ_f en la zona de ruptura, como se hizo en el paso 1.3.
- 5.6. La longitud final de la probeta L_f se puede consultar directamente en la computadora.
- 5.7. Se observa el tipo de comportamiento de la ruptura para determinar si es dúctil, frágil o si tiene parte de ambos.

5.8. En la computadora se puede consultar la gráfica carga-desplazamiento resultante del ensayo.

Virtualización de la práctica de ensayo de tracción

El objetivo principal del proceso de virtualización fue incluir dentro del laboratorio virtual únicamente las acciones más significativas del procedimiento seguido en el laboratorio físico, por lo cual algunos pasos de este fueron simplificados o ajustados para que, además, resultarán más cómodos de ejecutar con los controles de un visor VR.

Adicionalmente, aprovechando las posibilidades que ofrece un entorno virtual, se incluyeron elementos que no están presentes en el laboratorio físico, pero pueden proveer a los usuarios de información útil para llevar a cabo la práctica de tracción.

A continuación, se describe el procedimiento con las modificaciones necesarias para realizar un ensayo de tracción en el laboratorio virtual.

1. Medición de la probeta

Emular en realidad virtual la acción de sostener un objeto en una mano y medirlo con un instrumento usando la otra mano requeriría de gran precisión y experiencia en el manejo de los controles del visor VR. Con la intención de hacer más accesible el laboratorio, para usuarios que tengan distinto nivel de experiencia en entornos virtuales, se optó por añadir un soporte fijo sobre una mesa como auxiliar en las mediciones de la probeta. También se sustituyó el vernier básico por una versión digital con pantalla para visualizar más fácilmente los resultados de las mediciones.

- 1.1. Se recoge la probeta de la mesa y se coloca en el soporte para mediciones.
- 1.2. Tomar el vernier y colocarlo en contacto con la probeta. Tras soltarlo, el vernier reproduce una animación de medición y el valor de L_0 aparece en la pantalla de dicho instrumento.
- 1.3. Tomar el vernier y colocarlo nuevamente en contacto con la probeta. Esta vez se reproduce una animación distinta y en la pantalla del instrumento aparece el valor de θ_0 .
- 1.4. Se retira el vernier y se deja sobre la mesa, ya que volverá a usarse más adelante.

El laboratorio virtual cuenta con un par de pizarrones que proveen de información auxiliar para desarrollar la práctica: el primero muestra instrucciones para orientar al usuario de acuerdo con el paso de la práctica en el cual se encuentre, mientras que en el segundo se registran las medidas de la probeta al momento que son tomadas con el vernier.

2. Montaje de los ensambles inferior y superior

Para simplificar el proceso de ensamblaje se omitieron algunas acciones como enroscar tornillos y tener que desplazar el cabezal de la máquina, entre otras. Aun así, el orden en el cual se arma cada pieza del herramental se conservó como en la práctica original.

- 2.1. Se recoge la probeta del soporte para mediciones y se coloca en el centro de la mesa de ensamblaje.
- 2.2. Se toma la mordaza y se coloca en contacto con la probeta. Al soltarla, la mordaza queda fija por sí misma en la posición que le corresponde dentro del ensamble.
- 2.3. Del mismo modo, se coloca el anillo metálico en contacto con la probeta para que, al soltarlo, este quede ensamblado.
- 2.4. Como en los pasos anteriores, se colocan los tornillos en contacto con la mordaza para que, al soltarlos, queden ensamblados.
- 2.5. Se recoge el subensamble resultante del paso 2.4 y se coloca sobre la base atornillable inferior, la cual ya se encontrará en una posición adecuada sobre la mesa. Tras soltar el subensamble, este quedará fijo sobre la base, completando el ensamble inferior.
- 2.6. Se recoge el ensamble inferior completo y se coloca sobre la base inferior de la máquina de ensayos. Tras soltarlo, se reproduce una animación donde se atornilla el ensamble en la máquina.
- 2.7. En la mesa podrá encontrarse el ensamble superior completamente armado. Ahora se recoge este ensamble y se coloca bajo la celda de carga de la máquina. Tras soltarlo, se reproduce una animación en la cual se atornilla el ensamble en la máquina.

3. Ejecución del ensayo

Dentro del laboratorio se encuentran dos paneles que desempeñan funciones que, en la práctica original, le corresponden a la computadora conectada a la máquina universal de ensayos:

- Dentro del panel *Diagrama* se genera, al mismo tiempo que se ejecuta el ensayo, el diagrama carga-desplazamiento correspondiente a la probeta. El propósito de este es que el usuario identifique las zonas claves del diagrama y que, tras finalizar la práctica, pueda trazar la curva esfuerzo-deformación a partir del diagrama dado y de los datos clave que se pueden consultar en el siguiente panel.

- En el panel *Datos del diagrama* se pueden encontrar, tras concluir el ensayo de tracción, los datos del diagrama carga-desplazamiento que se necesitan para trazar la curva esfuerzo-deformación.

Adicionalmente, se cuenta con el panel *Vista ampliada* que muestra en tiempo real una imagen agrandada del espacio de la máquina donde se tracciona la probeta, para que pueda apreciarse mejor la deformación que experimenta durante el ensayo.

- 3.1. Tras ensamblar todo el herramental en la máquina se habilitará un botón de inicio. Al presionar el botón, la máquina comenzará a ejecutar el ensayo de tracción.
 - 3.2. Conforme se ejecuta el ensayo pueden observarse en los paneles la deformación que va sufriendo la probeta y el diagrama carga-desplazamiento que se dibuja poco a poco.
 - 3.3. La prueba termina cuando la probeta se rompe.
 - 3.4. En el instante que termina el ensayo los datos del diagrama carga-desplazamiento aparecen en su panel correspondiente.
4. Resultados y medición final
 - 4.1. Una vez rota, la probeta puede retirarse directamente de la máquina, sin necesidad de desarmar el herramental.
 - 4.2. Se lleva la probeta de vuelta al soporte para mediciones.
 - 4.3. Se recoge el vernier y se coloca en contacto con la probeta para registrar el valor de L_f , como se hizo en el paso 1.2.
 - 4.4. Se retira el vernier y se coloca una vez más en la probeta para registrar el valor de θ_f .
 - 4.5. Tras retirar el vernier, se recoge la probeta para examinar el tipo de comportamiento de la ruptura y determinar si es dúctil, frágil o si tiene parte de ambos.

Proceso de modelado en Blender

Una vez establecido el proceso de virtualización fue posible identificar los modelos 3D que se necesitaban elaborar para el entorno virtual:

- El modelo más importante sería el de la probeta, puesto que el usuario debe interactuar con esta a lo largo de toda la práctica, además de ser un modelo que requiere de una animación de deformación.
- Para ejecutar mediciones de la probeta es necesario el modelo de un vernier.

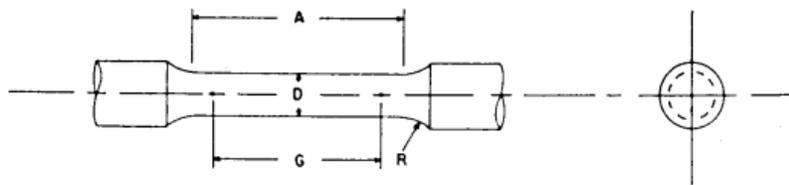
- Para realizar el ensayo de tracción se requieren modelos de cada una de las piezas de herramental, así como de la máquina universal de ensayos.
- La habitación donde se encuentra el laboratorio es también un modelo que se debe crear, lo mismo ocurre con las mesas donde se llevará a cabo la práctica.
- Modelos auxiliares como el soporte para mediciones de la probeta.

Debido a su disponibilidad, amplia gama de herramientas que ofrece y la gran cantidad de tutoriales que pueden encontrarse en internet; se eligió Blender para crear los modelos 3D del laboratorio.

Probetas

Para diseñar las probetas se tomó como base uno de los especímenes que se utilizan en el laboratorio de ingeniería de materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, comparando sus dimensiones con aquellas establecidas dentro de la norma ASTM E8, la cual estandariza los ensayos de tracción para materiales metálicos.

Tras medir la probeta del laboratorio, se encontró que el diámetro y la longitud de su sección reducida son de 9.1 [mm] y 56 [mm], respectivamente. Dichas medidas se ajustan mejor al Especímen 2 de la Figura 7, por lo tanto, se utilizaron las dimensiones de este para construir el modelo 3D de las probetas en Blender.



Dimensions, mm [in.]

For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter (E8M)

	Standard Specimen		Small-Size Specimens Proportional to Standard			
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5	
<i>G</i> —Gauge length	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	45.0 ± 0.1 [1.750 ± 0.005]	30.0 ± 0.1 [1.250 ± 0.005]	20.0 ± 0.1 [0.800 ± 0.005]	12.5 ± 0.1 [0.565 ± 0.005]	
<i>D</i> —Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	9.0 ± 0.1 [0.350 ± 0.007]	6.0 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]	4.0 ± 0.1 [0.160 ± 0.003]	2.5 ± 0.1 [0.113 ± 0.002]	
<i>R</i> —Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]	
<i>A</i> —Length of reduced section, min (Note 2)	75 [3.0]	54 [2.0]	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]	

Figura 7. Dimensiones para especímenes cilíndricos [33].

Para construir el modelo se partió del dibujo de un círculo de 15.8 [mm] de diámetro y este se extruyó 5.8 [mm] (igual a las medidas de la probeta física) para formar uno de los extremos desde los cuales se sujeta la probeta con el anillo metálico.

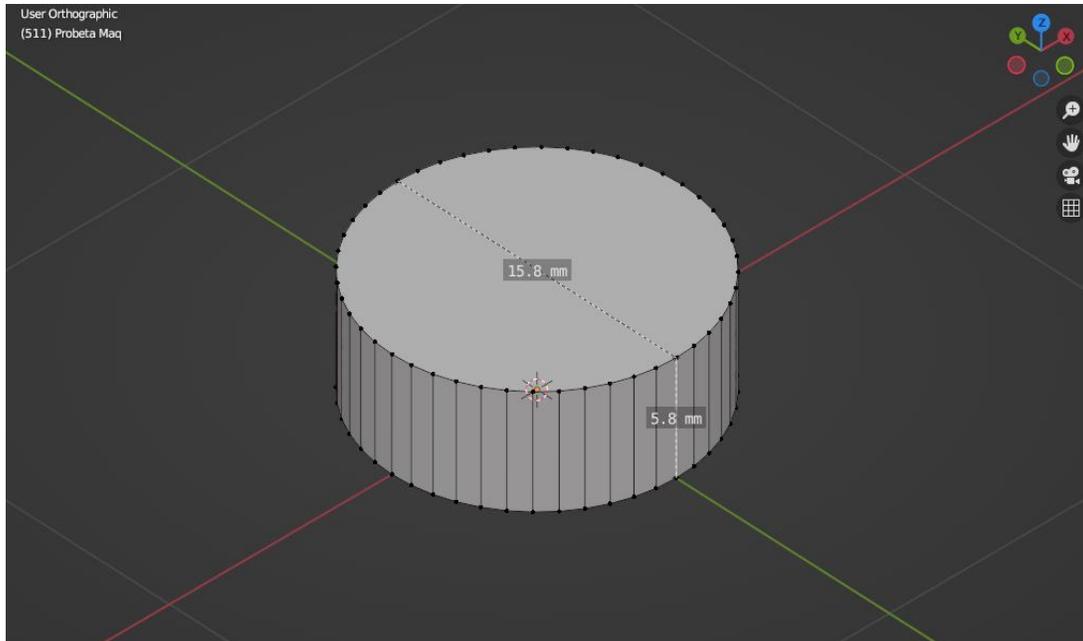


Figura 8. Primer extremo del modelo 3D de la probeta.

Después, en la cara superior del cilindro resultante se insertó un círculo más pequeño de 10.9 [mm] de diámetro y se extruyó 18.5 [mm] para formar la sección gruesa de la probeta que está antes del chaflán.

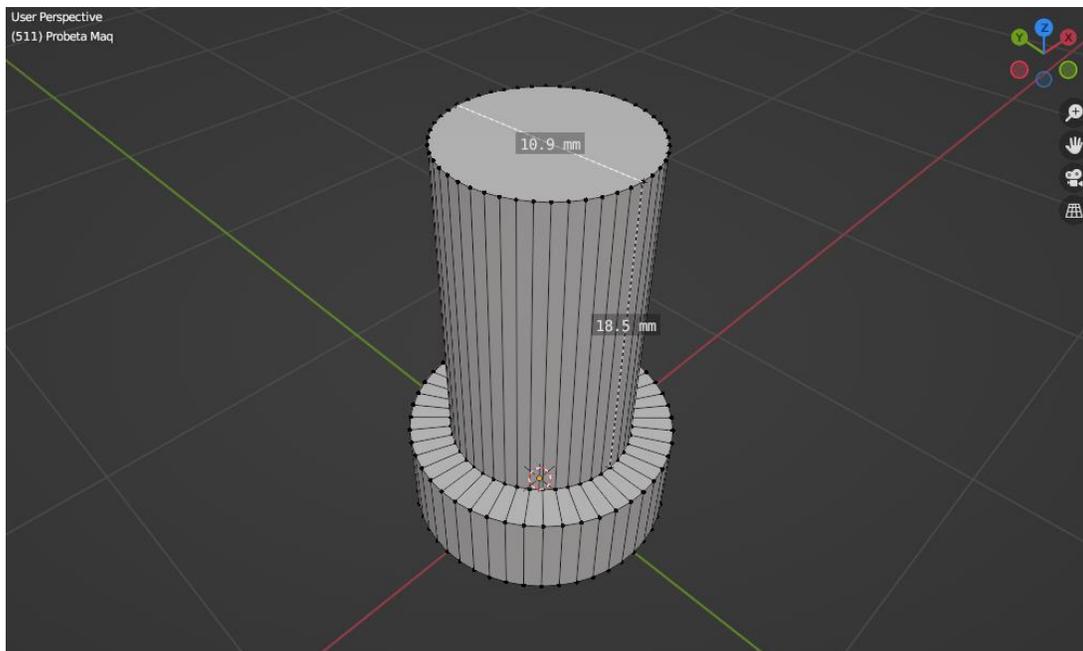


Figura 9. Primera sección gruesa de la probeta.

Para dar forma al chaflán, se realizó un corte de bucle 1 [mm] debajo del extremo final del cilindro recién creado y el diámetro de dicho extremo se redujo hasta ajustarlo a 9 [mm], correspondientes al diámetro de la sección reducida de la probeta.

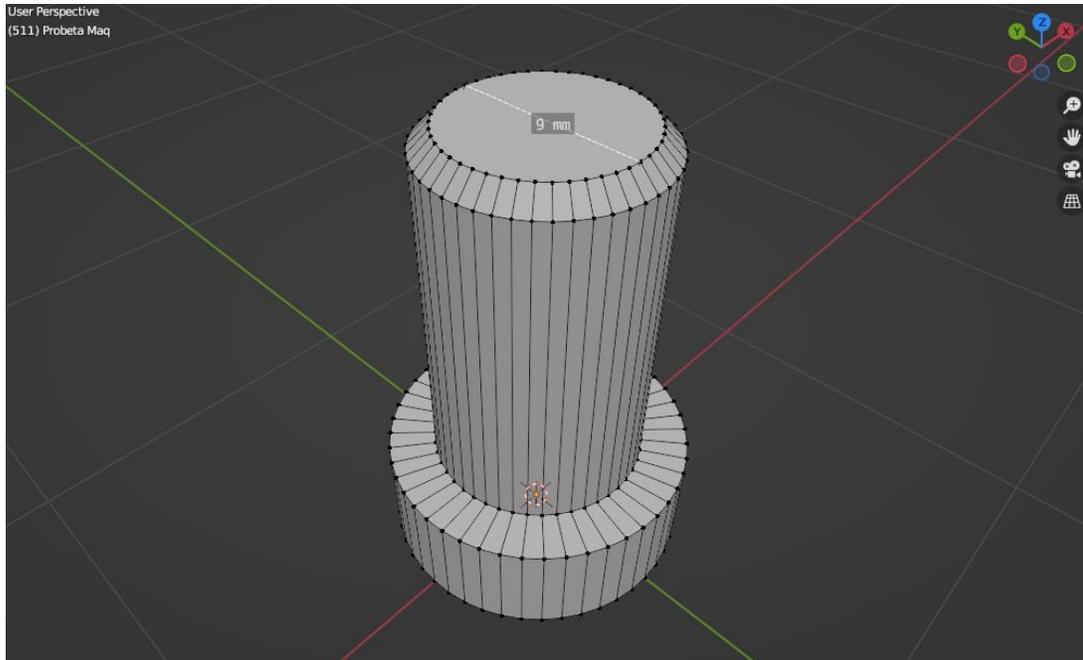


Figura 10. Chaflán de la probeta.

A continuación, se creó la sección reducida de la probeta extruyendo el borde del chaflán 54 [mm].

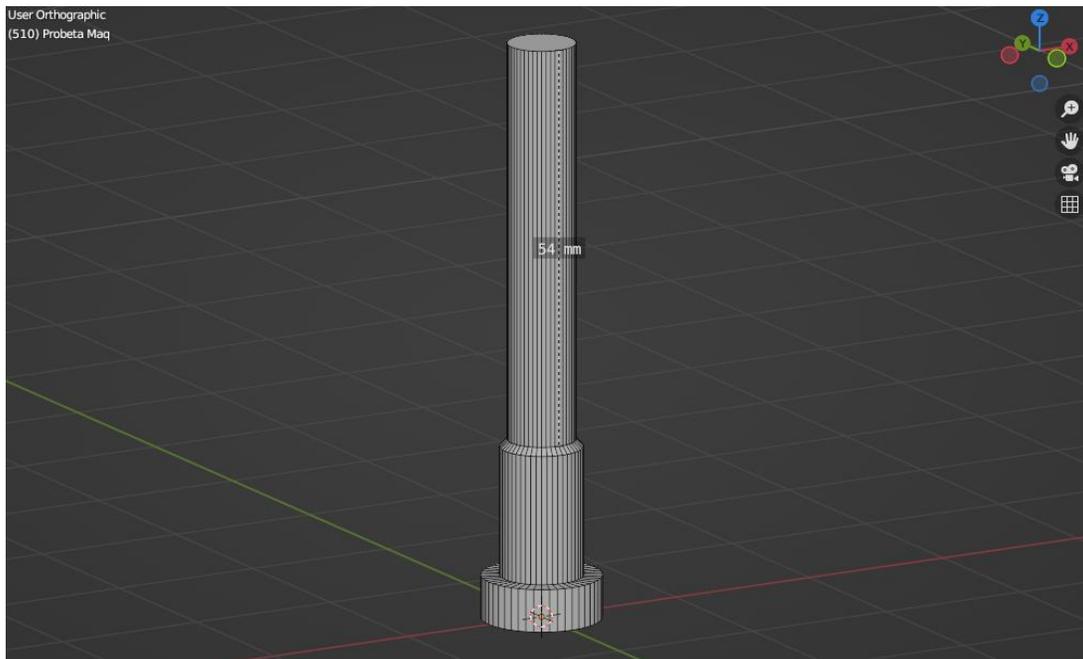


Figura 11. Sección reducida de la probeta.

Para construir las partes restantes de la probeta se realizaron extrusiones y cambios de diámetro similares a los hechos anteriormente, usando las medidas correspondientes para cada sección.

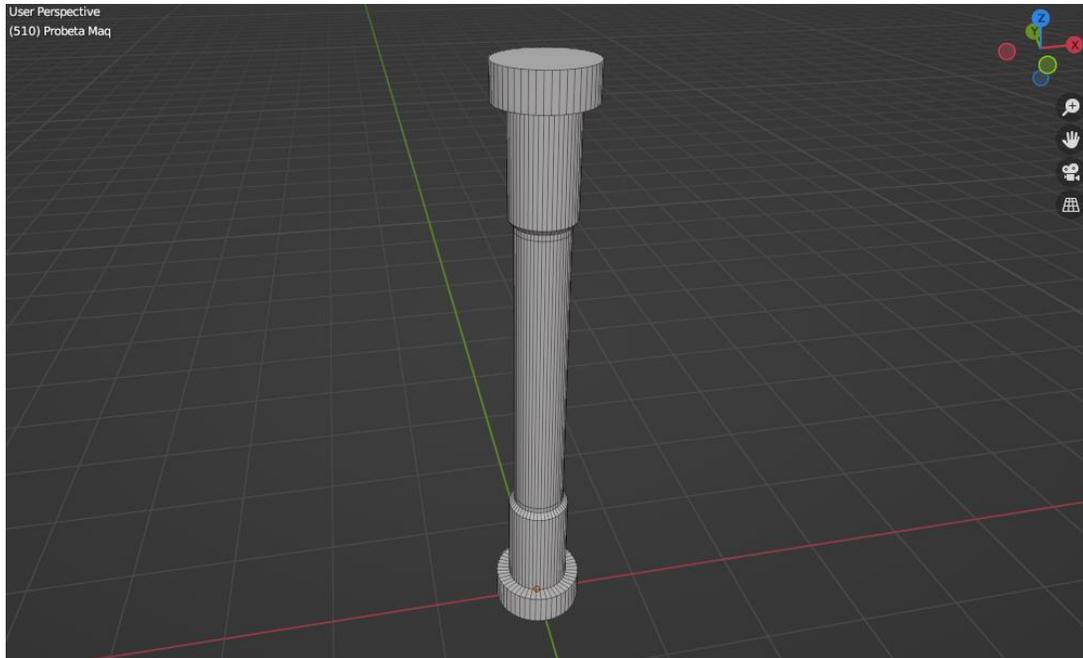


Figura 12. Modelo 3D de la probeta.

Adicionalmente, se realizó un corte de bucle a 1 [mm] de distancia de cada extremo de la sección reducida de la probeta para formar dos anillos delgados correspondientes a las marcas que se dibujan en las probetas antes de medirlas en el laboratorio.

Vernier

Para crear el modelo 3D del vernier se consultó un catálogo de la marca Mitutoyo para tomar como referencia las dimensiones de sus calibradores digitales. Las dimensiones seleccionadas fueron las que corresponden al vernier de 150 [mm] en la Figura 13.

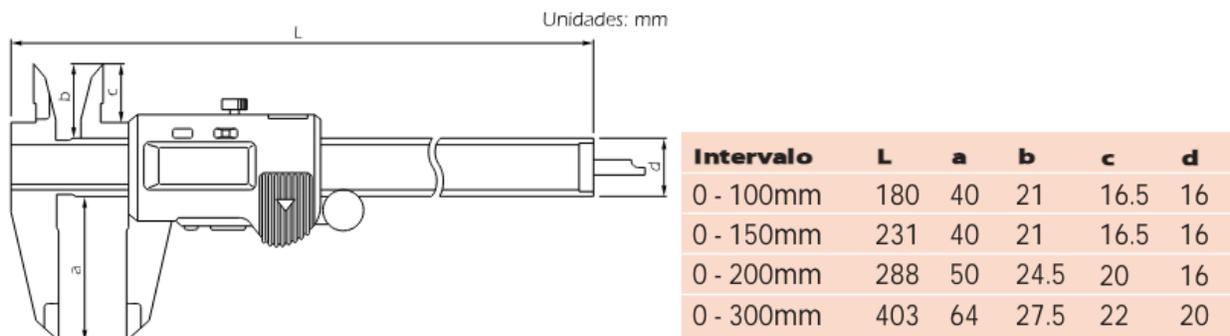


Figura 13. Dimensiones de referencia para el vernier [34].

El modelado comenzó con una barra rectangular de 231 [mm] de longitud, 16 [mm] de ancho y 4 [mm] de espesor. En la cara frontal del objeto se marcó una sección rectangular que corresponde a las escalas fijas del vernier.

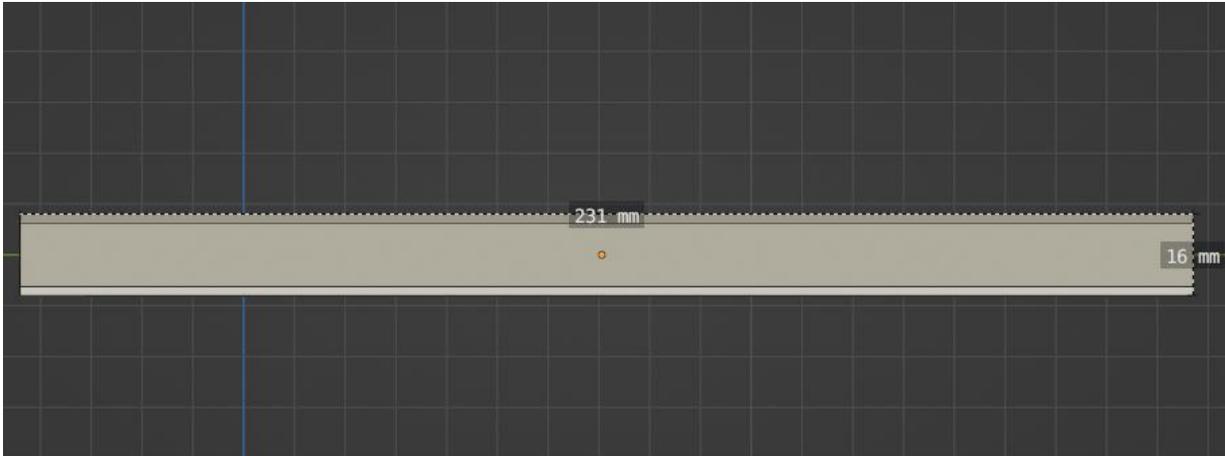


Figura 14. Barra rectangular.

En uno de los extremos de la barra se hicieron dos cortes en bucle para crear nuevas caras, a partir de las cuales se formarían las mordazas fijas del vernier. Para crear la mordaza inferior se realizó una extrusión de 40 [mm] y a esta se le añadieron más vértices mediante cuatro cortes en bucle. Finalmente, dichos vértices nuevos fueron ordenados para darle a la extrusión la forma afilada característica de las mordazas.

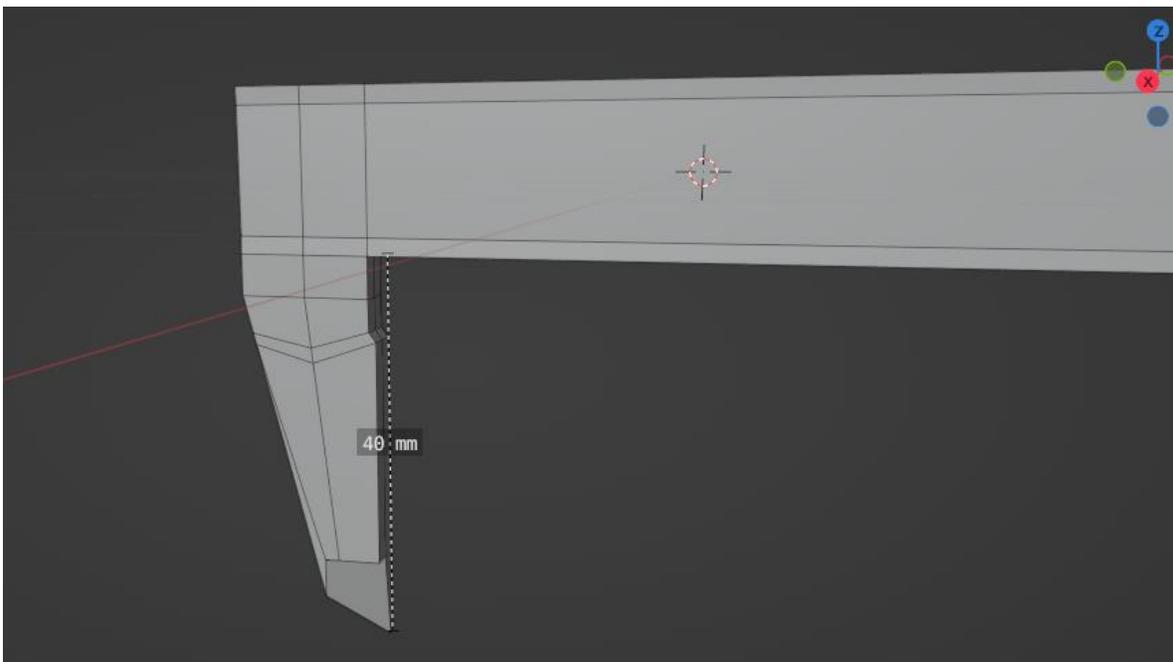


Figura 15. Mordaza fija inferior.

Se siguió un procedimiento similar para modelar la mordaza fija superior. En este caso, se comenzó con una extrusión de 4.25 [mm] para formar el “escalón” desde el cual empieza el filo de la mordaza. Finalmente, se extruyó la distancia restante para alcanzar 20.5 [mm] y se crearon nuevos vértices para poder dar forma al filo.

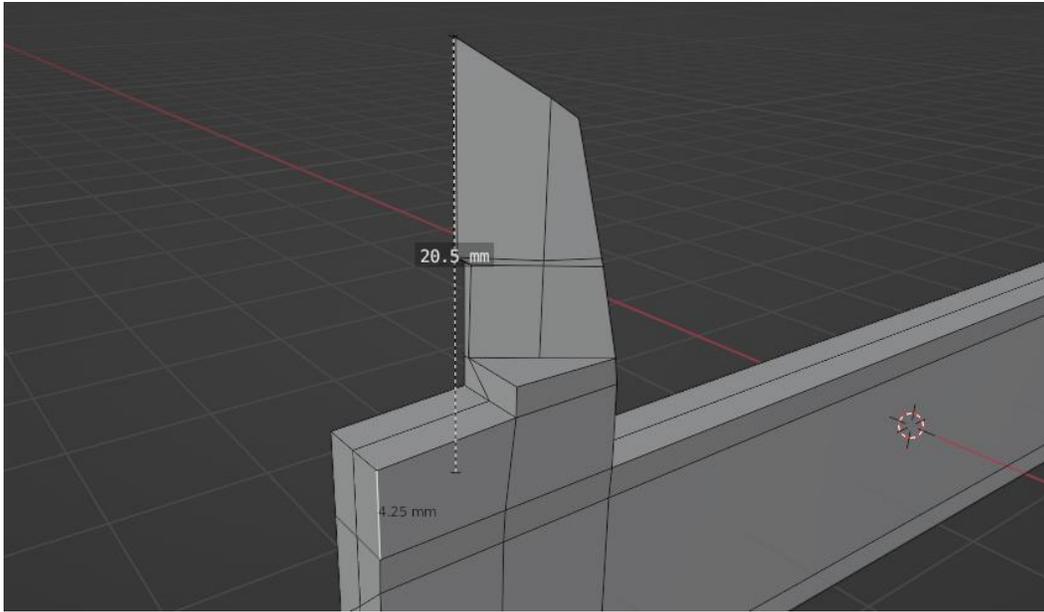


Figura 16. Mordaza fija superior.

Para terminar con la parte fija del vernier se creó un canal en la parte posterior de esta para que la varilla de medición de profundidades pueda moverse a través de él. También se agregó en el extremo final del canal un tope que en el instrumento real evita que la parte móvil del vernier se desprenda de la fija.

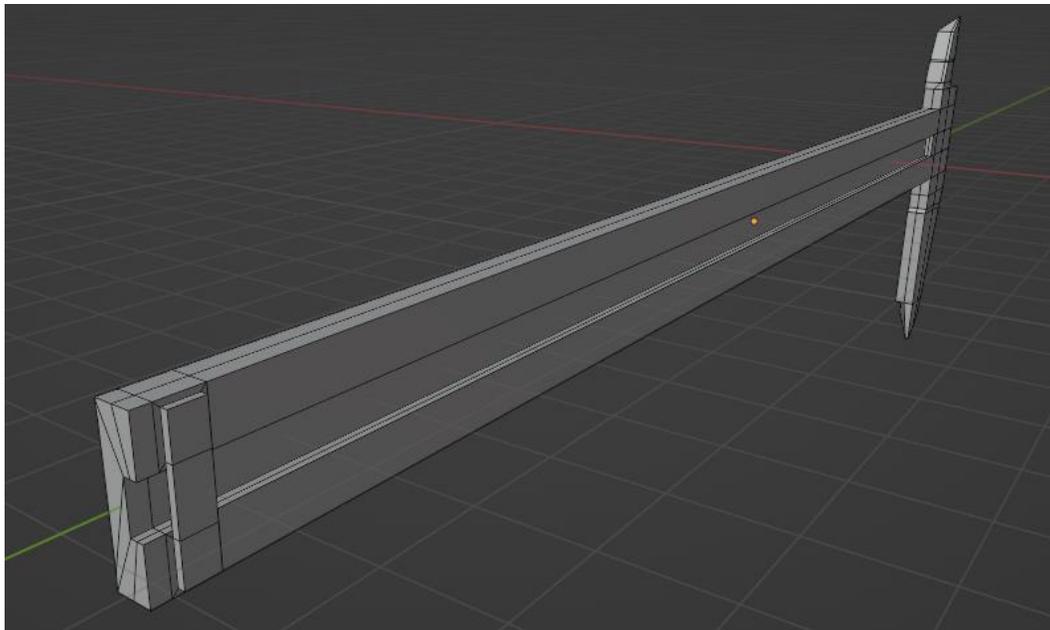


Figura 17. Canal posterior de la parte fija.

Para hacer la parte móvil del vernier se comenzó creando un bloque rectangular de modo que estuviera atravesado por el cuerpo de la parte fija. Sobre el bloque se aplicó un modificador booleano de diferencia para formar en él un hueco con la forma de la parte fija.

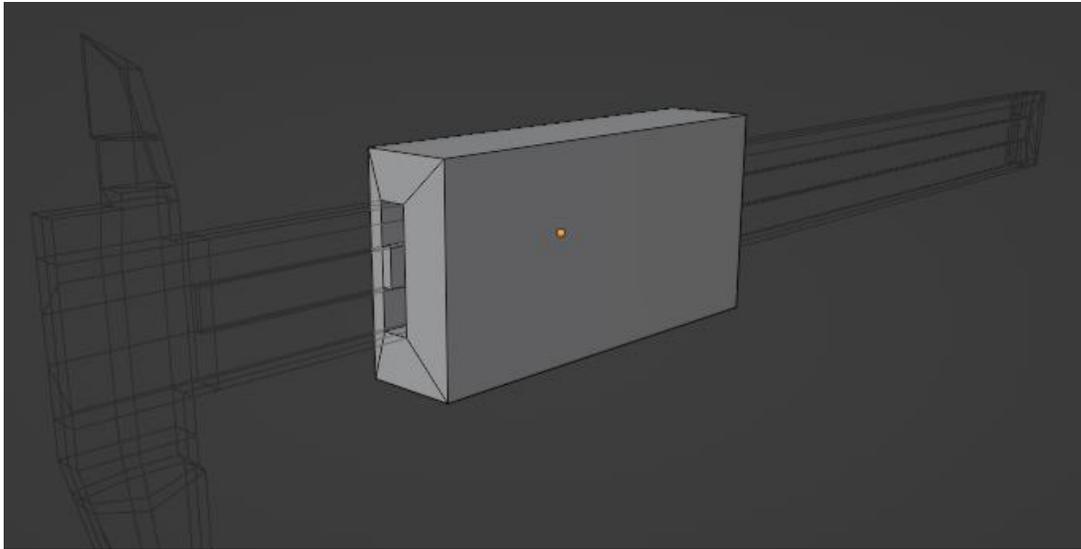


Figura 18. Cuerpo de la parte móvil después de aplicar el modificador booleano.

Las mordazas móviles se modelaron a partir de una copia de las fijas, gracias a la similitud que existe entre estas partes del vernier. Posteriormente, las nuevas mordazas se agregaron al cuerpo de la parte móvil.

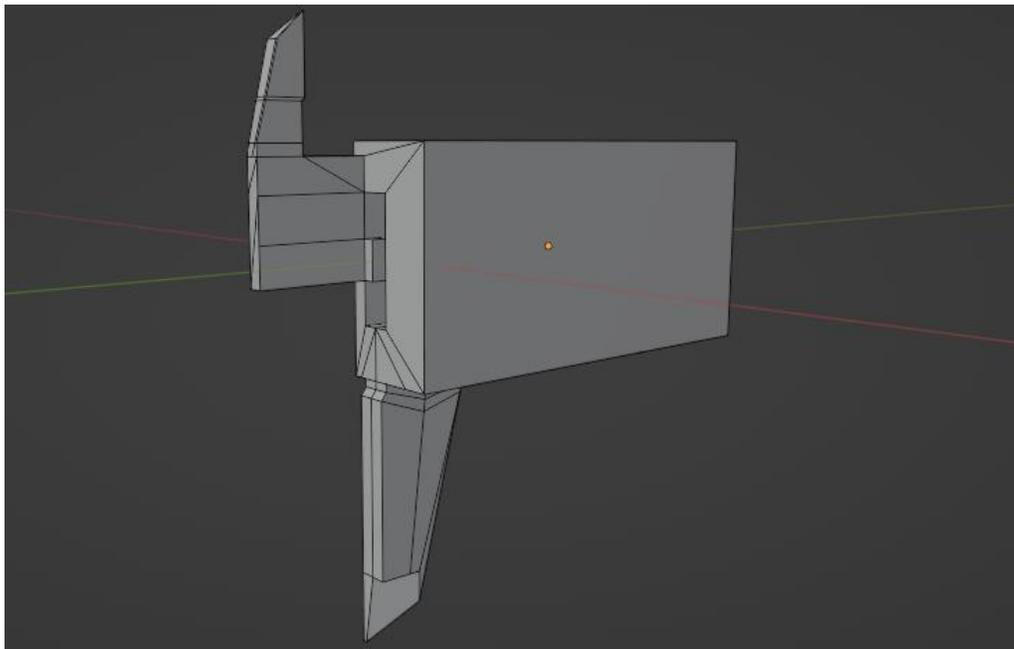


Figura 19. Mordazas móviles.

Por último, mediante extrusiones se añadieron los últimos detalles de la parte móvil: la varilla de profundidades, la pantalla, botones y el dispositivo de bloqueo del nonio.

Cabe destacar que, al momento de exportar el vernier al motor gráfico, las dos mallas que lo conforman podrán moverse de forma independiente aunque formen parte del mismo modelo.

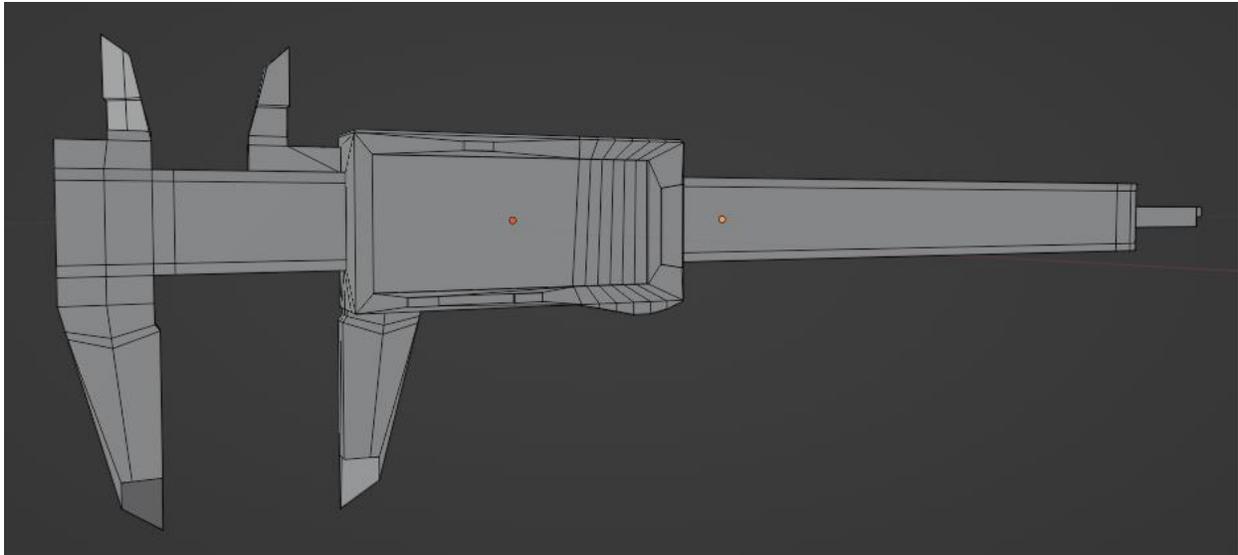


Figura 20. Modelo 3D del vernier.

Herramental

El herramental fue modelado tomando como referencia las fotografías del laboratorio físico y el modelo 3D de la probeta creado anteriormente.

Base atornillable

Este modelo partió de un cilindro con las medidas que se observan en la Figura 21. En la cara superior de dicho cilindro se insertó un círculo que después fue extruido para formar un chaflán en el borde superior del objeto.

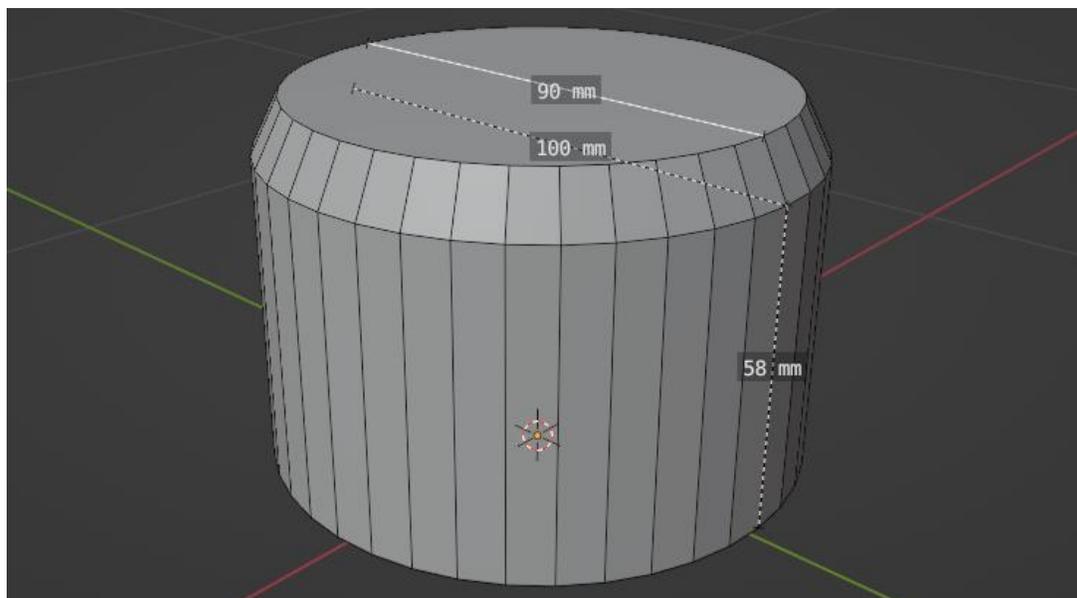


Figura 21. Cilindro con chaflán para la base atornillable.

Se repitió el último paso, esta vez para extruir un cilindro más pequeño en el centro de la cara superior del modelo.

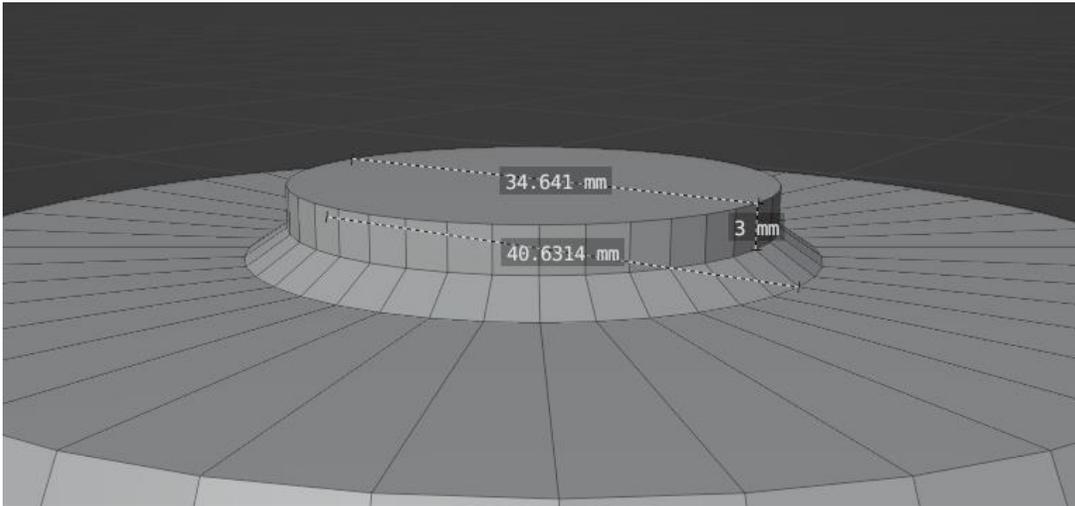


Figura 22. Extrusión con chaflán en la cara superior del modelo.

Para formar los barrenos de la base atornillable, se eliminó temporalmente la cara inferior del modelo y se crearon seis cilindros de 10 [mm] de diámetro, distribuidos dentro de este. Posteriormente, se reconstruyó la cara inferior de la base conectando el borde de esta con los vértices de los barrenos recién añadidos.

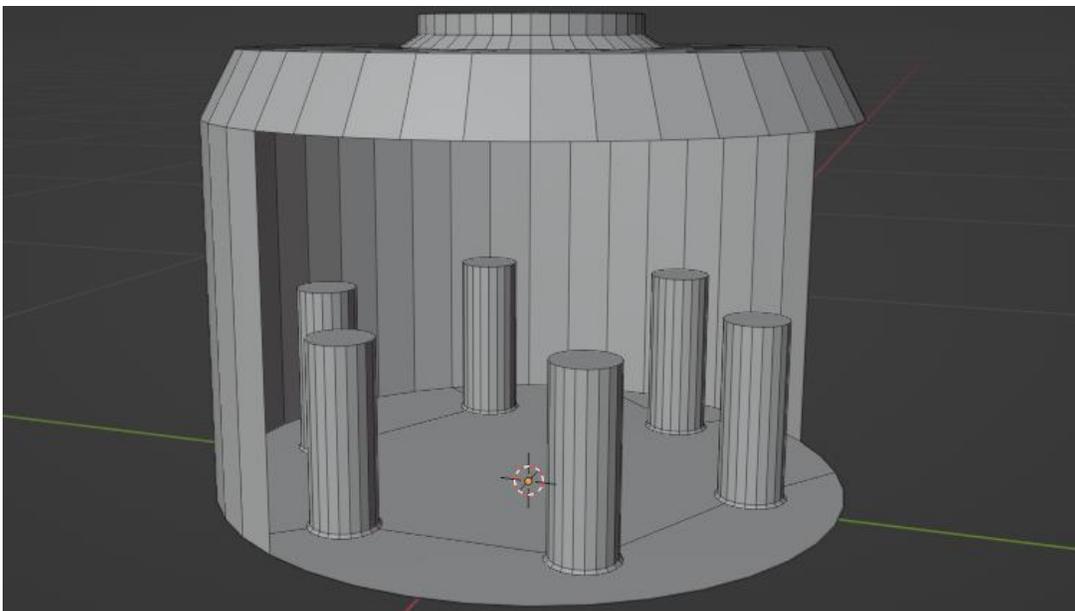


Figura 23. Barrenos de la base atornillable.

Regresando a la parte superior, se dibujó un hexágono circunscrito a la cara circular de la Figura 22 y este se extruyó para formar un prisma. Los bordes de este objeto se subdividieron para crear más vértices, los cuales después fueron unidos, dividiendo las

caras hexagonales. Por último, los vértices originales se movieron para dar el aspecto que la pieza real tiene en esta sección.

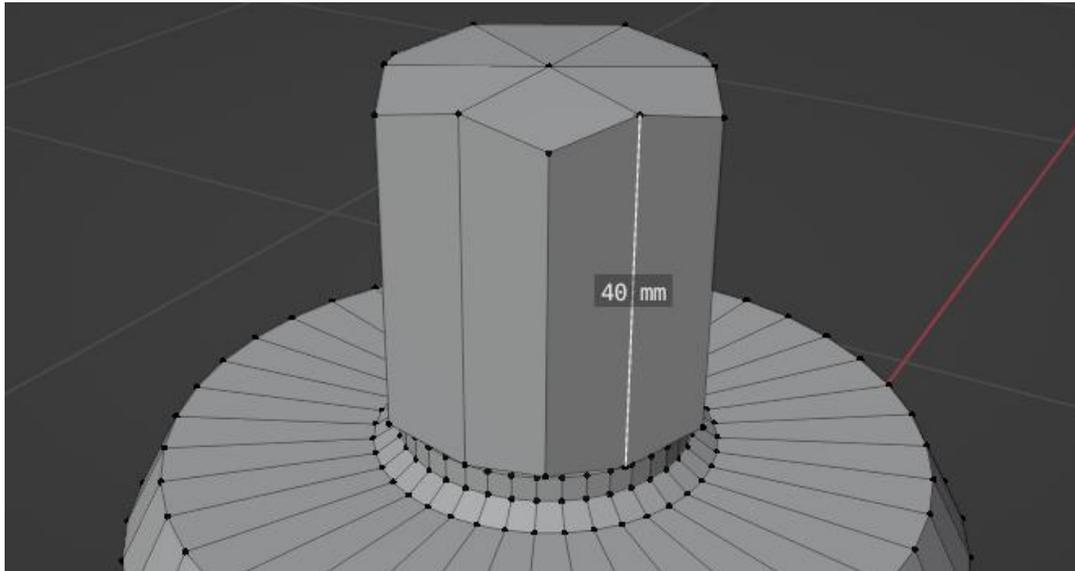


Figura 24. Sección con forma de prisma hexagonal.

Para modelar la sección atornillable de la pieza se dibujó un círculo sobre el prisma hexagonal y se extruyó para formar un cilindro. Para crear la perforación de la cara superior se insertó un círculo en medio de esta, al que después se le dio profundidad mediante dos extrusiones.

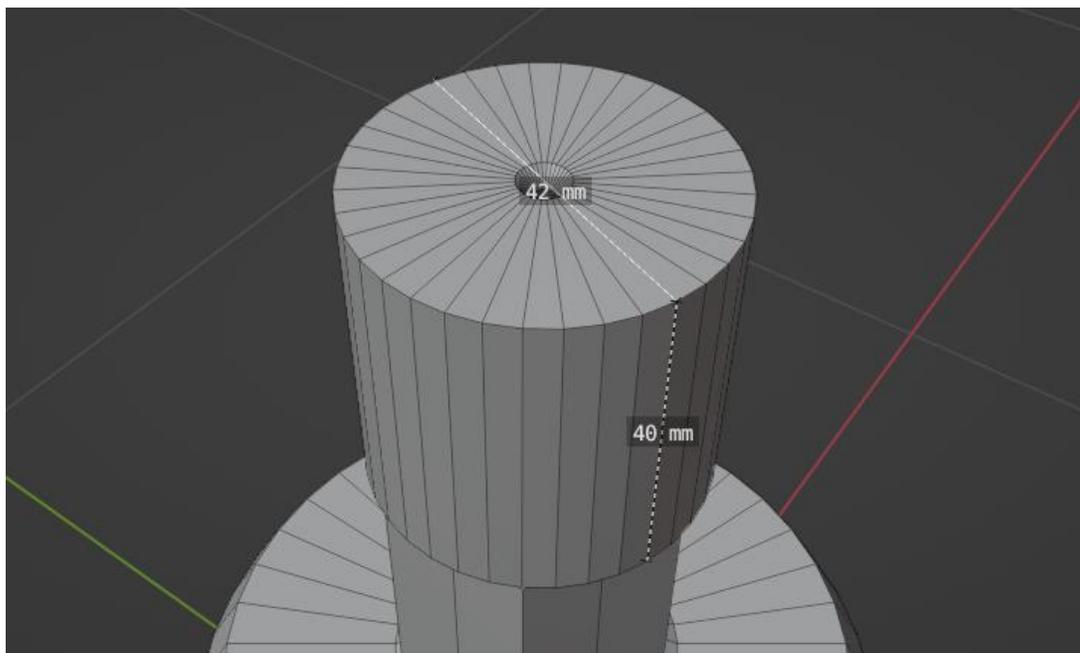


Figura 25. Cilindro con perforación en su cara superior.

Para crear la rosca de la sección atornillable se partió del dibujo de una sección transversal trapezoidal de 2.5 [mm] de altura, a la cual se le aplicó el modificador *screw* tomando como referencia el cilindro recién creado.

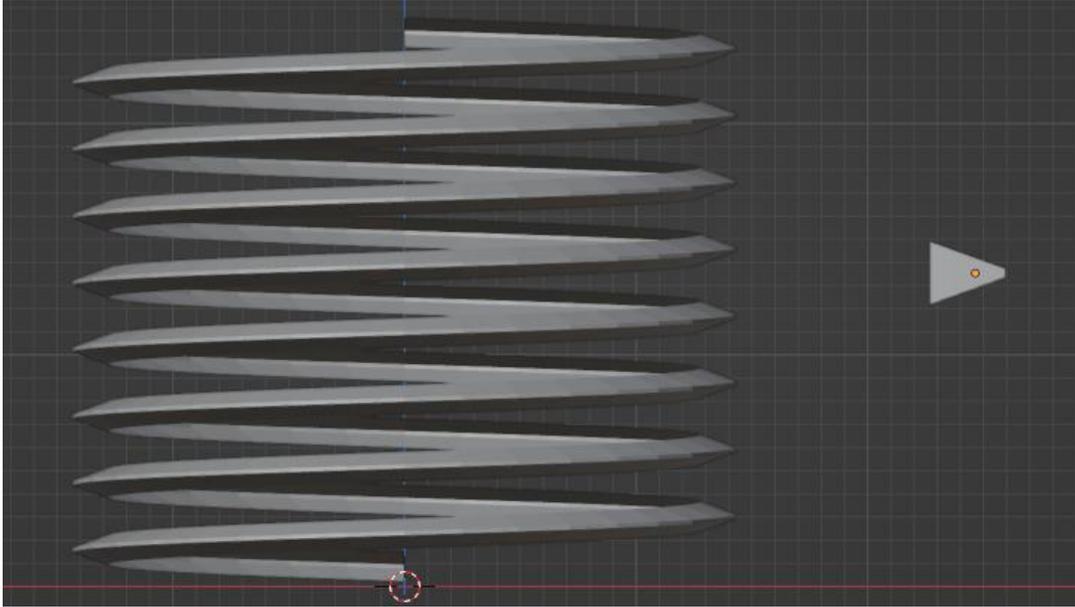


Figura 26. Rosca de la parte atornillable junto a su sección transversal.

Finalmente, se añadieron el cilindro perforado y su rosca al resto de la base atornillable para completar el modelo.

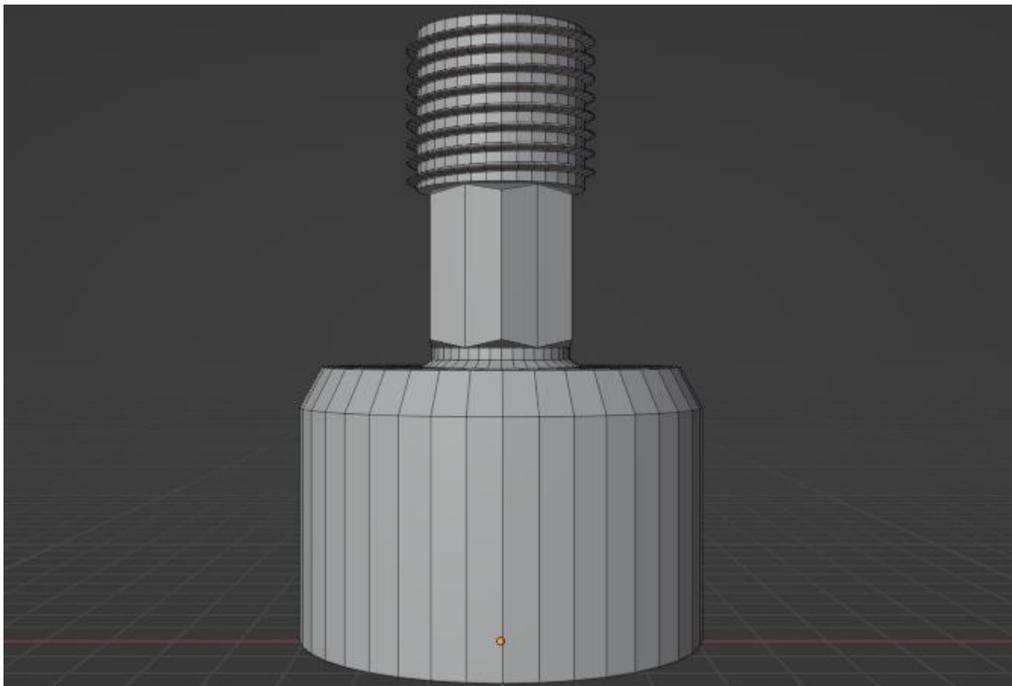


Figura 27. Modelo 3D de la base atornillable.

Mordaza

Para crear este modelo se inició con un círculo base de 100 [mm] de diámetro. Por separado, se dibujaron siete círculos adicionales correspondientes al agujero central de la mordaza y a las perforaciones para albergar tornillos. Dichos círculos se añadieron como agujeros a la base mediante un modificador booleano de diferencia.

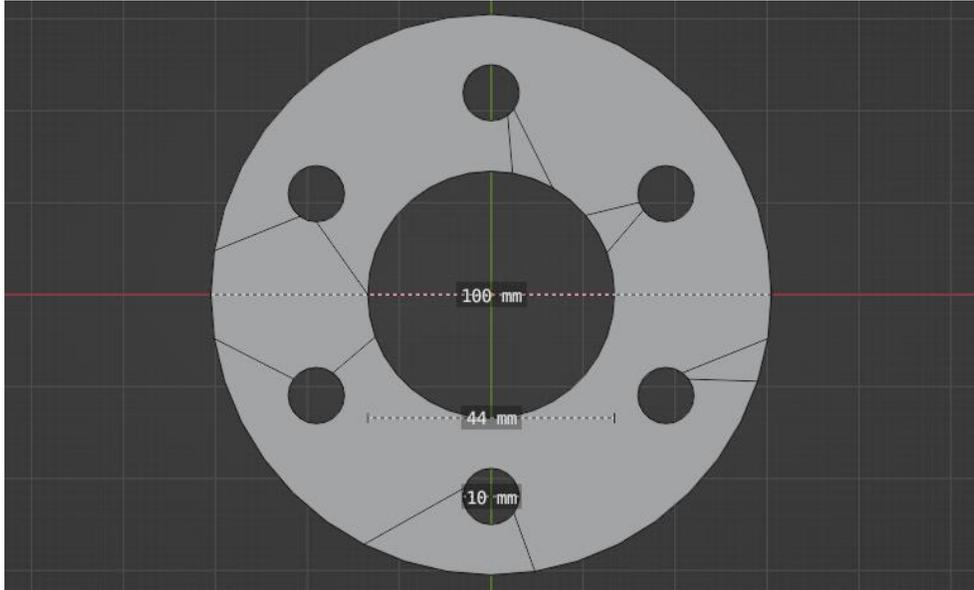


Figura 28. Plano inicial de la mordaza con perforaciones para tornillos.

Para darle volumen a la mordaza se extruyó el plano inicial 35 [mm]. Se redujo ligeramente el borde superior del agujero central del modelo para que adquiriera la forma cónica que le permite a la mordaza real retener al anillo metálico.

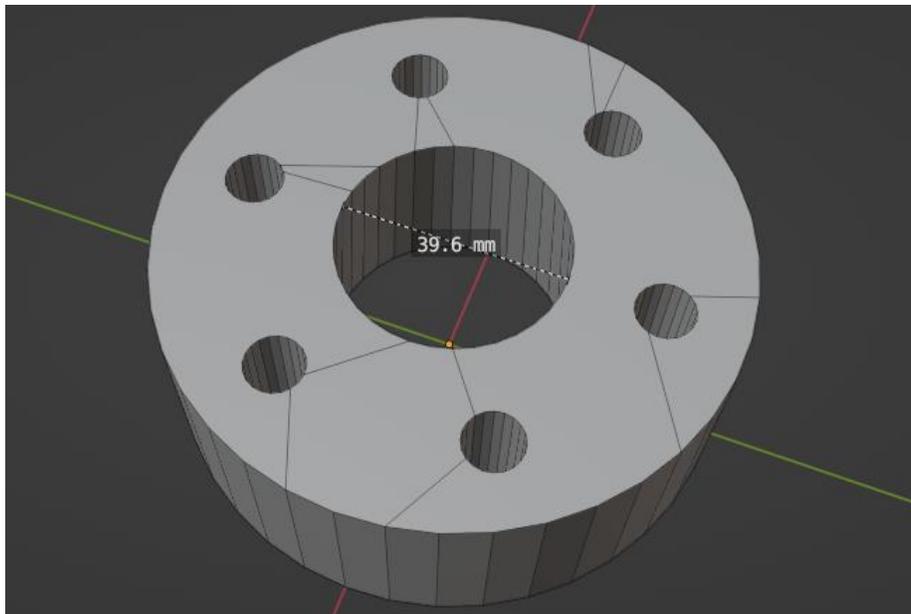


Figura 29. Cuerpo de la mordaza.

Por último, para crear los espacios donde se alojan las cabezas de los tornillos se insertaron dos cortes en bucle: uno a 5 [mm] y el otro a 1 [mm] del borde superior de cada perforación. Con ayuda de estos cortes se escalaron las partes superiores de las perforaciones y se dio forma a las cavidades.

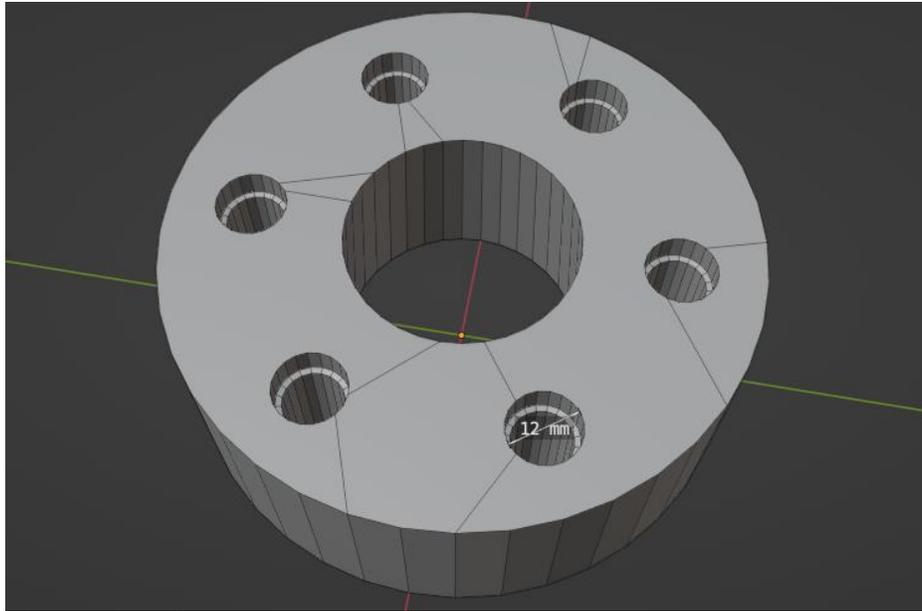


Figura 30. Modelo 3D de la mordaza.

Anillo metálico

Este modelo se construyó partiendo de la cara superior de la mordaza. Primero se trazó un disco de 38 [mm] de diámetro y en el centro de este se extruyó un agujero de 22 [mm] de diámetro con 8 [mm] de profundidad. El proceso se repitió dentro del agujero para crear otro, ahora de 14 [mm] de diámetro y 5 [mm] de profundidad.

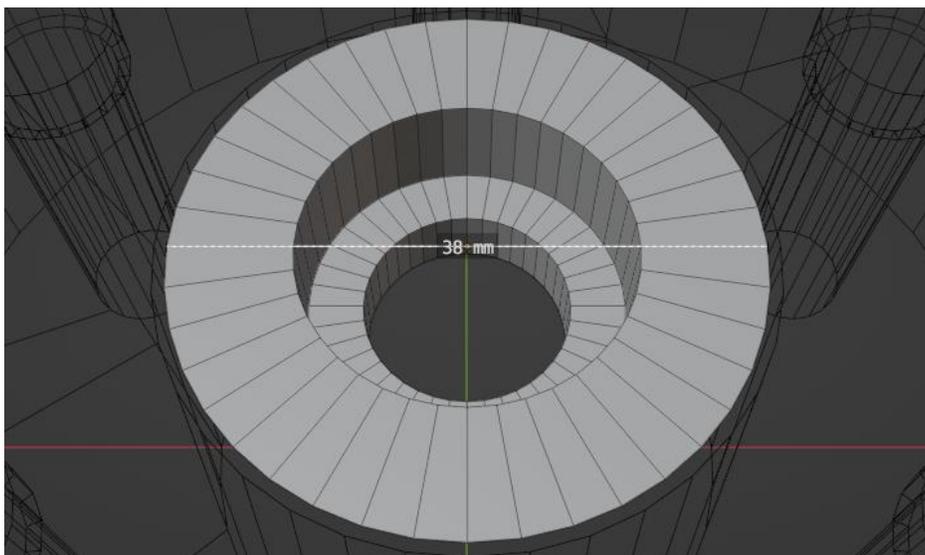


Figura 31. El modelo del anillo comenzó a la altura de la cara superior de la mordaza.

El borde del disco inicial se extruyó hasta llegar a la misma profundidad que el último agujero creado. Para rellenar la cara inferior del modelo se realizó una operación *bridge* entre los dos bordes circulares antes mencionados.

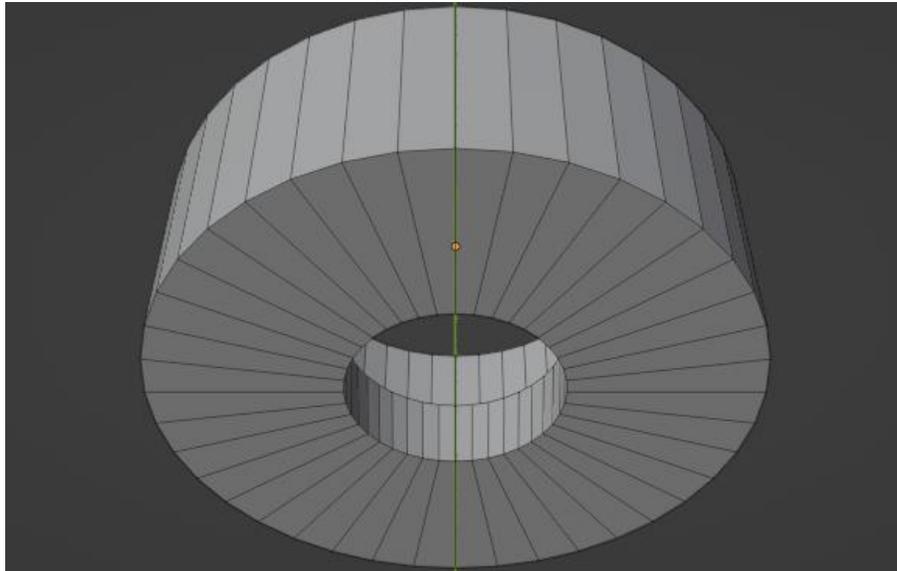


Figura 32. Cara inferior del anillo metálico.

El borde inferior de la pieza se agrandó para ajustar el anillo a la forma cónica del agujero de la mordaza. Finalmente, el modelo se dividió por la mitad para poder manejar el anillo como dos partes que se complementan.

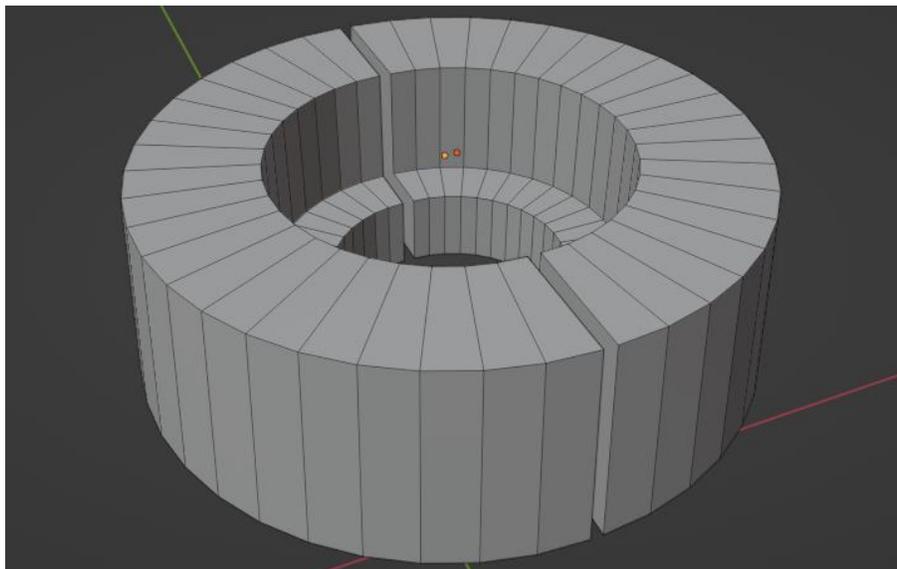


Figura 33. Modelo 3D del anillo metálico.

Tornillos

Para crear el cuerpo de un tornillo se partió de un cilindro de 8 [mm] de diámetro y 45.7 [mm] de altura. En la parte superior del objeto se extruyó un nuevo cilindro, el cual

después fue agrandado para formar la cabeza del tornillo. La huella de dicha cabeza se formó insertando un hexágono y hundiéndolo mediante una extrusión.

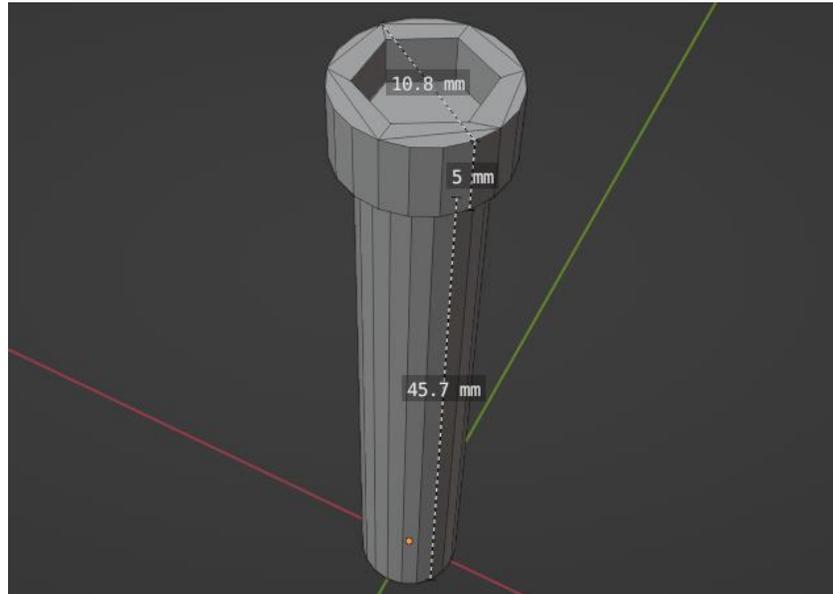


Figura 34. Cuerpo del primer tornillo.

La rosca del tornillo se construyó del mismo modo que la de la mordaza: primero se dibujó una sección transversal, esta vez triangular, y luego se le aplicó el modificador *screw* para transformarla en una rosca, tomando el propio tornillo como referencia.

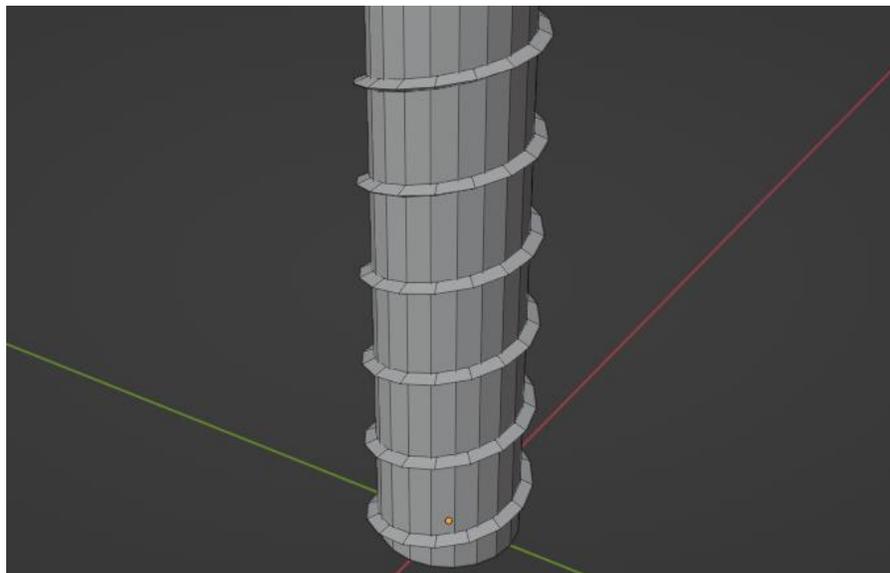


Figura 35. Rosca del tornillo.

Una vez completado el primer tornillo, este se duplicó hasta obtener un total de seis. Todos los tornillos se unieron para poder trabajar con ellos como si fuesen un solo modelo y, por último, se ordenaron para que sus posiciones coincidieran con las perforaciones de la mordaza.

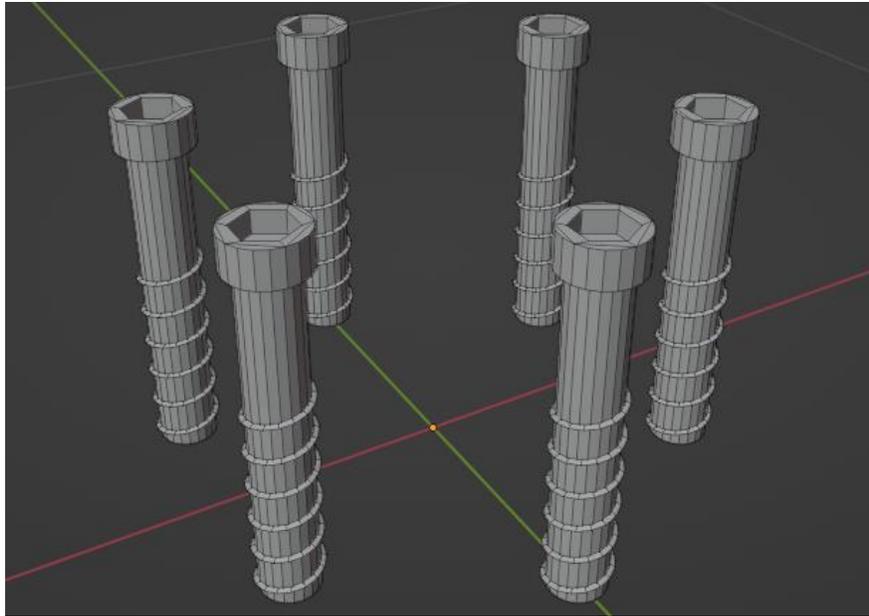


Figura 36. Modelo 3D de los tornillos.

Máquina universal de ensayos

La máquina, al igual que el herramental, se modeló a partir de las fotografías tomadas dentro del laboratorio de ingeniería de materiales. Este modelo fue dividido en tres secciones: una parte fija, una parte móvil y el panel de control.

Parte fija de la máquina de ensayos

La sección fija abarca la mayor parte de la máquina, pues comienza desde la base que está en contacto con el piso, siguiendo con la mesa donde se atornilla el ensamble de herramental inferior y las columnas que desplazan el cabezal móvil.



Figura 37. Izquierda: base de la máquina, mesa de trabajo, columnas y panel de control. Derecha: viga superior y cabezal móvil con la celda de carga.

El primer paso fue crear un bloque rectangular con las medidas que se observan en la Figura 38 y hacerle un chaflán de 40 [mm] en una de sus aristas superiores.

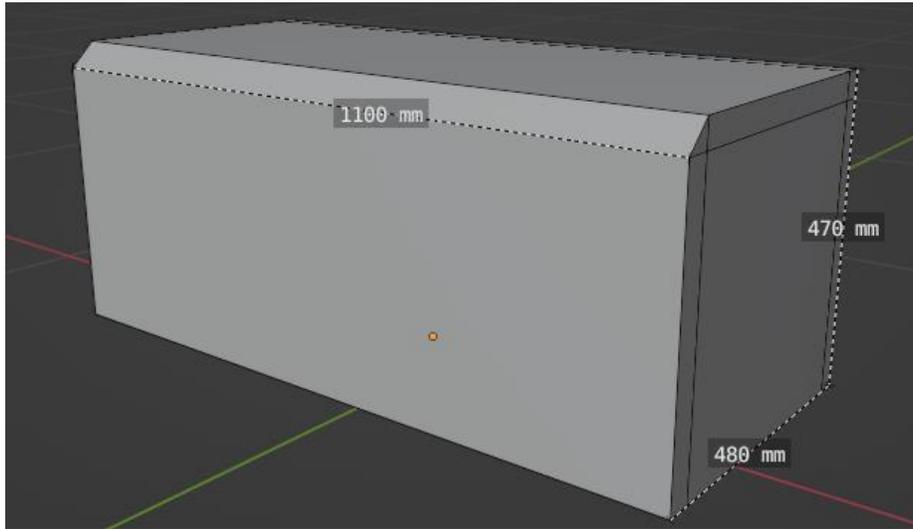


Figura 38. Bloque inicial de la máquina de ensayos.

Al bloque se le hicieron un par de cortes en bucle longitudinales para crear nuevas caras a partir de las cuales se extruyeron la mesa de trabajo y los paneles laterales.

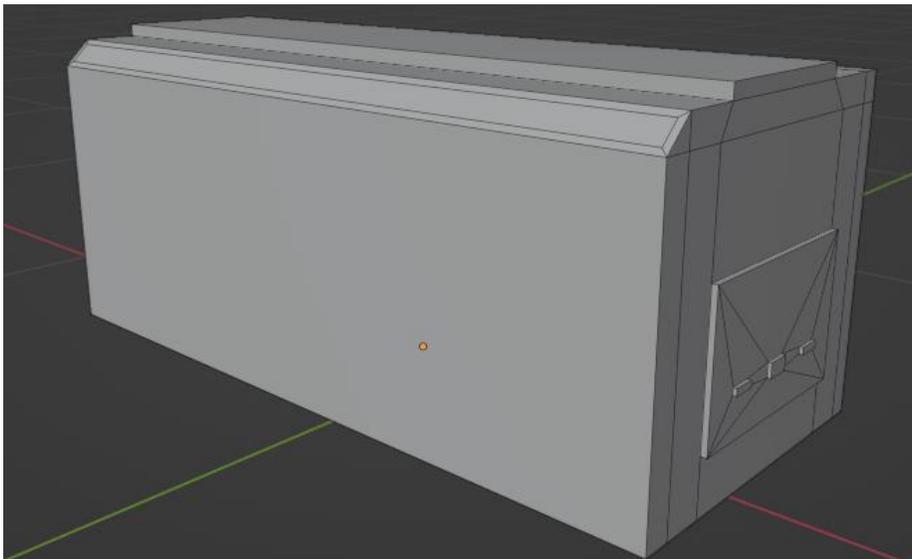


Figura 39. Extrusiones de la mesa de trabajo y uno de los paneles laterales.

A continuación, se crearon más caras con cortes en bucle para poder modelar los pies de la máquina a partir de estas. Mediante un par de extrusiones se dio forma a la zona bajo la base de la máquina y desde allí se extruyeron cuatro pies con forma rectangular.

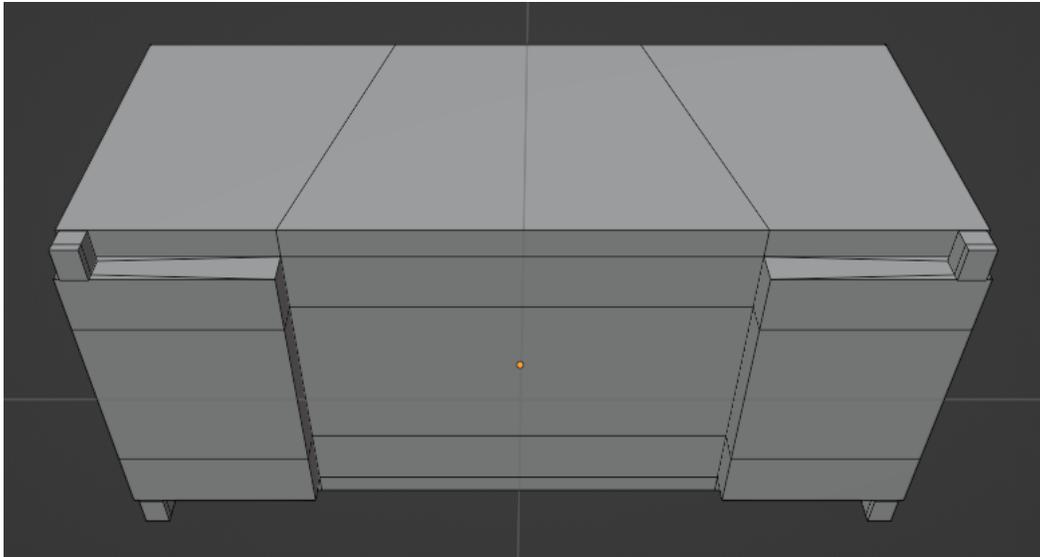


Figura 40. Zona inferior de la máquina.

La base fija donde se atornilla el ensamble de herramienta inferior tiene una geometría muy parecida a la mordaza modelada anteriormente, por lo cual, para crear la estructura principal de esta parte de la máquina se siguieron los mismos pasos con los que se obtuvo el modelo de la Figura 29, aunque usando distintos diámetros.



Figura 41. Base fija para atornillar el herramienta.

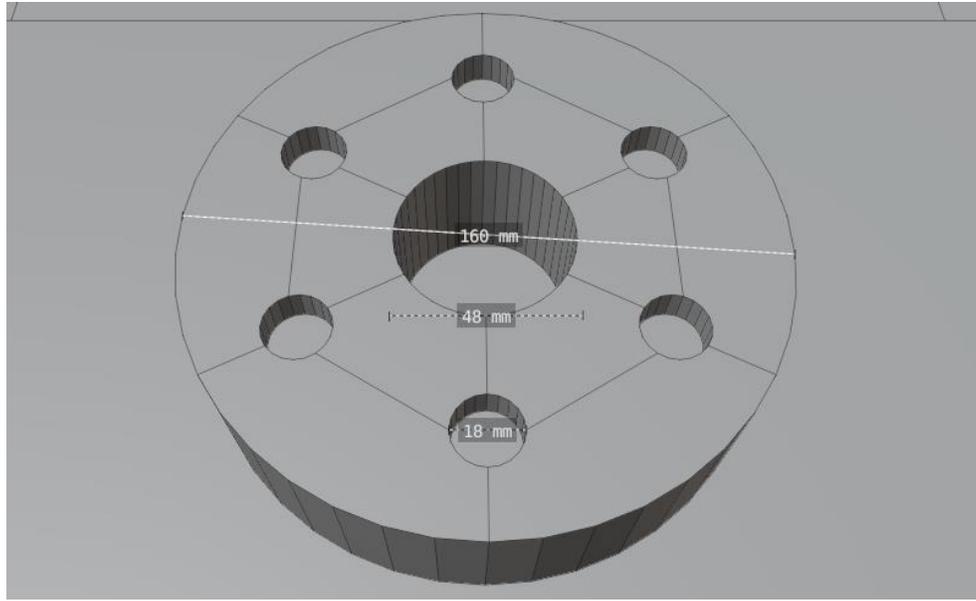


Figura 42. Estructura principal de la base fija.

Tomando en cuenta que la rosca de esta base fija es la contraparte de la que tiene la base atornillable, se utilizó la misma sección transversal para crearla. En esta ocasión, la sección transversal se rotó 180° en el eje Z para que, al momento de aplicar el modificador *screw*, la rosca generada tuviese una orientación interna.

Por último, para llenar las perforaciones se reutilizaron las cabezas de los tornillos creadas previamente.

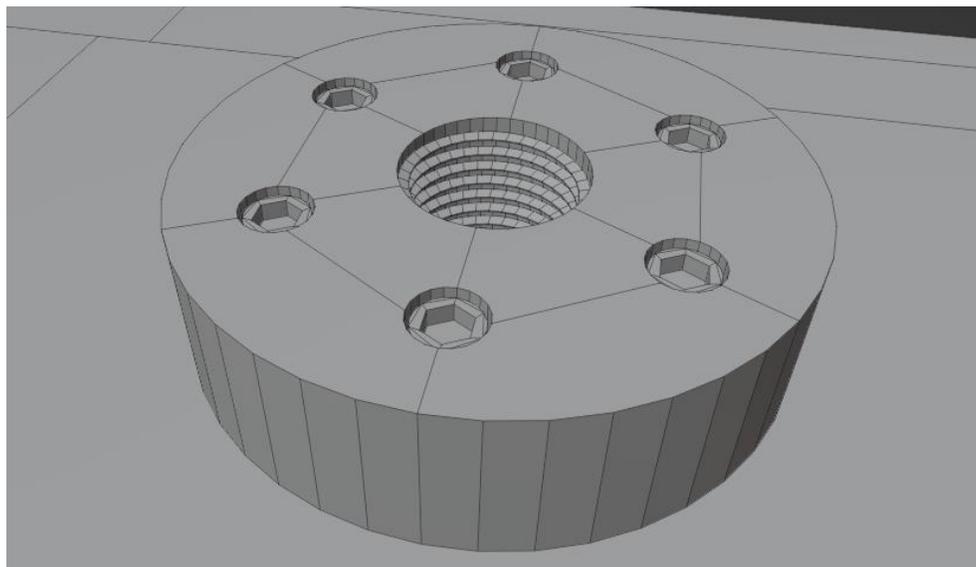


Figura 43. Base fija con rosca y tornillos.

Sobre la mesa de trabajo se extruyeron dos prismas rectangulares para formar las columnas de la máquina y, posteriormente, se les aplicó una extrusión para volverlos

huecos. En los extremos superiores de estas columnas hicieron cortes en bucle para crear nuevas caras que, tras ser conectadas, permitieron formar la viga superior.

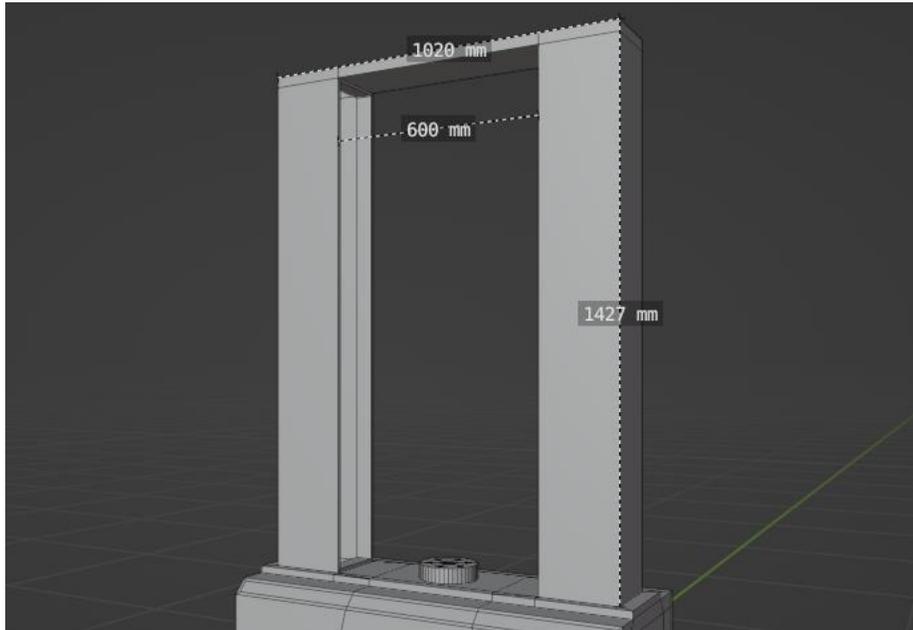


Figura 44. Columnas y viga superior de la máquina.

A continuación, se añadieron fuelles para cerrar los huecos de las columnas y desde la mesa de trabajo se extruyó la varilla de los interruptores de límite. Por último, en la columna derecha se realizaron tres cortes en bucle para poder darle forma a la base del panel de control.

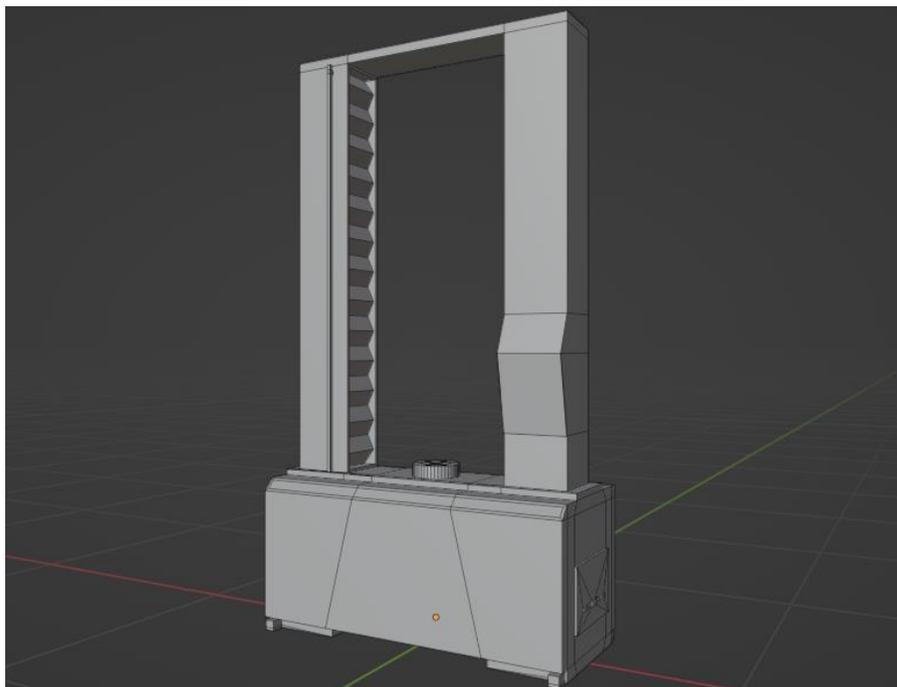


Figura 45. Modelo 3D de la parte fija.

Parte móvil de la máquina de ensayos

Esta parte del modelo consta del cabezal móvil y la celda de carga de la máquina. Se inició creando un bloque rectangular con las medidas que se observan en la Figura 46. En los extremos de dicho bloque se extruyeron un par de placas que se desplazarán dentro de los bordes de las columnas cuando el cabezal se mueva.

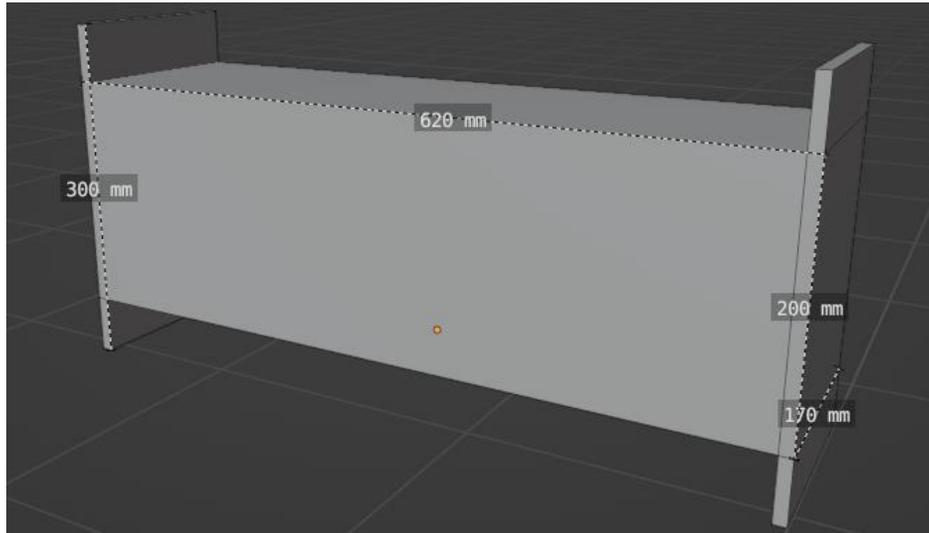


Figura 46. Cuerpo del cabezal móvil.

La base circular debajo del cabezal móvil tiene una geometría casi idéntica a la de la base fija de la Figura 43, por lo que se modeló a partir de esta última. Se hizo un duplicado de la base fija, se eliminó su agujero central, al igual que su rosca y se escaló para ajustarla al tamaño del cabezal. Por último, se movieron las cabezas de los tornillos para que estas sobresaliesen de sus huecos.

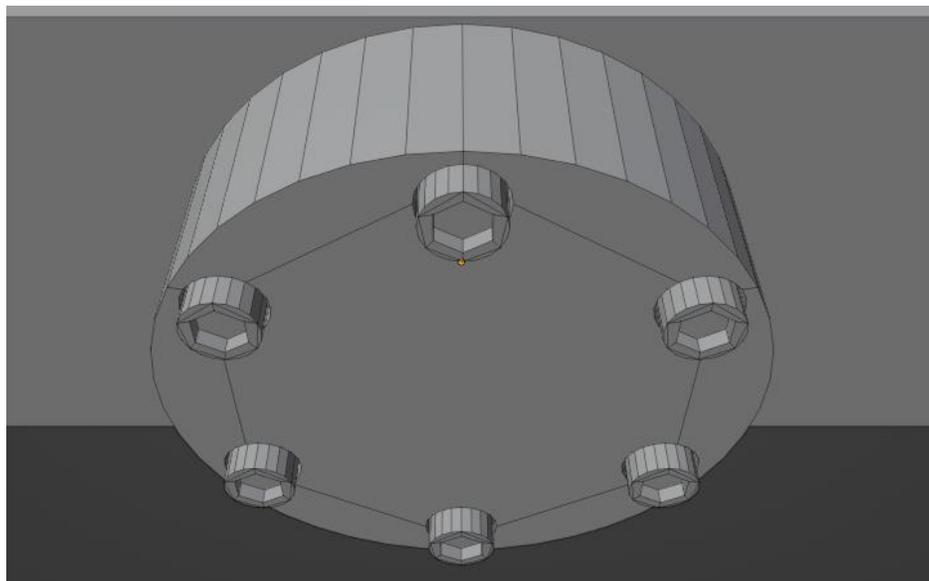


Figura 47. Base circular ubicada debajo del cabezal móvil.

El caso de la celda de carga fue similar al de la pieza anterior, por lo que también se modeló a partir de la base fija. Tras obtener un duplicado de la geometría bastó un extender su altura hasta alcanzar 160 [mm]. Por último, en la esquina superior izquierda del cabezal se extruyó el actuador para los interruptores de límite.

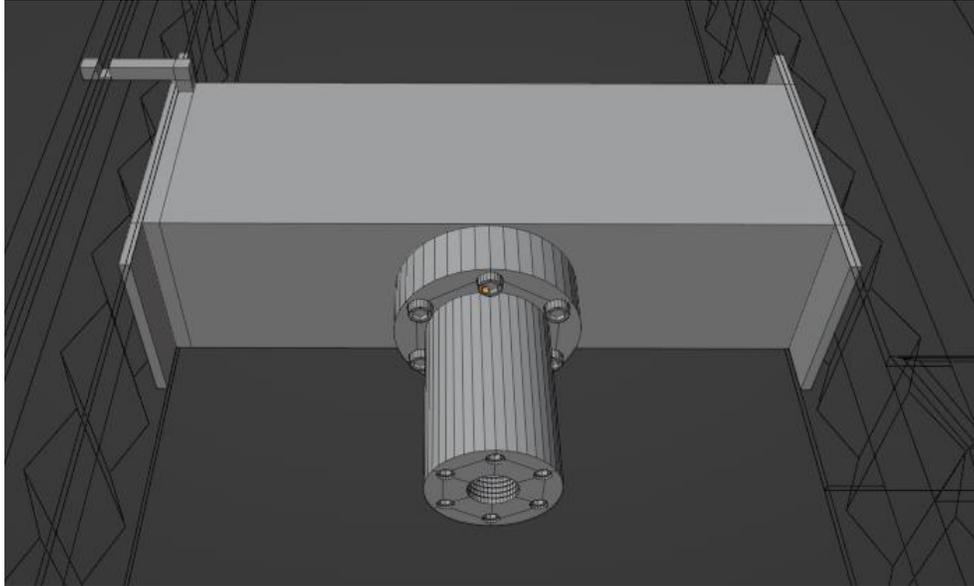


Figura 48. Modelo 3D del cabezal móvil.

Panel de control de la máquina de ensayos



Figura 49. Panel de control de la máquina universal de ensayos.

Para crear el panel de control se partió de un plano rectangular insertado en la base previamente creada en medio de la columna derecha de la máquina. El panel se dividió

en cuatro secciones y dentro de cada una se insertaron caras para después extruir los controles.

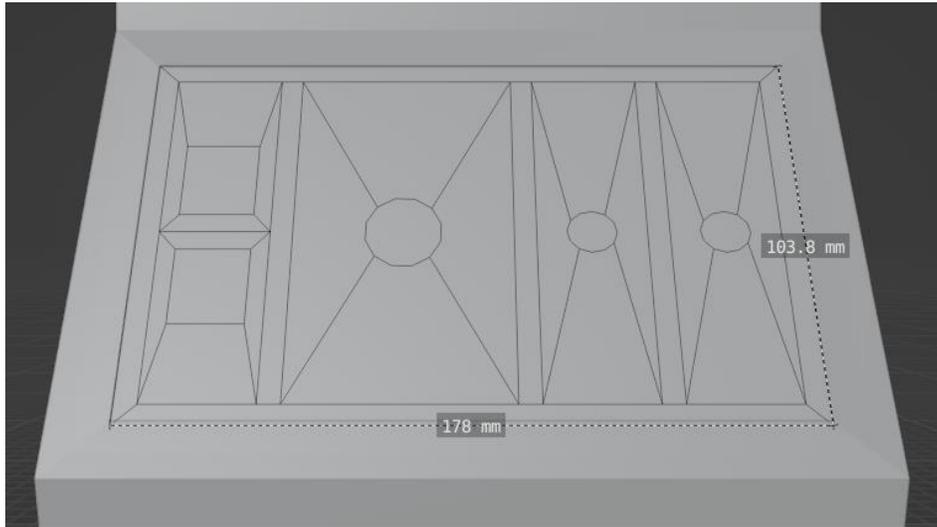


Figura 50. Plano inicial del panel de control.

Mediante extrusiones se crearon los botones cuadrados para mover el cabezal, el interruptor de velocidad, el de encendido y el botón de paro de emergencia.

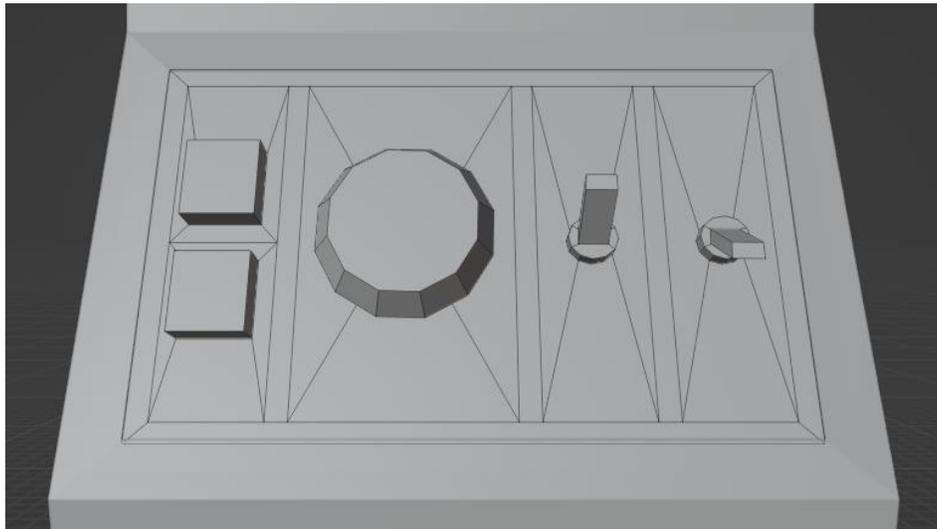


Figura 51. Modelo 3D del panel de control.

Al igual que ocurre con el vernier, al momento de exportar el modelo de la máquina este contendrá las mallas correspondientes a sus tres partes, pero estas podrán moverse y ser animadas de forma independiente.

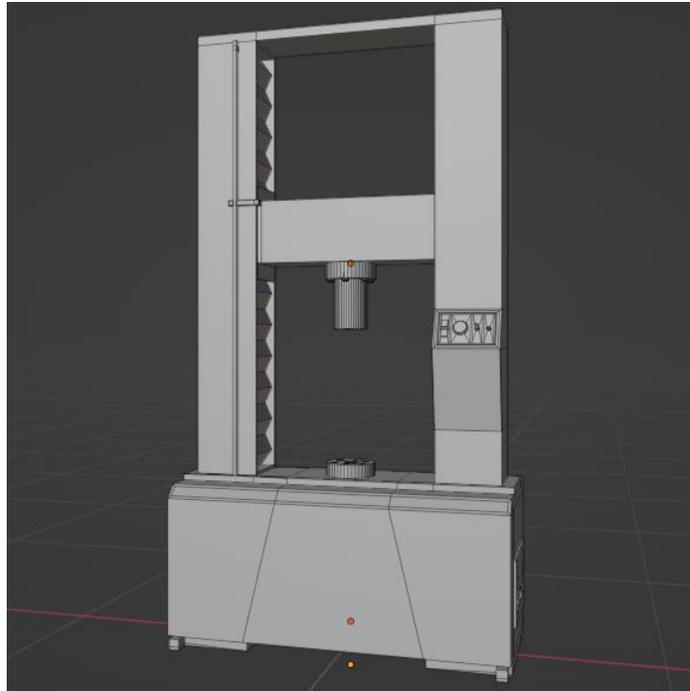


Figura 52. Modelo 3D de la máquina universal de ensayos.

Laboratorio

Tomando en cuenta los resultados del procedimiento de virtualización se decidió dividir el laboratorio en cuatro secciones, para que dentro de cada una puedan seguirse los pasos de una de las etapas de la práctica: medición, ensamble, ejecución del ensayo y visualización de resultados.

Habitación

La habitación tiene una forma rectangular con las distintas secciones de trabajo distribuidas en su perímetro para que el usuario las recorra en sentido contrario a las manecillas del reloj, como se observa en la Figura 53.

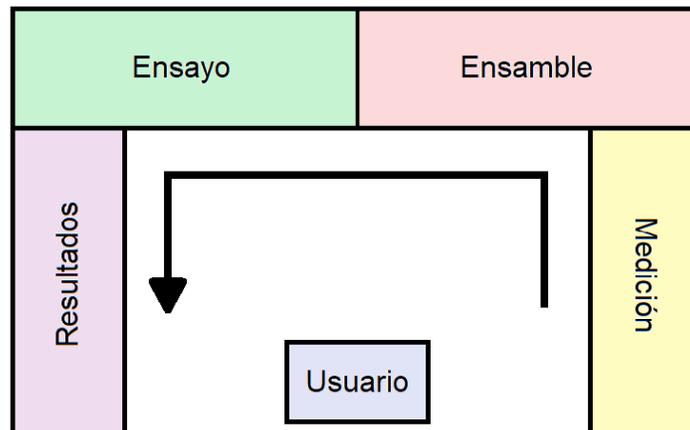


Figura 53. Plano del laboratorio.

Para el diseño del recinto se utilizaron como referencia imágenes de laboratorios de materiales reales, como el de la Figura 54.



Figura 54. Fotografía de un laboratorio de materiales usada como referencia [35].

El modelo de la habitación comenzó con un plano rectangular como piso. Dentro de este se insertó una cara que, a su vez, se dividió en nueve segmentos. Los vértices de estos segmentos fueron ordenados para dar forma al área de las paredes y las columnas decorativas del laboratorio.

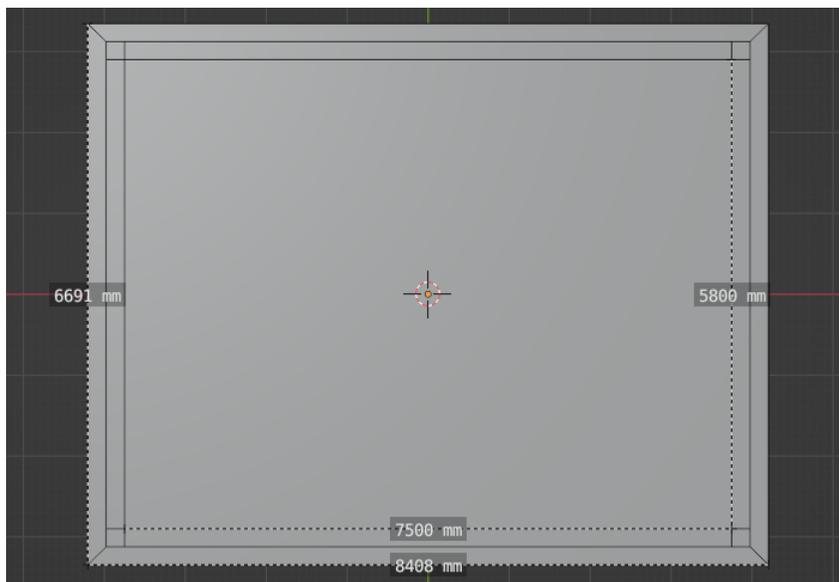


Figura 55. Plano inicial de la habitación dividido en segmentos.

A continuación, los bordes exteriores se extruyeron 3600 [mm] para formar las paredes. Por su parte, las columnas se extruyeron dos veces: primero 3372 [mm], para formar la

división necesaria para crear las vigas decorativas, y luego 228 [mm] para alcanzar la altura de las paredes.

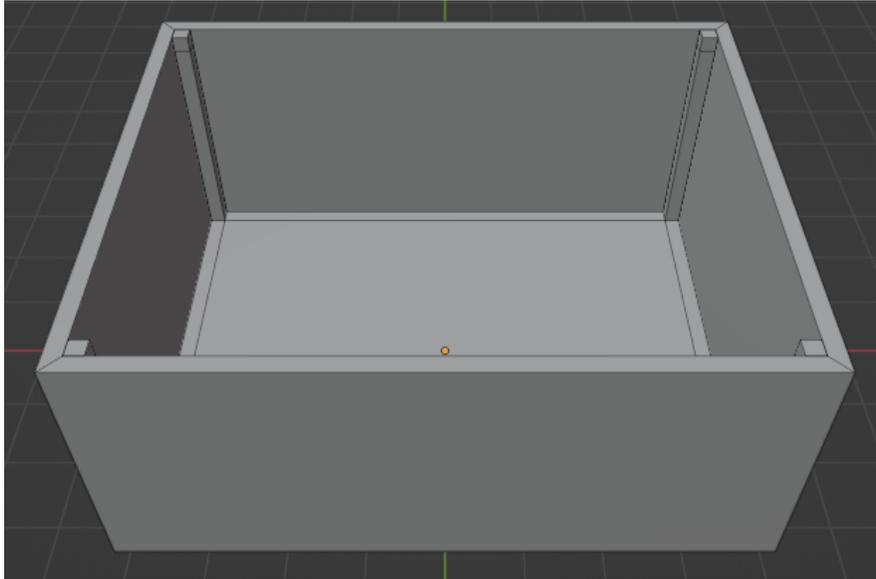


Figura 56. Paredes y columnas de la habitación.

Las vigas se crearon uniendo los segmentos superiores de las columnas con operaciones *bridge*. Después, se eliminaron los vértices sobrepuestos realizando una operación de fusión según una distancia de 10 [mm].

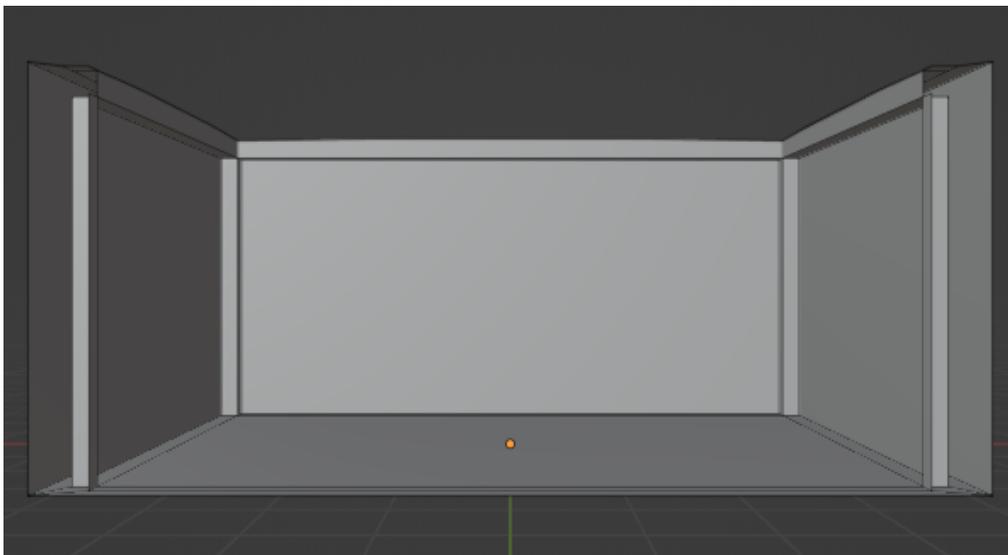


Figura 57. Vista de la habitación a través de una de sus paredes para poder apreciar las vigas.

Por último, se creó un techo por medio de un plano dividido en 16 segmentos y se añadió un corte de bucle a la mitad de las paredes para poder asociarles dos materiales distintos más adelante.

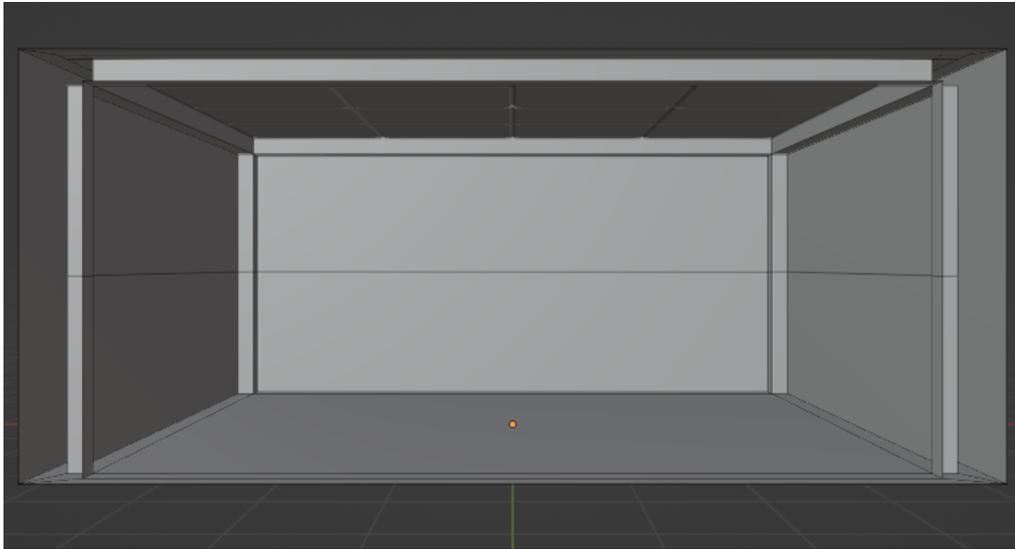


Figura 58. Modelo 3D de la habitación del laboratorio.

Mesas

Este modelo se construyó a partir de una barra rectangular con las medidas que se observan en la Figura 59. Para dar forma al tablero de la mesa, las esquinas de este se redondearon aplicando un bisel de seis caras a cada una y el tamaño de la cara inferior se redujo para dejar la mesa con un borde diagonal.

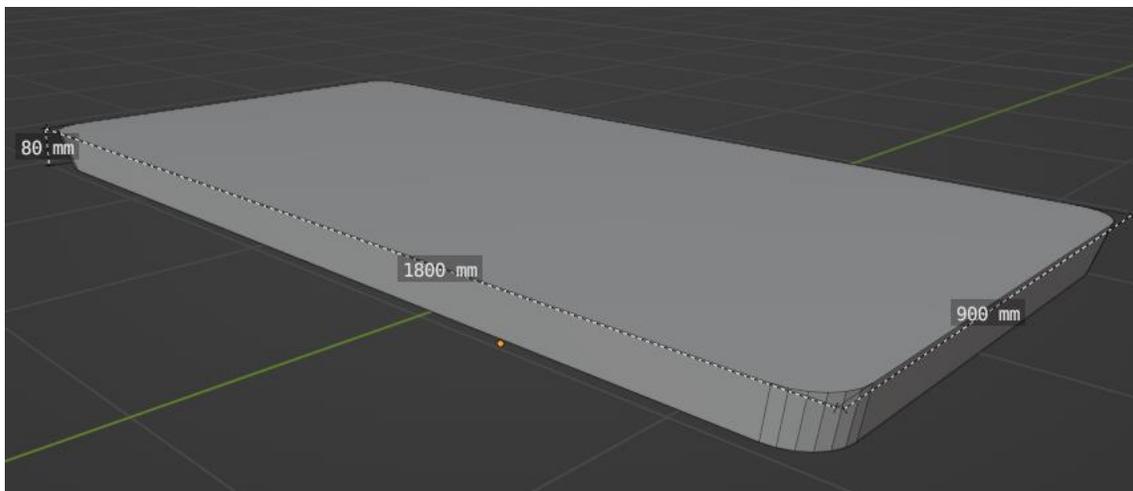


Figura 59. Tablero de la mesa.

La parte inferior del tablero se dividió por la mitad y en cada cara resultante se insertó otra cara para formar las patas de la mesa con una extrusión de 770 [mm]. Por último, los bordes de las patas también fueron redondeados con un bisel de tres caras.

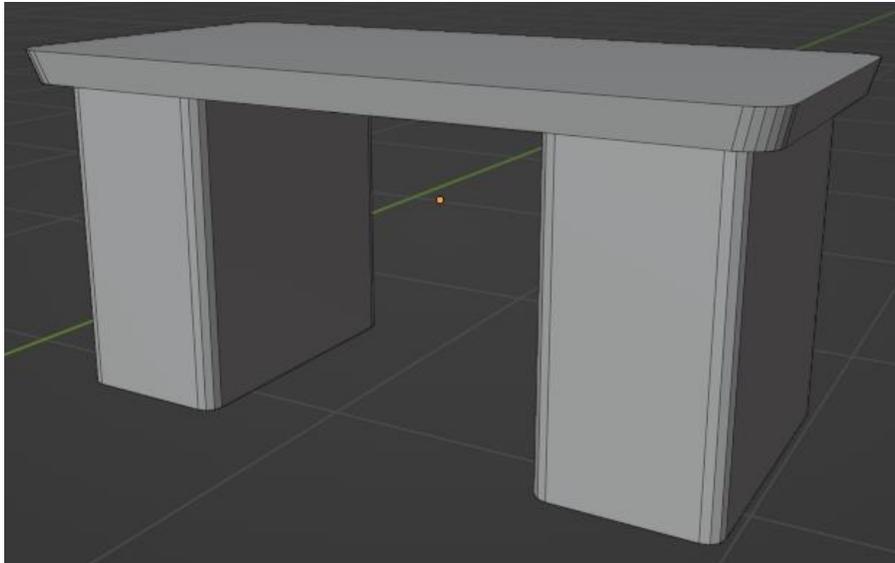


Figura 60. Modelo 3D de la mesa para el laboratorio.

Soporte para mediciones

Este modelo se creó tomando como referencia un duplicado de la probeta rotado 12° . Cerca de uno de los extremos de la probeta se insertó un prisma octagonal concéntrico a esta. En las bases del prisma se insertaron caras para poder perforarlo, de modo que quedase con forma de anillo. Por último, se eliminaron algunas caras del anillo para que este se asemeje a una pinza.

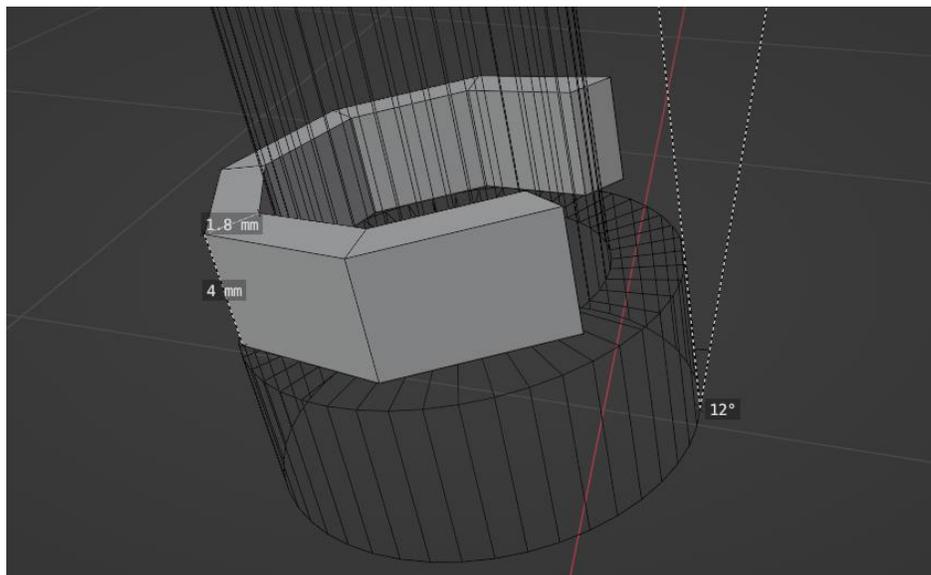


Figura 61. Pinza del soporte.

En el lado opuesto a la abertura de la pinza se extruyó un segmento alargado. Posteriormente, la pinza se duplicó para colocar una copia en el otro extremo de la probeta. Los segmentos alargados de las pinzas se conectaron mediante una operación

bridge que formó una varilla y se realizaron extrusiones adicionales para crear los extremos de esta.

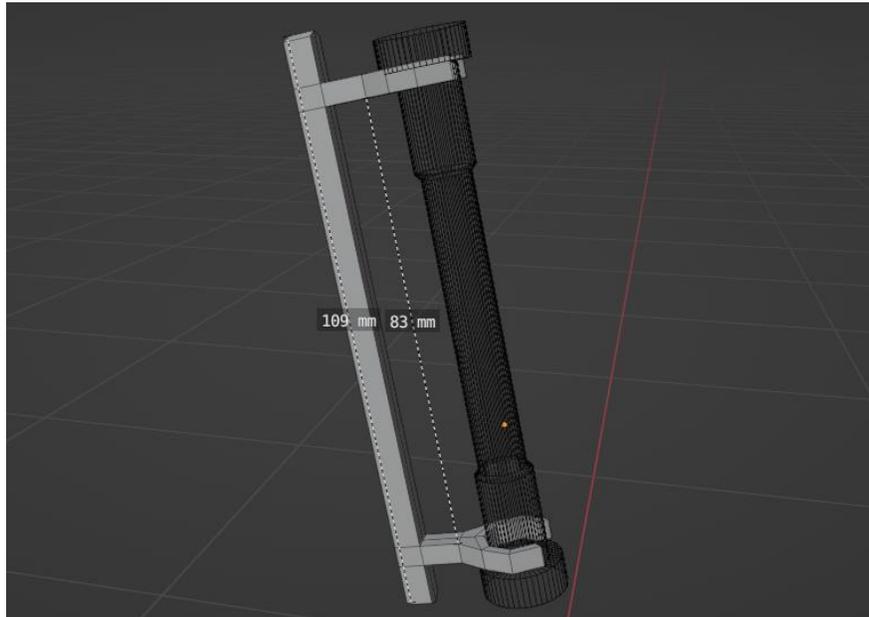


Figura 62. Varilla con pinzas del soporte.

Por último, desde el centro de la nueva varilla se extruyeron un par de segmentos para formar el cuerpo alargado del soporte, con una altura de 160 [mm]. Al final de dicho cuerpo se realizó una extrusión adicional cuyos vértices se desplazaron para crear la base del soporte.

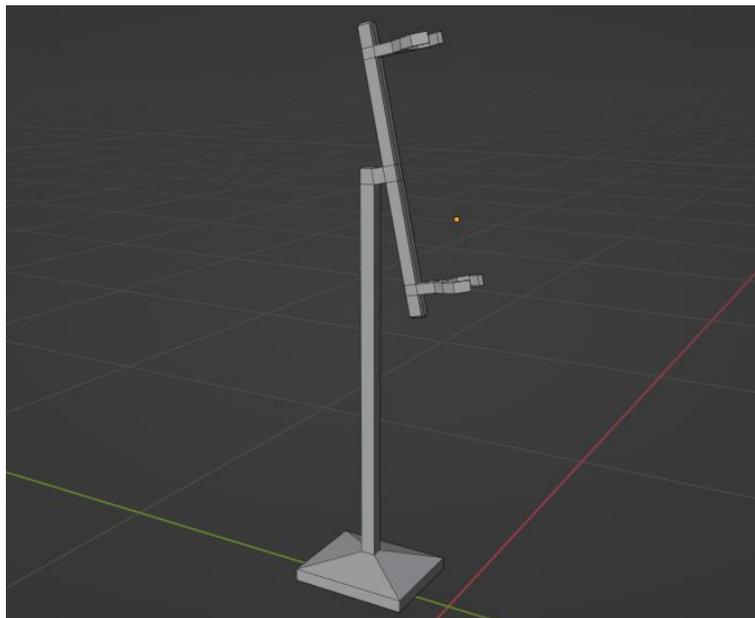


Figura 63. Modelo 3D del soporte para mediciones.

Materiales

El último paso del proceso de creación de cada modelo fue añadirles texturas para que su apariencia final sea acorde con los materiales de los que se esperaría que estén hechos en la vida real.

Las texturas fueron obtenidas de páginas web que permiten a los usuarios descargarlas de forma gratuita y darles cualquier tipo de uso que estos decidan [36], [37], [38].

Funcionamiento general de los materiales

En el ámbito de los modelos 3D los materiales son definiciones que describen la apariencia de las superficies cuando son renderizadas. La configuración que pueden tener estos materiales depende de unos códigos llamados “*shaders*”, los cuales contienen algoritmos matemáticos para calcular el color de cada pixel renderizado [39].

Cuando se descarga un material desde la web, en realidad se obtiene un conjunto de texturas en forma de imágenes y cada una de estas posee la información sobre una característica del material como sus colores, profundidad, reflectividad, dureza, etc [39].

Dentro del software que maneja los modelos 3D, como Blender y Unity, cada material se crea agregándole referencias a sus texturas correspondientes para que el shader pueda utilizar esta información en el cálculo del color de las superficies [39].

Finalmente, el usuario decide cuales son las secciones de la superficie donde se aplicarán los materiales, de modo que un mismo modelo pueda estar conformado por tantos materiales como sean necesarios.

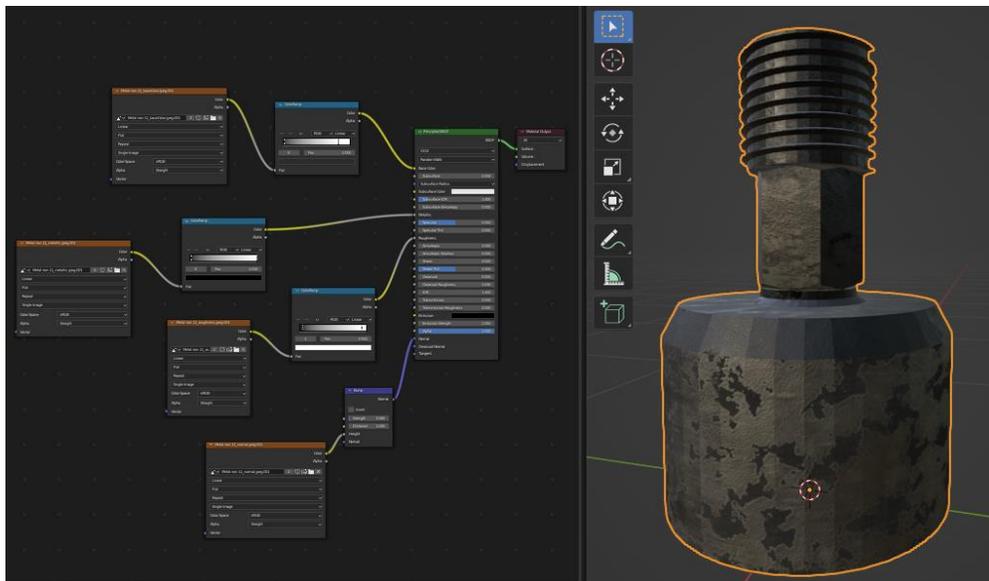


Figura 64. Ejemplo de la configuración de un material en Blender.

Materiales de los modelos

A continuación se muestran imágenes de los modelos 3D después de haberles añadido materiales dentro de Blender.

- Probetas

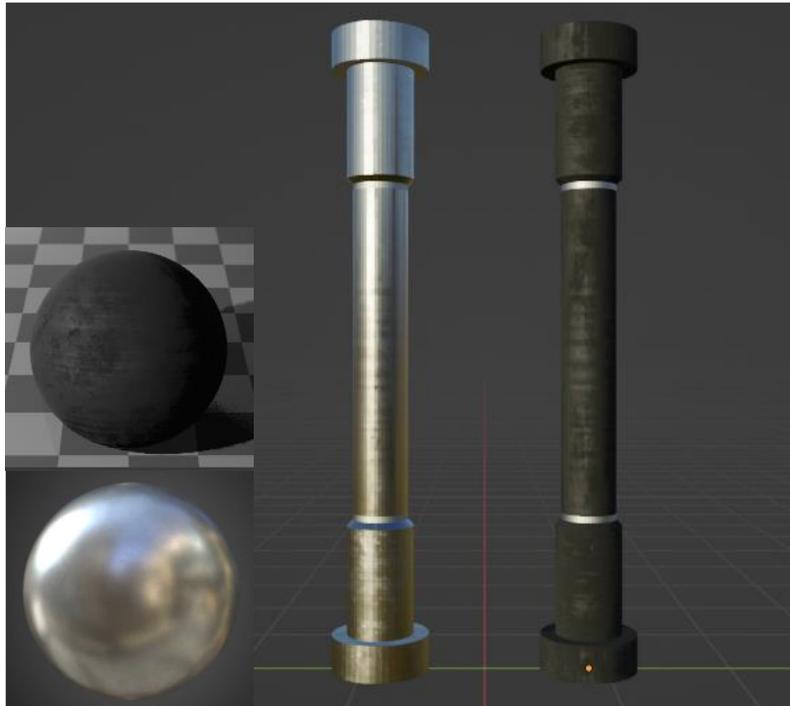


Figura 65. Material de las probetas.

- Vernier

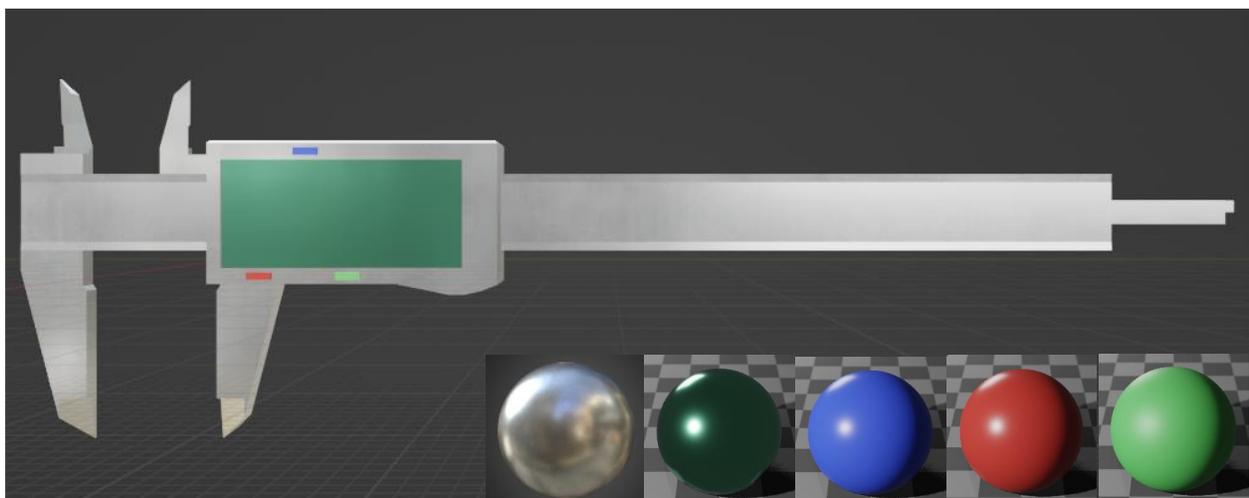


Figura 66. Materiales del vernier.

- Herramental



Figura 67. Materiales de la base atornillable y la mordaza.

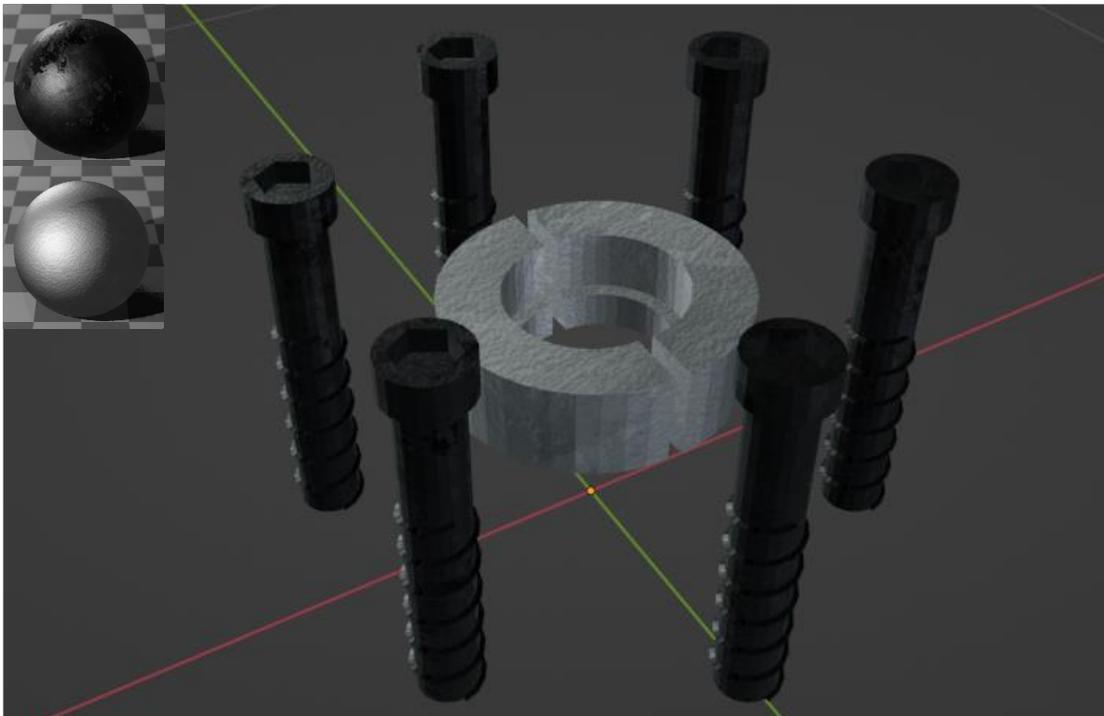


Figura 68. Materiales del anillo metálico y los tornillos.

- Máquina universal de ensayos

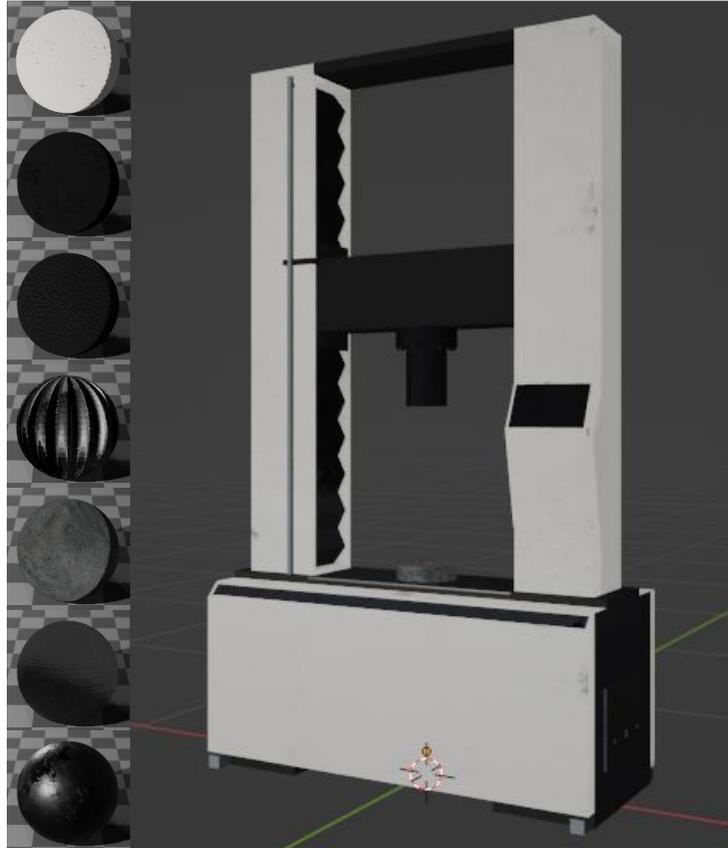


Figura 69. Materiales de la máquina universal de ensayos.

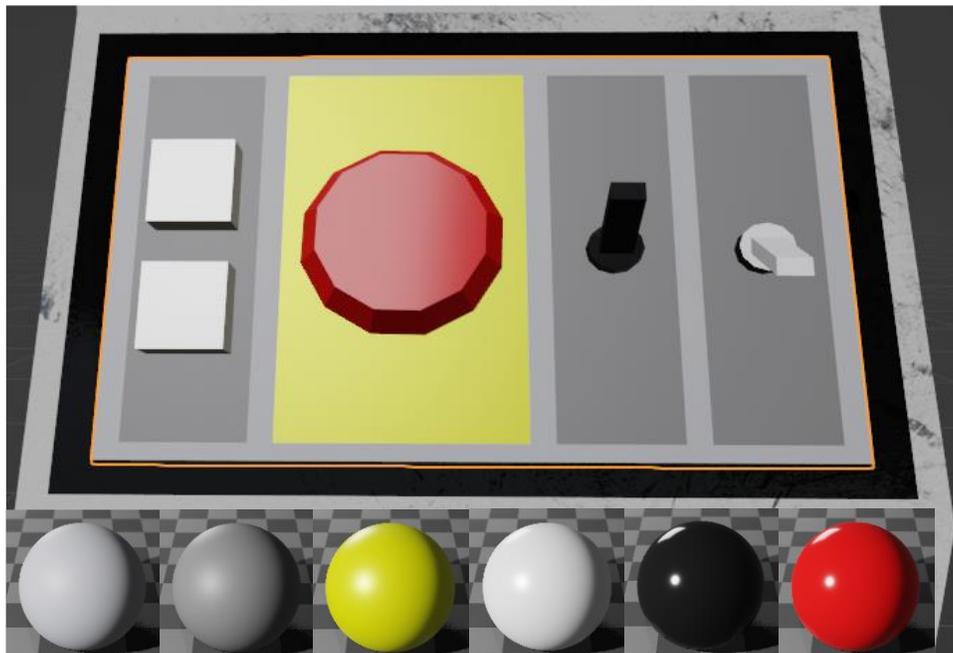


Figura 70. Materiales del tablero.

- Laboratorio



Figura 71. Materiales de la habitación.



Figura 72. Materiales de la mesa para el laboratorio.



Figura 73. Materiales del soporte para mediciones.

Generación de scripts en Unity

Dentro de Unity el comportamiento de los objetos y la manera en que interactúan, tanto entre ellos como con los usuarios, puede programarse mediante componentes llamados *scripts*. Los scripts son fragmentos de código escritos en lenguaje C# que se ejecutan durante el funcionamiento de un proyecto de Unity.

La plataforma de realidad virtual elegida para implementar el laboratorio fue VRChat, gracias a su popularidad y su alta compatibilidad con el motor Unity. VRChat ofrece a los creadores de contenido un kit de desarrollo de software (SDK) para que puedan crear mundos virtuales y publicarlos directamente desde dicho motor.

A diferencia de otros proyectos de Unity, los mundos de VRChat requieren que sus scripts estén escritos en un lenguaje de programación especial conocido como Udon, por lo cual el SDK incluye dos alternativas para crear estos scripts:

- Udon Node Graph: una interfaz de programación visual que utiliza nodos para crear scripts relativamente simples. Su funcionamiento es similar al de los shaders de Blender, Figura 64.
- UdonSharp (U#): un compilador que permite utilizar C# para crear scripts de Udon. Estos scripts suelen ser más elaborados en comparación con los de Udon Node Graph y se pueden crear dentro de entornos de desarrollo integrados (IDEs) como Visual Studio.

La herramienta elegida para crear scripts fue U#, puesto que en general permite desarrollar soluciones más poderosas que Node Graph, además de que ofrece una experiencia de desarrollo más similar a la estándar de Unity.

En esta sección se describirá, con el apoyo de diagramas de flujo, el funcionamiento de todos los scripts creados para poder realizar el ensayo de tracción de la probeta simplemente maquinada en el laboratorio virtual. Para una mejor comprensión de estos, es conveniente conocer los siguientes componentes de Unity:

- **Collider:** es un componente invisible que define la forma del objeto al que está asociado para los propósitos de colisiones físicas.
- **Trigger:** es un collider capaz de registrar cuando otros colliders entran en su espacio sin crear colisiones con ellos.
- **Rigidbody:** es un componente que permite a los objetos ser afectados por fenómenos físicos como la gravedad u otras fuerzas.
- **Animator Controller:** es el componente que maneja los clips y las transiciones de animación en un objeto dentro de Unity. Dichas transiciones se representan mediante una máquina de estados, cuyo flujo se puede controlar con parámetros definidos por el usuario.
- **VRC Pickup:** es un componente de Udon que permite a los usuarios recoger objetos, sostenerlos en la mano y utilizarlos. También permite aprovechar los eventos OnPickup y OnDrop, que se abordarán más adelante.

Script básico para ensamblaje

Una de las acciones fundamentales que el usuario realiza dentro del laboratorio virtual es recoger objetos con la mano y colocarlos en contacto con otros para ensamblarlos. El primer script elaborado, Figura 74, permite tomar el objeto al cual esté asociado para después llevarlo hasta estar en colisión con otro objeto contenedor, dentro del cual el primer objeto quedará ensamblado tras soltarlo. A continuación se describe el funcionamiento de dicho script:

1. El método Update es una parte esencial de la mayoría de los scripts en Unity. Este es llamado para ejecutarse una vez por cada *frame*, es decir, por cada una de las imágenes en secuencia que se muestran en pantalla.

En este caso, dentro de Update se verifica si el objeto se encuentra dentro del contenedor donde puede ser ensamblado y, de ser así, se actualizan la posición y la rotación del objeto.

- El evento OnPickUp se llama cada vez que el usuario recoge un objeto con la mano. Al recoger el objeto primero se registra que salió del contenedor, después se configura su rigidbody para que pueda verse afectado por la gravedad y otras fuerzas y finalmente se activa su collider, en caso de que estuviese desactivado.
- El evento OnDrop se llama cada vez que el usuario suelta el objeto que sostenía en la mano. Al soltar el objeto, primero se verifica si se encuentra en colisión con su contenedor, en cuyo caso se registra que entró dentro de este. Después se configura su rigidbody para que dejen de afectarle la gravedad y otras fuerzas. Por último, se desactiva su collider para que no interfiera con el collider del contenedor.
- El método OnTriggerEnter se llama cada vez que un collider entra dentro del trigger del objeto. Si el objeto que entró en el trigger resulta ser el contenedor, se registra que ocurrió una colisión con este.
- El método OnTriggerExit se llama cada vez que un collider sale del área del trigger del objeto. Si el objeto que salió del trigger es el contenedor, se registra que la colisión con este terminó.

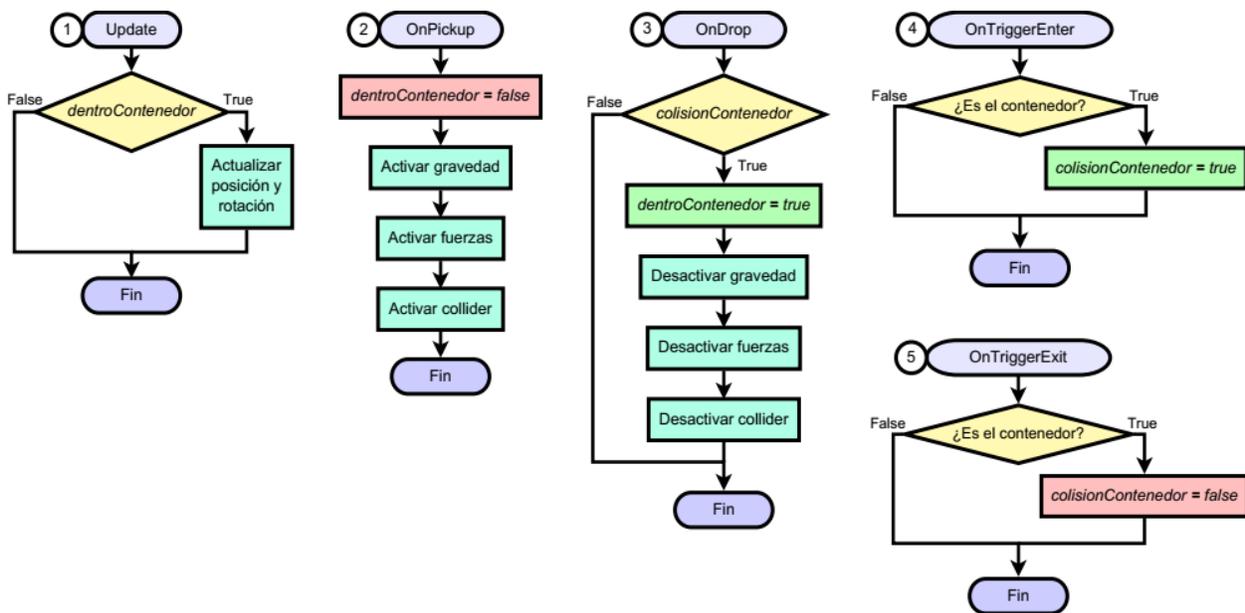


Figura 74. Script básico de ensamblaje.

Aunque este script no está directamente asociado a ningún elemento del laboratorio, se utilizó como base para crear el resto de los scripts que involucran ensamblaje.

Medición inicial de la probeta

La primera etapa de la práctica consiste en medir la altura y el diámetro de la probeta con el vernier mientras esta se encuentra en el soporte para medición.

Probeta

Para montar la probeta en el soporte es necesario recogerla de la mesa y luego soltarla dentro del área que abarca el trigger del soporte.

El script de la Figura 75 controla los dos posibles ensambles que puede tener la probeta: el primero es dentro del soporte para mediciones y el segundo es dentro del subensamble de herramental. A continuación se describe el funcionamiento completo del script, aunque en esta parte de la práctica todavía no ocurre el ensamble del herramental.

1. Debido a que el subensamble es un recipiente móvil para la probeta, en cada frame se actualizan la posición y la rotación de la probeta para que coincidan con este si es que se encuentra ensamblada allí.
2. Cada vez que se recoge la probeta se registra que no está en colisión ni ensamblada en ningún recipiente. Después se reactiva su rigidbody, para que pueda verse afectada por fuerzas y se reactiva el collider del soporte para mediciones.
3. Al soltar la probeta se verifican dos posibles casos:
 - a. Si se encuentra en colisión con el soporte se registra que quedó ensamblada dentro de este. Después se desactivan el rigidbody de la probeta y el collider del soporte, para permitir que los objetos se ensamblen correctamente. Por último, se actualizan la posición y rotación de la probeta una sola vez para que coincida con su ubicación dentro del soporte.
 - b. Si se encuentra en colisión con el subensamble solo se registra que quedó ensamblada dentro de este y se desactiva el rigidbody de la probeta.
4. Si el collider del soporte entra en el trigger de la probeta se registra la colisión con este. De lo contrario, si se trata del collider del subensamble se registrará la colisión con este únicamente si la probeta ya fue medida por completo, para evitar que las mediciones iniciales puedan ser omitidas.
5. Si el collider del soporte o el del subensamble salen del trigger de la probeta se registra que la colisión con el que corresponda finalizó.

Cabe mencionar que a partir de aquí existe una parte en todos los scripts que envía instrucciones para que se desplieguen en un pizarrón del laboratorio cuando el usuario completa algún paso de la práctica, sin embargo, estos mensajes no se incluyeron dentro de los diagramas de flujo por motivos de espacio.

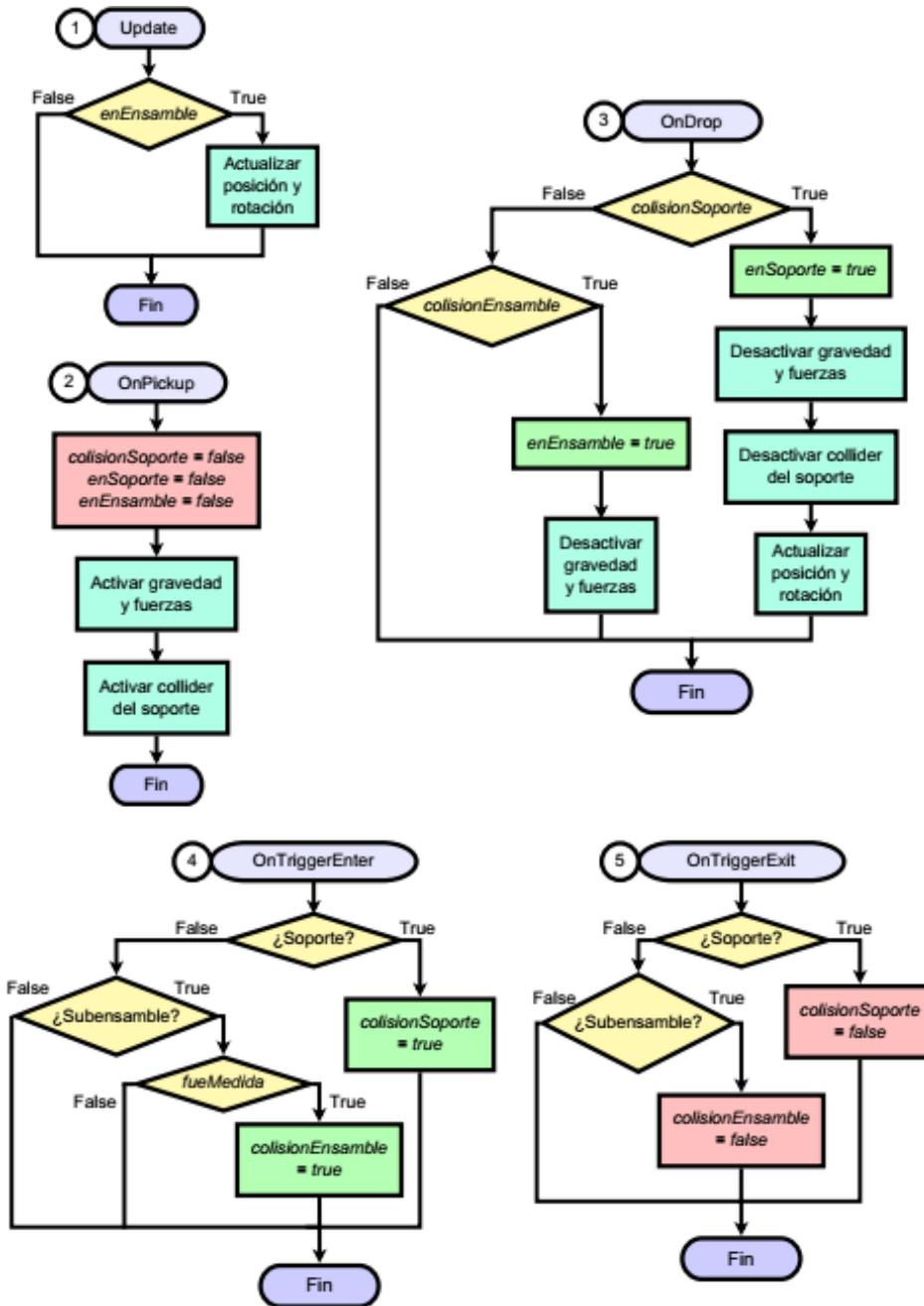


Figura 75. Script para el ensamblaje de la probeta.

Vernier

Una vez montada la probeta en su soporte, para medirla basta con acercar el vernier a esta y soltarlo mientras se encuentren en colisión. En seguida, el vernier reproducirá la animación de medición correspondiente y el valor resultante aparecerá tanto en la pantalla del instrumento como en un pizarrón que lleva un registro de las medidas.

El script de la Figura 76 controla las animaciones del vernier y despliega los valores medidos para que el usuario pueda visualizarlos. Este código contempla que tras

ejecutar el ensayo se obtendrá una versión rota de la probeta que también requiere ser medida para completar la práctica. Dicha probeta rota se maneja como un objeto completamente distinto a la original, además posee sus propias animaciones y resultados de las mediciones, todos ellos manejados por el mismo script del vernier.

El script funciona del siguiente modo:

1. Cada vez que se recoge el vernier este entra en su animación de espera, lo cual se consigue negando todos los parámetros booleanos de su Animator Controller, exceptuando el que le permite hacer dicha transición. También se reactiva su rigidbody, para que pueda verse afectado por fuerzas.

Para los métodos 2, 3 y 4 se detecta si el vernier está en colisión con la probeta original o con su versión rota. El comportamiento de estos métodos es el mismo para ambas probetas, con la excepción de que se usan los parámetros que le corresponden a la que se esté midiendo.

2. Cuando se suelta el vernier se verifica si se encuentra en colisión con alguna de las versiones de la probeta. De ser el caso, se utiliza la bandera "longitud" para decidir si la medición que se va a efectuar será de longitud o de diámetro.

Dependiendo del resultado anterior, se activará el parámetro del Animator correspondiente y se modificarán la posición y la rotación del vernier para que su animación esté alineada con la dimensión de la probeta que se medirá.

Después, se invierte el valor de la bandera, de modo que cada vez que se ejecute este método se alternará entre la medición de longitud y la de diámetro.

Por último, se niega el parámetro de espera del Animator para que pueda hacer la transición al clip de animación y se desactiva el rigidbody del vernier para evitar que alguna fuerza interfiera con dicha animación.

3. Cuando un collider entra en contacto con el trigger del vernier se verifica si se trata de una probeta y si esta se encuentra montada en el soporte de mediciones. Si ambas condiciones se cumplen, se registra la colisión y se desactiva la posibilidad de recoger la probeta mientras duren las mediciones.
4. Cuando un collider sale del área del trigger del vernier se verifica si se trata de una probeta montada en el soporte de mediciones. De ser así se registra el fin de la colisión y se reactiva la posibilidad de recoger la probeta del soporte.
5. Este método se llama al final de cada animación para desplegar el valor de la medición en la pantalla del vernier y en el pizarrón. Cada vez que el método termina se prepara para desplegar el valor de la siguiente animación, de modo que se crea un bucle que permite alternar entre animaciones tantas veces como el usuario desee.

Después de mostrar el valor del diámetro, se activa la bandera “fueMedida” que indica que la probeta ya se midió por completo al menos una vez y permite que esta sea montada en el subensamble, como se observa en la Figura 75.

Cuando la probeta se haya roto en el ensayo, se activará la bandera “medidasFin” que hace que este método sea sustituido por el número 6.

- Este método funciona del mismo modo que el anterior, pero los valores que despliega corresponden a las medidas finales de la probeta rota. Además, tras haber desplegado el valor del diámetro final activa la bandera “animar” que permite que la probeta rota reproduzca una animación final para observar el tipo de ruptura que presenta.

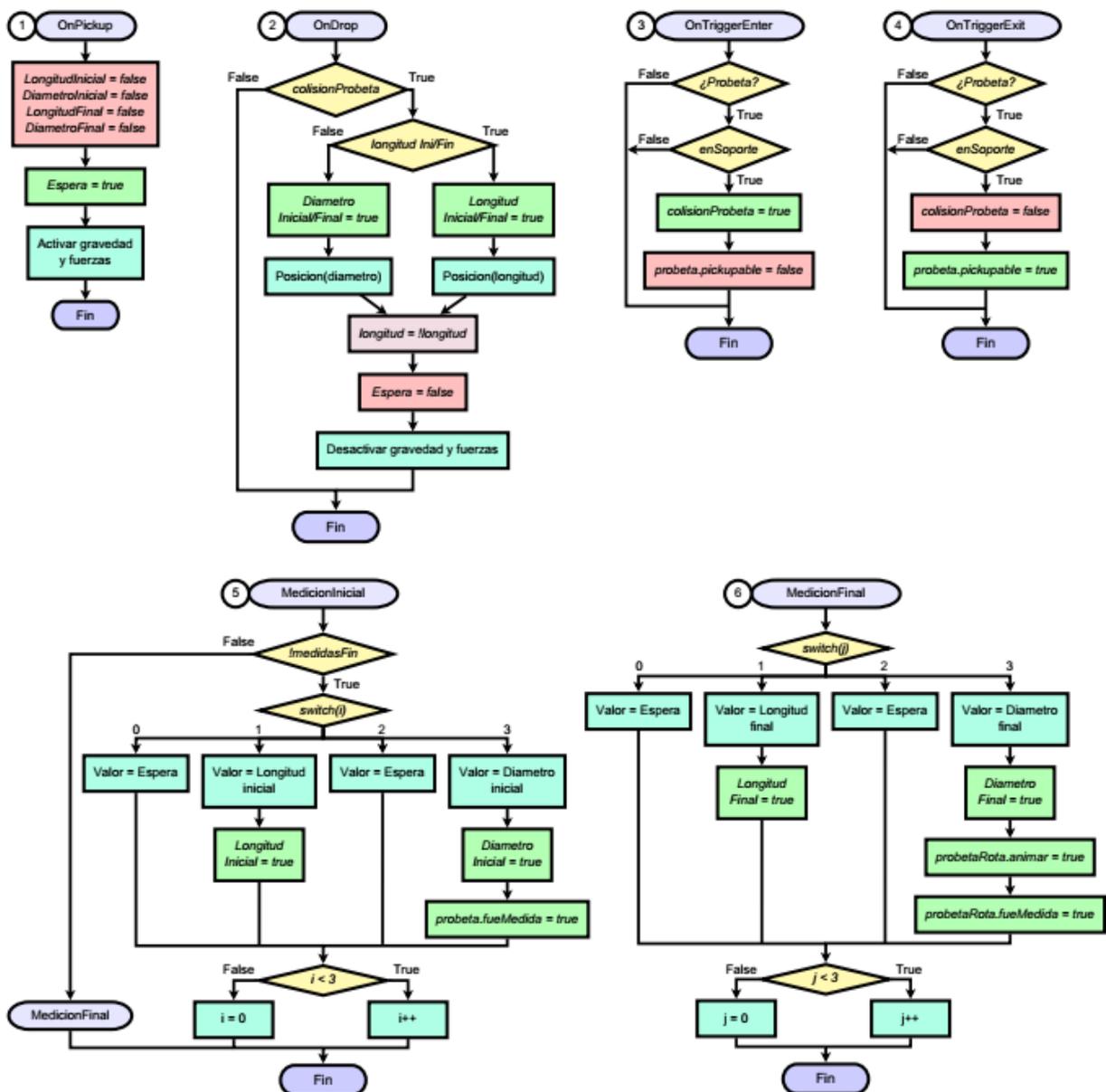


Figura 76. Script del vernier.

Ensamble del herramental

Tras haber obtenido las medidas iniciales de la probeta, la siguiente parte de la práctica consiste en ensamblarla junto con el herramental de la máquina universal de ensayos.

Para empezar, es necesario retirar el vernier y tomar la probeta del soporte para mediciones. A continuación, la probeta se coloca en el centro de la mesa donde se encuentran las piezas de herramental y el ensamble superior previamente construido.

El objetivo de esta sección es armar el ensamble inferior de herramental siguiendo las instrucciones que aparecen en el pizarrón, ubicado en la pared detrás de la mesa, de modo que el resultado final sea semejante al ensamble superior. Cada pieza posee su propio script asociado, el cual les permite ser armadas únicamente en el orden que indican las instrucciones.

Mordaza

La primera pieza por ensamblar es la mordaza. El usuario debe recogerla y soltarla cuando esta entre en contacto con la probeta; en ese momento, la mordaza se ubicará automáticamente en la posición que le corresponde. El script de la Figura 77 define el comportamiento de dicha interacción:

1. Al recoger la mordaza se registra que esta no se encuentra dentro del ensamble de herramental y se reactiva su rigidbody, en caso de que estuviese apagado. También se habilita la posibilidad de recoger la probeta y se reactivan sus colliders, por lo que el usuario puede retirarla de la mesa si es necesario.
2. Cuando se deja caer la mordaza se verifica si está en colisión con el ensamble para poder registrar que ya está armada. Después se apaga su rigidbody para que no interfiera al momento de recoger el ensamble. Luego, se configuran su posición y orientación, de modo que se ubique en el lugar que le corresponde automáticamente. Por último, se desactiva la capacidad de recoger la probeta y sus colliders, así que no podrá desarmarse mientras la mordaza esté sobre ella ni ocurrirán colisiones que interfieran entre ambos elementos.
3. Cuando la mordaza entra en el trigger de un objeto se verifica si se trata del subensamble, el cual es una sección del ensamble destinada a albergar a la probeta, la mordaza, el anillo metálico y los tornillos. El collider de este subensamble se ubica inicialmente en el centro de la mesa, así que la condición se cumple cuando la mordaza se encuentra sobre esa zona.

Tras cumplirse la condición del trigger se comprueba si la probeta ya está dentro del ensamble, es decir, que ya fue colocada en el centro de la mesa. De ser el caso, se registra que la mordaza está en colisión con el ensamble.

4. Cuando la mordaza sale del trigger de un objeto se verifica si este fue el subensamble. De ser así, se registra que la colisión con el ensamble ya terminó.

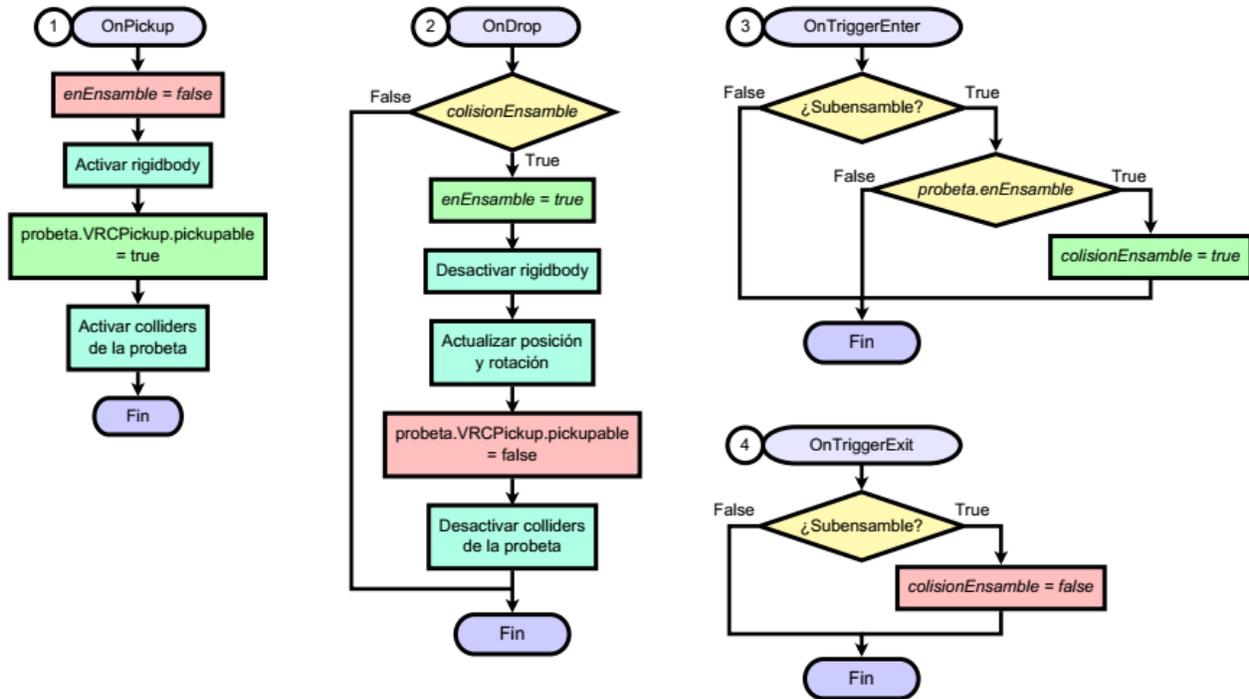


Figura 77. Script de la mordaza.

Anillo metálico

Tras haber montado la mordaza, el pizarrón de instrucciones le indicará al usuario que la próxima pieza es el anillo metálico. Tanto esta como el resto de las partes del subensamble se armarán de manera muy similar a como se hizo con la mordaza.

Para ensamblar el anillo metálico basta con tomarlo de la mesa y colocarlo cerca o en contacto con la mordaza. Este comportamiento está definido por el script de la Figura 78, cuyo funcionamiento es el siguiente:

1. Cuando se recoge el anillo metálico se registra que está fuera del ensamble y se activa su rigidbody, si este estaba desactivado. También se habilita la posibilidad de desarmar la mordaza del subensamble y se encienden los colliders de esta.
2. Si se suelta el anillo metálico mientras está en colisión con el ensamble, se registra que ya quedó armado. Al igual que con la mordaza, se desactiva el rigidbody del anillo y se ubica en la posición que le corresponde. Por último se desactiva la posibilidad de recoger la mordaza y sus colliders.
3. Cuando el anillo entra en el trigger de un objeto se verifica si se trata del subensamble y si la mordaza ya está montada. Si se cumplen las condiciones, se registra la colisión del anillo con el ensamble.

- Si el anillo sale del trigger del subensamle, se registra que la colisión con el ensamble terminó.

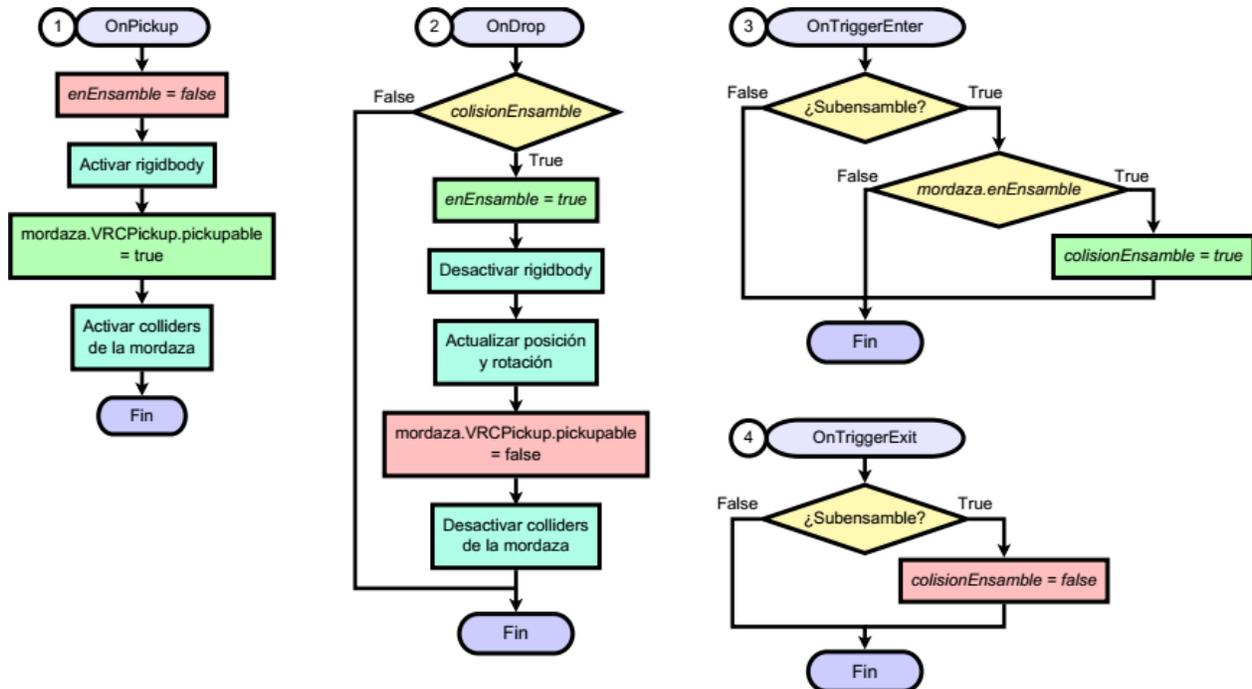


Figura 78. Script del anillo metálico.

Tornillos

El script de los tornillos varía respecto al de los dos anteriores debido a que necesita preparar el montaje del subensamle, el cual requiere estar completo antes de poder tomarlo de la mesa.

Este ensamble presentó un dilema que consistía en que los colliders de los tornillos deben estar inactivos para poder manipular el subensamle, pero necesitan estar activos para poder recogerlos en caso de que el usuario requiera desarmar el herramental. La solución fue implementar un método que cambia el tipo de los colliders a trigger cuando se montan los tornillos, de modo que no provocan colisiones indeseadas y, aun así, pueden ser detectados por el componente VRC Pickup.

El script de los tornillos se muestra en la Figura 79 y este es su funcionamiento:

1. Cuando se recogen los tornillos se activa su rigidbody y se hace falsa la propiedad isTrigger de todos sus colliders, provocando que dejen de ser de tipo trigger. También se habilita la posibilidad de recuperar el anillo metálico y se activan sus colliders.

Por haber desacompletado el subensamle, se desactivan la posibilidad de recogerlo, su rigidbody y sus colliders que no son tipo trigger.

2. Cuando se sueltan los tornillos se comprueba si están en colisión con el ensamble. De ser así, se desactiva su rigidbody y todos sus colliders pasan a ser de tipo trigger. Después, se ubica la pieza en el lugar que le corresponde dentro del subensamble. Luego, se desactiva la posibilidad de recoger el anillo metálico junto con sus colliders.

Al haber colocado esta última pieza el subensamble está completo, así que se habilita la posibilidad de recogerlo, así como su rigidbody y sus colliders que no son tipo trigger.

3. Cuando los tornillos entran en el trigger de un objeto se comprueba si se trata del subensamble y si el anillo metálico ya está montado. Si se cumplen las condiciones se registra la colisión con el ensamble.

4. Cuando los tornillos salen del trigger del subensamble se registra que la colisión con el ensamble ya terminó.

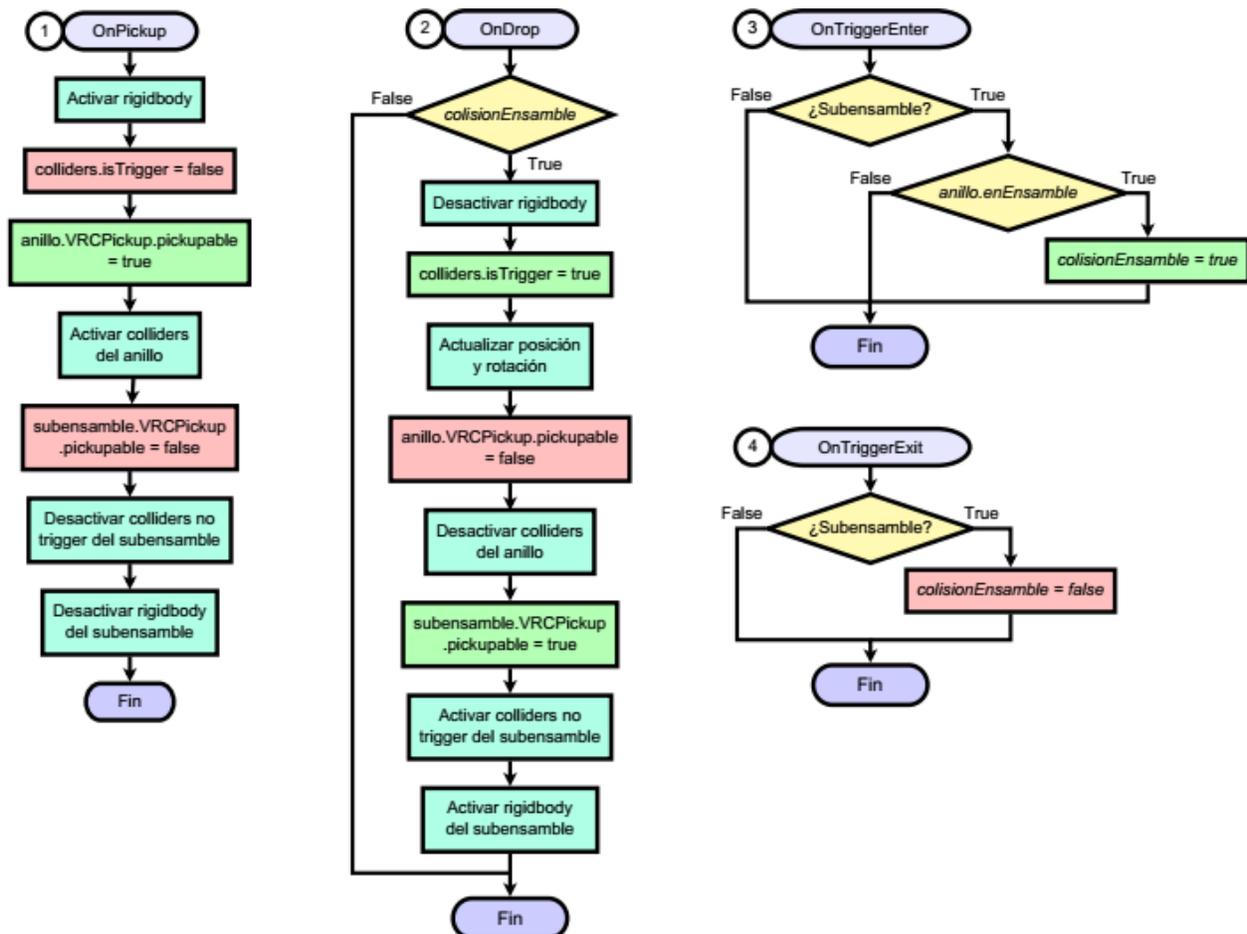


Figura 79. Script de los tornillos.

Subensamblable

Como último paso para completar el ensamble inferior de herramental, el usuario debe recoger el subensamblable y colocarlo sobre la base atornillable. En este momento, se reproduce una animación en la cual los tornillos se ajustan para unir las piezas, por lo cual no podrán volver a desarmarse durante el resto de la práctica. El script de la Figura 80 controla el comportamiento de este último montaje:

1. Al recoger el subensamblable se desactivan los colliders de los tornillos.
2. Cuando se suelta el subensamblable se reactivan los colliders de los tornillos y se verifica si este se encuentra en colisión con lo que resta del ensamble, es decir, con la base atornillable. Si se cumple la condición, ocurre lo siguiente:

Primero, se desactivan el rigidbody, los colliders y la posibilidad de recoger el propio subensamblable, ya que en adelante se utilizarán los del ensamble inferior completo, que se encuentran establecidos en la base atornillable.

Se desactiva la posibilidad de recuperar los tornillos y se activa su animator controller. Este modelo ejecuta una sola animación, así que no fue necesario añadir parámetros ni transiciones adicionales a dicho componente.

A continuación, se habilita la posibilidad de recoger el ensamble inferior, así como su rigidbody y sus colliders. También se ubica el subensamblable en la posición que le corresponde.

El laboratorio cuenta con un panel donde se puede observar con más detalle la deformación de la probeta durante el ensayo. Tomando esto en cuenta, lo último que hace el método es:

- a. Ajustar la posición de la probeta para que destaque más durante el ensayo.
 - b. La cámara que permite visualizar la imagen ampliada inicialmente se encuentra desactivada para ahorrar su costo de renderizado. En este momento dicha cámara se habilita y se oculta una tapa que la cubre cuando está inactiva.
3. Cuando el subensamblable entra en el trigger de algún objeto se comprueban dos posibles condiciones:
 - a. Si este objeto es el ensamble inferior, se registra la colisión con él.
 - b. Si se trata de la probeta, antes de haber sido ensamblada, se registra que en ese momento ya se encuentra dentro del ensamble y se indica a la mordaza que identifique a dicho objeto como la probeta.

4. Cuando el subensamble sale del trigger de algún objeto se verifica si se trata del ensamble inferior o de la probeta y se registra que la colisión con el ensamble terminó o que la probeta ya no está ensamblada, respectivamente.

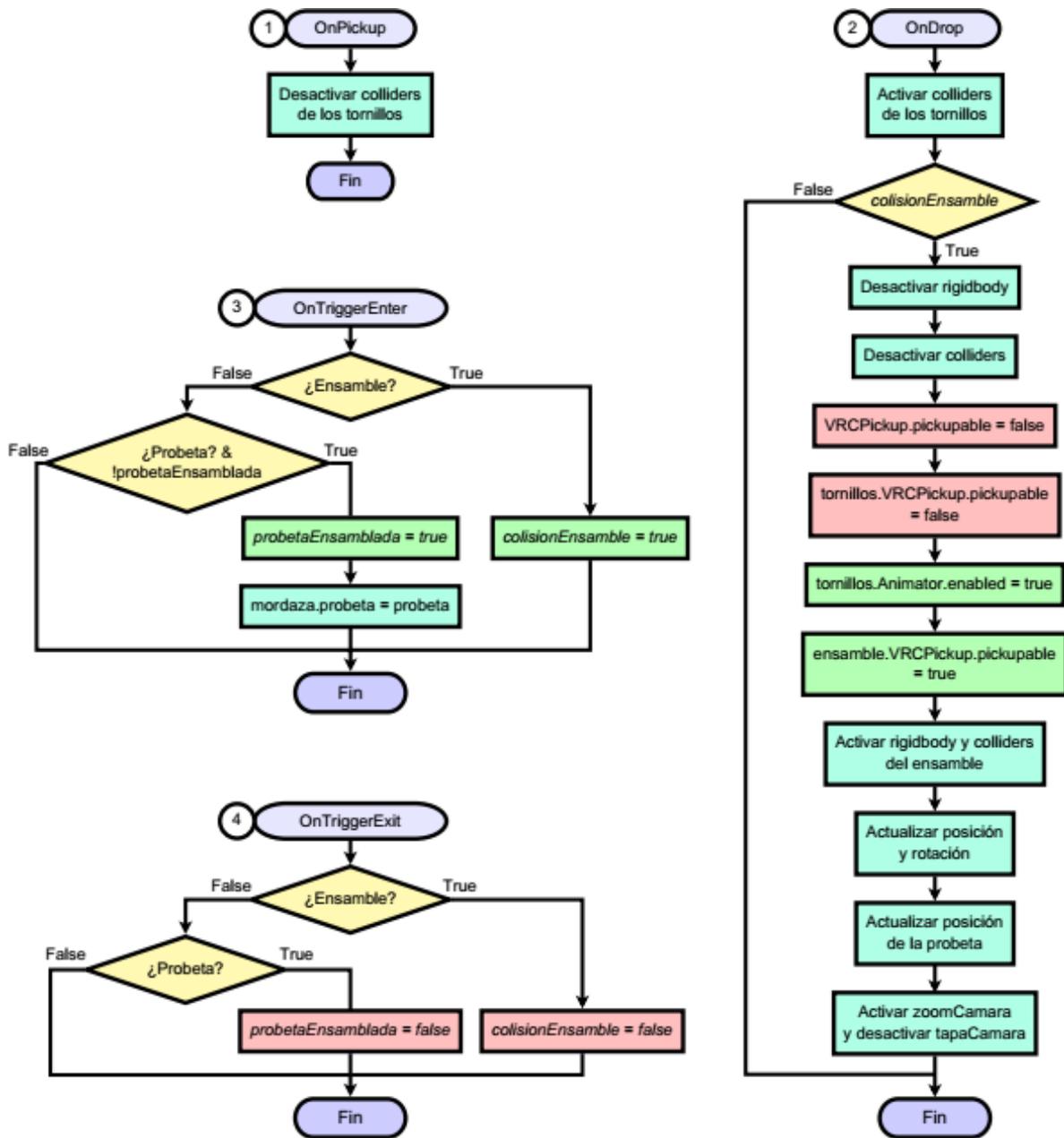


Figura 80. Script del subensamble.

Ensamblajes inferior y superior

Esta sección de la práctica concluye con el montaje de los ensamblajes inferior y superior en la máquina universal de ensayos, lo cual se consigue soltándolos cerca del área donde deben enroscarse: la base fija, para el ensamble inferior, y la celda de carga, para el superior.

No es necesario seguir un orden en específico para montar los ensambles en la máquina, puesto que sus scripts son idénticos con la excepción de los parámetros que determinan la posición final de cada ensamble. El diagrama de la Figura 81 representa el funcionamiento de estos scripts, explicado a continuación:

1. Cuando se suelta el ensamble se comprueba si se encuentra en colisión con la máquina. Si se cumple la condición, se desactivan los colliders, el rigidbody y la capacidad de retirar el ensamble de la máquina.

Después, se ubica el ensamble en la posición que le corresponde y, una vez ahí, se activa su animator controller, para que ejecute una animación enroscándose en la máquina.

Por último, se registra que el ensamble ya está montado en la máquina y se llama al método encargado de habilitar el botón de inicio para ejecutar el ensayo.

2. Cuando el ensamble entra en contacto con un trigger, se verifica si se trata de la máquina de ensayos. De ser el caso, se registra la colisión con la máquina.
3. Cuando el ensamble sale del área del trigger de la máquina, se registra que terminó su colisión con ella.
4. Antes de habilitar el botón de inicio de la máquina, se comprueba si el otro ensamble ya está montado. Por ejemplo, si este método se ejecuta en el script del ensamble inferior, se verifica si el superior ya fue montado. Cuando se cumple la condición se activa el botón de inicio, para que el usuario pueda interactuar con él.

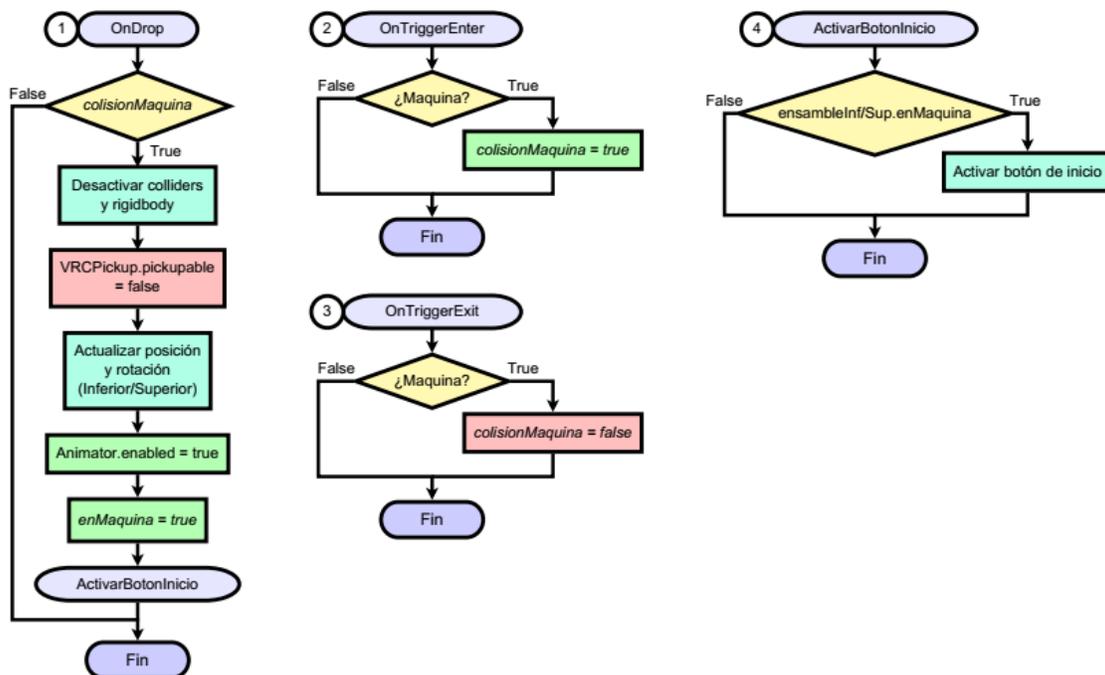


Figura 81. Script de los ensambles inferior y superior.

Ejecución del ensayo de tracción

Una vez ensamblado el herramental, la máquina estará habilitada para iniciar el ensayo de tracción. La tarea principal que desempeña el usuario durante esta sección es observar la ejecución del ensayo y la generación del diagrama carga-desplazamiento.

Botón de inicio

El botón de inicio de la máquina tiene un script asociado que se encarga de iniciar las animaciones que componen el ensayo: la deformación de la probeta, el movimiento del cabezal y el diagrama C-D. Dicho script es representado en la Figura 82 y su funcionamiento es el siguiente:

1. Tras pulsar el botón de inicio, se activa el parámetro “Tracción” del animator controller de la probeta, disparando el clip de animación en el cual la probeta se deforma creando un cuello de botella.

A continuación, se activa el parámetro “Tracción Maq” en el animator del cabezal móvil de la máquina, iniciando su animación de desplazamiento.

El diagrama C-D, inicialmente vacío, también cuenta con un animator que se activa en este momento, reproduciendo una animación en la cual la curva C-D se va trazando al mismo tiempo que se ejecuta el ensayo.

Por último, se emplea el método `SendCustomEventDelayedSeconds` para que la ejecución del script aguarde un breve intervalo de 0.1 segundos antes de lanzar un evento que desactiva el botón, puesto que no es necesario que este se vuelva a pulsar.

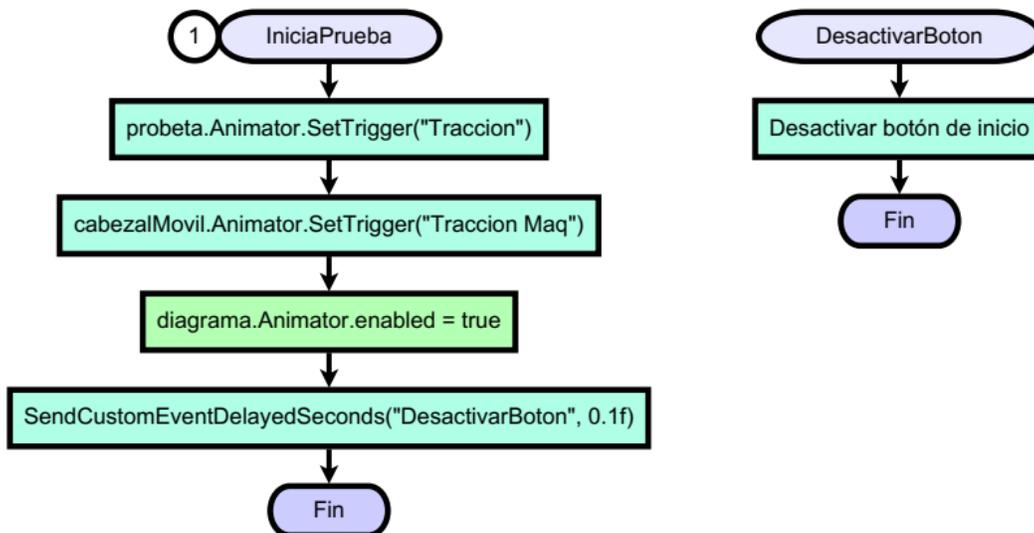


Figura 82. Script del botón de inicio.

Cuando las animaciones del ensayo terminan de ejecutarse, este concluye con la sustitución de la probeta deformada por su versión rota. Dicho cambio es controlado por el script del cabezal móvil, Figura 83, el cual funciona del siguiente modo:

1. Para conocer la posición en la cual el modelo de la probeta rota debe instanciarse, se almacena en una variable la posición de la probeta deformada.

Después, se usa el método Destroy para hacer desaparecer la probeta deformada y se reproduce un clip de audio con el sonido de la ruptura que se grabó durante la visita al laboratorio de ingeniería de materiales real.

Luego, la probeta rota es instanciada en la posición almacenada previamente.

Por último, ya que el diagrama no necesitará mostrar más animaciones, se desactiva su animator controller y se habilita el panel de texto donde pueden consultarse los valores clave de la curva C-D.

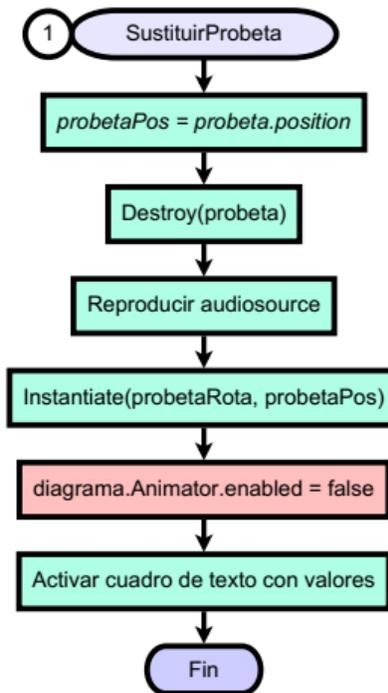


Figura 83. Script del cabezal móvil.

Medición final de la probeta

Para completar la práctica es necesario recuperar la probeta rota de la máquina y llevarla a la mesa de mediciones, para registrar sus dimensiones finales.

El script asociado a la probeta rota permite manipularla y montarla en el soporte de mediciones, además de que el modelo cuenta con una animación que ayuda a apreciar mejor el área de la ruptura. El diagrama de dicho script puede observarse en la Figura 84, explicada a continuación:

1. El método Start se ejecuta en el instante que la probeta es instanciada.

Como la probeta rota es un objeto que no está presente en el laboratorio al inicio del programa, cuando es creada necesita identificar a los objetos con los que tiene interacciones. Para ello se utilizó el método `GameObject.Find`, que permite encontrar cualquier objeto dentro de la escena de Unity mediante su nombre.

Los objetos que la probeta identifica y guarda en variables son: el soporte de mediciones y la ubicación de la probeta dentro de este, el subensamble, el pizarrón de instrucciones, el vernier, la cámara de la vista ampliada y la tapa de esta.

Al final del método se activa la bandera `medidasFin` en el script del vernier, indicando que al momento de usar este último se obtendrán las medidas finales de la probeta.
2. Tras recoger la probeta rota se registra que no está en colisión con el soporte ni montada en él. Luego se reactivan el `rigidbody` de la probeta y el `collider` del soporte, en caso de que estuvieran desactivados.

Si la bandera "animar" se encuentra activa en este momento, el método la desactiva y habilita el `animator controller` de la probeta, para que se reproduzca el clip de animación que permitirá visualizar el área de la ruptura. Después se deshabilita la cámara de la vista ampliada y se vuelve a colocar su tapa en la imagen del panel.

Por último, se modifica la ubicación de la probeta dentro del soporte, en caso de que el usuario desee colocarla allí para observarla.
3. Cuando se suelta la probeta se comprueba si está en colisión con el soporte. De ser así, solamente se registra el montaje en el soporte mientras la bandera `fueMedida` está apagada, asegurando que la probeta solo podrá medirse por completo una vez aunque se coloque en el soporte después de su animación.

A continuación se desactivan el `rigidbody` de la probeta y el `collider` del soporte. Por último se actualizan la posición y rotación de la probeta, para que coincidan con su ubicación designada dentro del soporte.
4. Cuando la probeta entra en un trigger se verifica si se trata del soporte de mediciones, para registrar la colisión con este.
5. Cuando la probeta sale del trigger del soporte se registra que su colisión con este ya terminó.

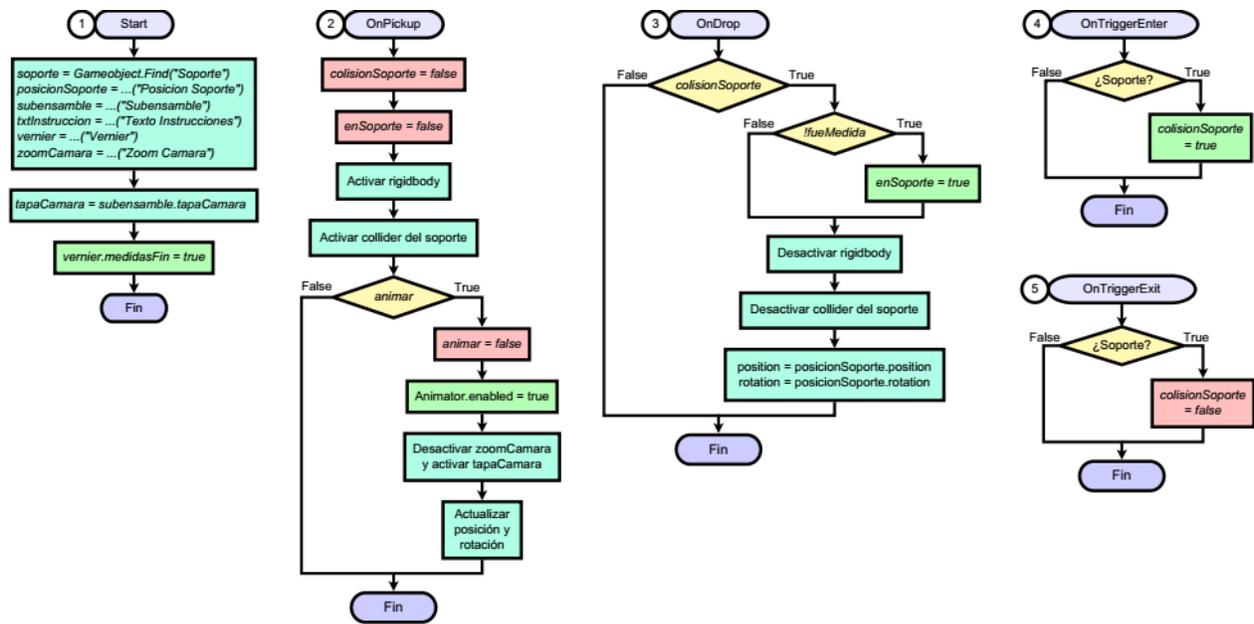


Figura 84. Script de la probeta rota.

Animaciones

Animación de la probeta en Blender

Durante el ensayo de tracción, es de suma importancia observar el cambio en la elongación de la probeta y el cuello de botella que se forma en ella antes de romperse Figura 85; por lo cual fue necesario crear una animación que permitiera al usuario del laboratorio virtual observar dichos cambios en el modelo 3D de la probeta.



Figura 85. Probeta simplemente maquinada después del ensayo de tracción.

En Blender es posible animar casi cualquier característica de los objetos, aunque destacan las herramientas que ofrece para controlar el movimiento y la forma de estos.

En general, las animaciones en Blender son creadas mediante la inserción de marcadores de tiempo conocidos como fotogramas clave, los cuales almacenan el valor de alguna propiedad del objeto animado. En cuanto se coloca un fotograma clave, el programa se encarga de hacer la interpolación para determinar los valores de esta propiedad en todos los fotogramas intermedios.

Por ejemplo, una clave podría definir que un cubo se encuentra en el origen de la escena en el fotograma 1. Tras añadir una clave en el fotograma 10, indicando que el cubo está en una posición horizontal de 20 metros; el software determinará automáticamente la posición del cubo en los fotogramas entre el 1 y 10, de modo que al reproducir la animación se observará al cubo moviéndose de forma horizontal hasta llegar a los 20 metros.

Esqueleto de la probeta

Para replicar el estado de deformación de la probeta real tras el ensayo, fue necesario que durante la animación solo algunas secciones de la malla del modelo 3D sufrieran modificaciones; así que se optó por dotar a este último de un esqueleto.

Un esqueleto, también llamado *armature*, en Blender es una estructura compuesta de huesos que están vinculados con algún otro objeto, por lo tanto, si los huesos se mueven o deforman dicho objeto también lo hará de una manera similar.

Esta herramienta resulta de mucha utilidad para crear el rig de un modelo, es decir, el sistema de control que permite moverlo como si se tratase de una marioneta.

Para crear el esqueleto de la probeta se añadió un objeto *armature*, el cual inicialmente constó de un solo hueso. El hueso se escaló hasta igualar la longitud de la probeta de 102.6 [mm].

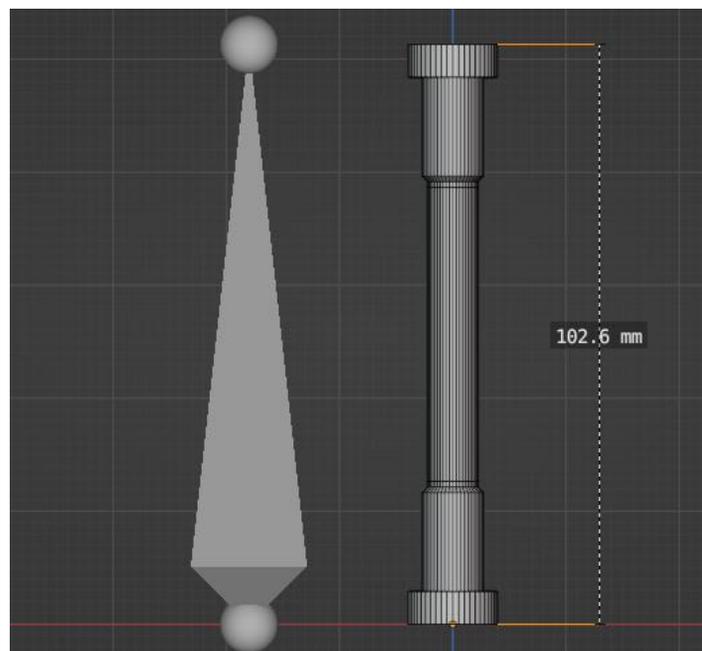


Figura 86. Primer hueso del esqueleto de la probeta.

Para poder moldear el cuello de botella, el área central de la sección reducida de la probeta se subdividió en seis partes, como se observa en la Figura 87.

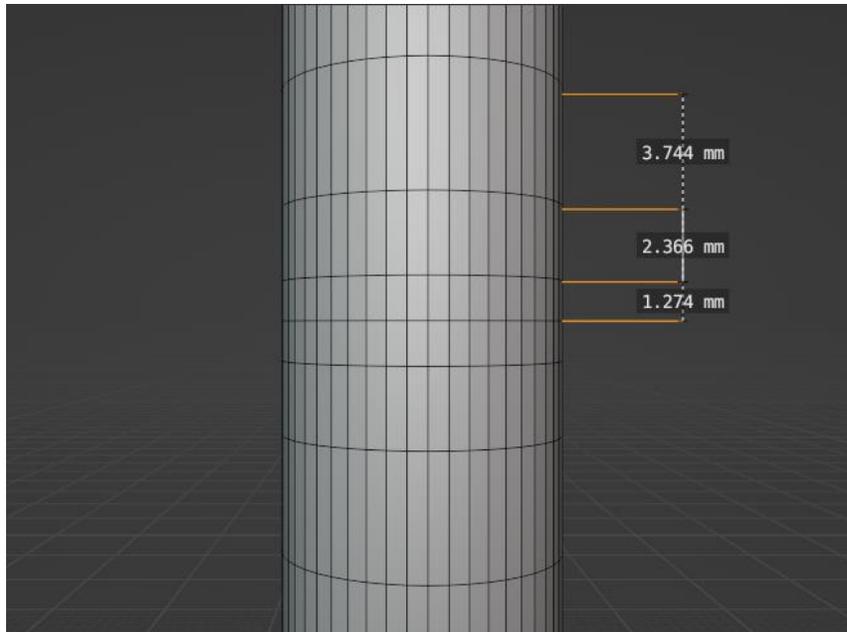


Figura 87. Subdivisiones en el centro de la sección reducida.

A continuación, el hueso se subdividió en trece segmentos para conformar el esqueleto completo. Las articulaciones entre los huesos se distribuyeron a lo largo de la sección reducida de la probeta, concentrándose cerca del centro para coincidir con los segmentos creados en el paso anterior.

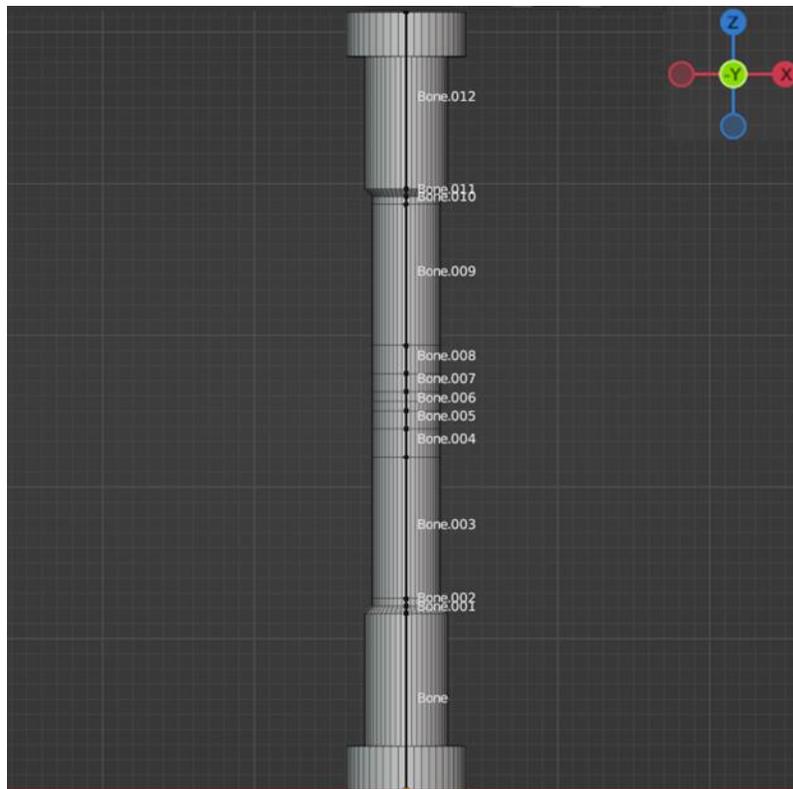


Figura 88. Esqueleto completo de la probeta.

Para vincular el esqueleto con la probeta fue necesario emparentarlos, estableciendo al esqueleto como objeto padre y a la probeta como objeto hijo.

Animación de deformación

Durante la visita al laboratorio de materiales real se observó que el ensayo de tracción de la probeta simplemente maquinada tuvo una duración aproximada de un minuto, desde que la máquina empieza a aplicar fuerza hasta que la probeta se rompe. Para el laboratorio virtual se decidió recortar la duración del ensayo a solo 30 segundos, de modo que la deformación progresiva de la probeta fuese más evidente y captase mejor la atención de los usuarios.

La tasa de fotogramas seleccionada fue de 24fps, resultando en un total de 720 fotogramas para los 30 segundos que dura la animación.

Para cada hueso del esqueleto se insertaron claves que modifican la posición, la escala o ambas, dependiendo de la sección de la probeta en la cual estuviesen ubicados. Además de las claves del primer fotograma que indican el estado inicial de los huesos, la mayoría de las restantes se colocaron en el fotograma 720, el último.

En seguida se listan las transformaciones que sufre cada hueso durante la animación y los efectos que provocan en la probeta. Todos los desplazamientos de los huesos ocurren sobre el eje Z de la escena, el cual se encuentra orientado a lo largo de la probeta, como se observa en la Figura 88.

- Hueso 0: permanece sin cambios, por lo que la primer porción antes de la sección reducida no se deforma en ningún momento.
- Hueso 1: sufre cambios mínimos para actuar como un ancla que permite al hueso 2 deformar las zonas del chaflán y la marca de medición. Se desplaza 0.26 [mm] en dirección opuesta al eje Z y se encoge hasta alcanzar un 84% de su tamaño original a lo largo del mismo eje.
- Hueso 2: alarga las zonas mencionadas en el hueso 1, además de hacer más angosto el bucle que las divide. Sus dimensiones finales son 127% de su tamaño original en el eje Z y 78% en los otros dos ejes.
- Hueso 3: se desplaza 2 [mm], por lo que el área después de la marca de medición hace lo mismo.
- Hueso 4: se desplaza 2.79 [mm] y se encoge a un 90% de su tamaño sobre el eje Z.
- Hueso 5: sus cambios dan forma al área externa del cuello de botella. Se desplaza 3.24 [mm] y se encoge a un 70% de su tamaño en el eje Z. Su dimensión final en los otros dos ejes es un 87% de la original.

- Hueso 6: es el hueso que experimenta más cambios, pues le da forma al área central del cuello de botella, donde ocurre la fractura.

Este hueso no sufre ninguna transformación durante los primeros 48 fotogramas, lo cual contribuye a que la deformación de la probeta tenga un comportamiento de aspecto elástico durante los primeros segundos de la animación.

Después de dicho fotograma, el hueso se elonga un 50% de su tamaño en el eje Z y se desplaza 1.88 [mm] en dirección de este. También se estrecha un 50% de su tamaño en los otros dos ejes.

A partir de aquí, los cambios de dimensiones en los huesos coinciden con los descritos anteriormente, por lo que la deformación de la probeta es simétrica.

- Hueso 7: se desplaza 2.47 [mm]. Sus dimensiones finales son iguales a las del hueso 5.
- Hueso 8: se desplaza 2.58 [mm]. Se deforma igual que el hueso 4.
- Hueso 9: se desplaza 3 [mm] en dirección del eje Z.
- Hueso 10: se desplaza 5 [mm]. Sus dimensiones cambian de la misma manera que las del hueso 2.
- Hueso 11: se desplaza 5.4 [mm]. Sus dimensiones finales son iguales a las del hueso 1.
- Hueso 12: únicamente se desplaza 5 [mm].

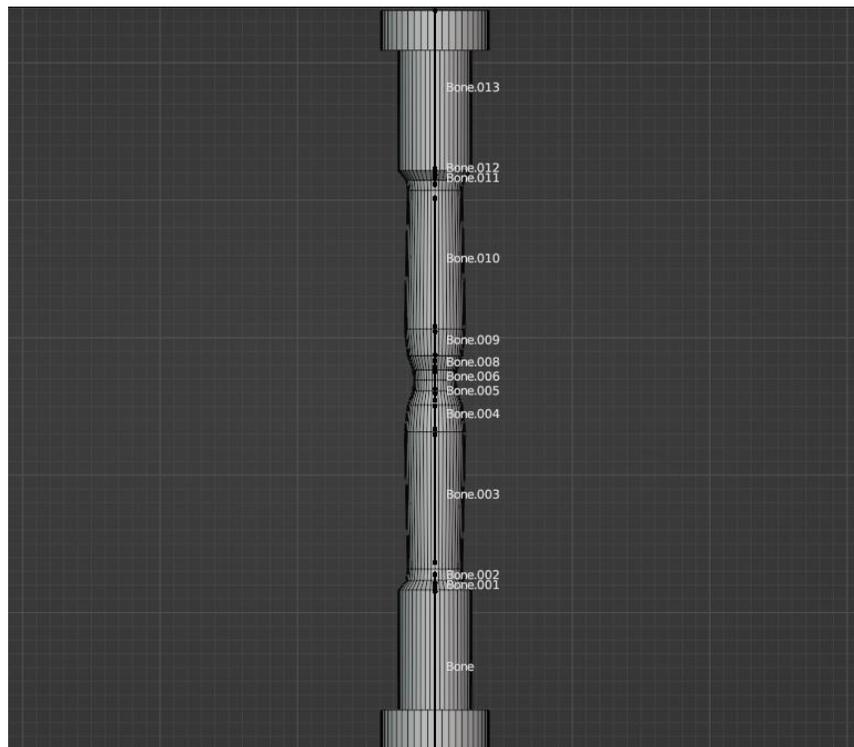


Figura 89. Modelo de la probeta al final de su animación.

Probeta rota

El modelo de la probeta rota se creó a partir del estado final de deformación de la probeta animada y las fotografías de la probeta simplemente maquinada después de haberse fracturado.



Figura 90. Fractura de la probeta simplemente maquinada.

Debido a que el contorno de la fractura es bastante irregular, se decidió trazarlo a pulso con ayuda de la herramienta knife, la cual permite subdividir caras dibujando líneas rectas con el cursor.

Primero se trazó un contorno preliminar, para después ajustar manualmente la posición de cada vértice y moldearlo hasta que se asemejara más a la fractura real. Después, la malla se dividió en dos mitades a partir del contorno moldeado.

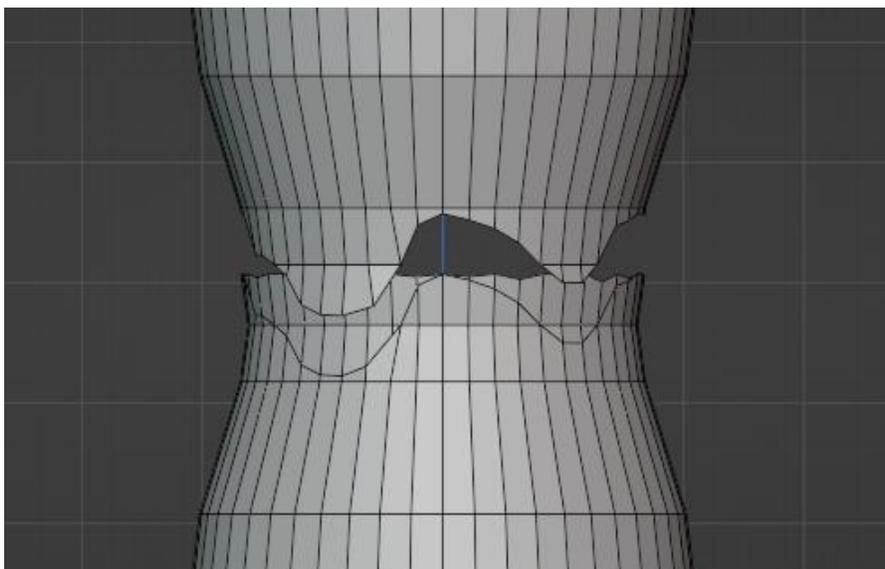


Figura 91. Contorno de la fractura en el modelo de la probeta.

En la mitad inferior, la superficie de la fractura se construyó con el comando grid fill, que rellena el contorno seleccionado con una malla de caras. Mediante los parámetros del comando y modificando algunas caras individualmente, la malla se moldeó para asemejarla a la fractura real.

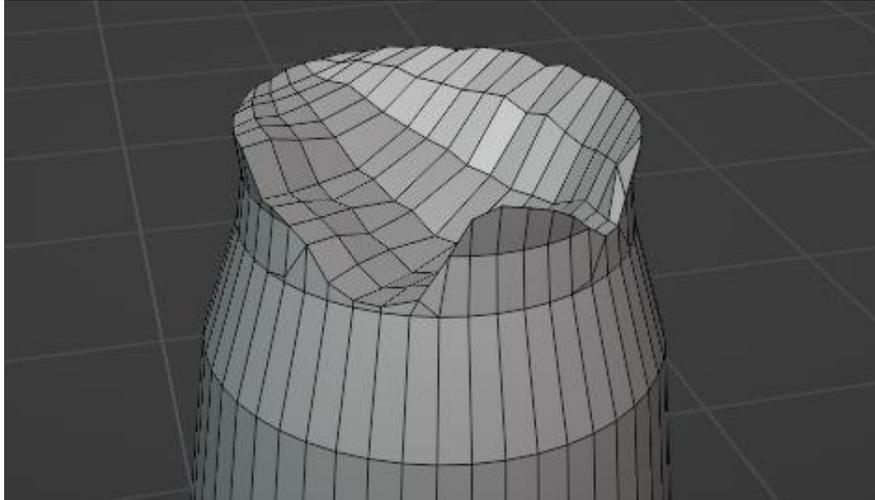


Figura 92. Superficie de la fractura.

A continuación, la malla creada en el paso anterior se duplicó y se integró en la mitad superior del modelo mediante el comando merge, que se encarga de fusionar los vértices que se encuentren a muy poca distancia entre sí.

Por último, ambas mitades de la probeta se dividieron en modelos independientes para poder separarlos durante la animación.

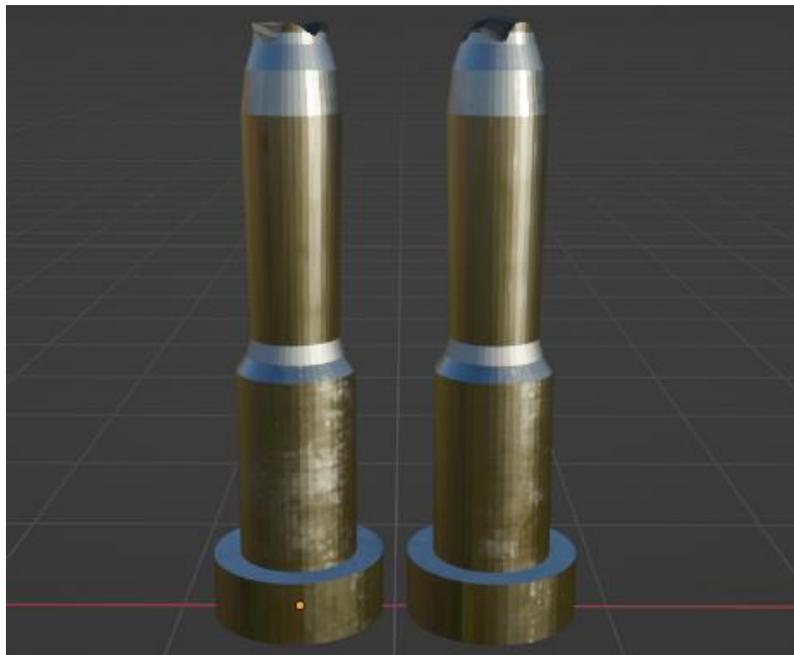


Figura 93. Modelo 3D de la probeta rota.

Animaciones en Unity

El resto de las animaciones de la práctica consisten principalmente en transformaciones de posición y rotación, por lo cual fue posible crearlas directamente dentro de Unity.

El proceso para crear clips de animación en Unity es similar al de Blender, respecto a que consiste en insertar fotogramas clave en la línea de tiempo y el software se encarga de interpolar para obtener los valores de las propiedades en todos los fotogramas intermedios.

El motor gráfico permite animar la mayoría de las propiedades de los componentes de un objeto, así como de los componentes de sus objetos hijos.

En esta sección se describe el comportamiento de todos los animator controllers del laboratorio, abordando sus máquinas de estado y sus clips de animación.

Animaciones del vernier

El vernier es el objeto que emplea un mayor número de clips de animación: una animación de espera, dos para las mediciones iniciales de la probeta y 2 más para las mediciones finales.

Los parámetros que se observan en la Figura 94 indican el clip hacia el cual hará transición la máquina, lo cual ocurre cuando solo uno de ellos se encuentra activo.

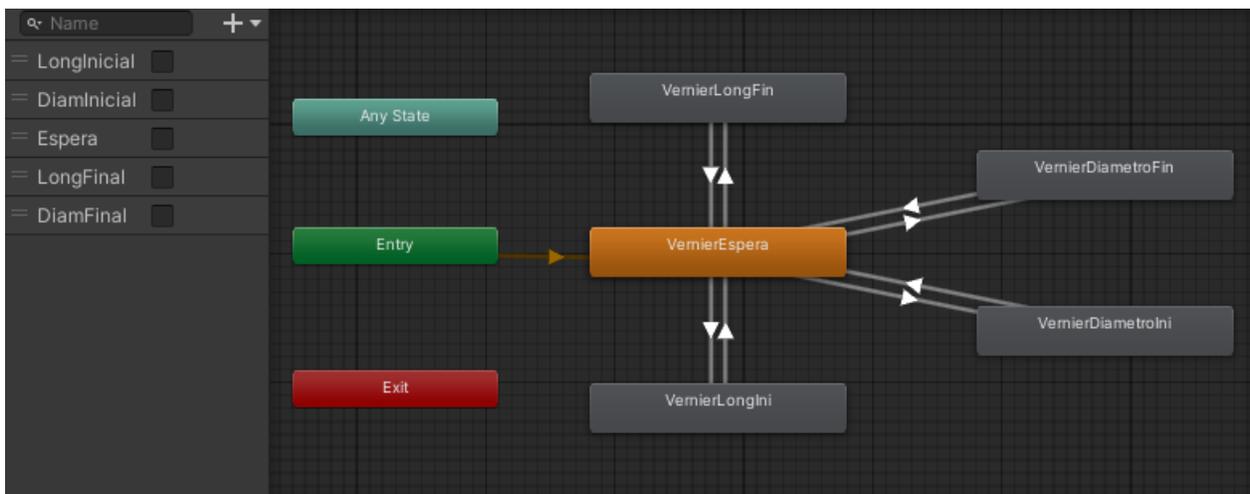


Figura 94. Animator controller del vernier.

La animación de espera es el estado inicial del vernier y es cuando este alcanza la apertura máxima entre sus mordazas.

La transición a este clip sucede cuando se habilita el animador, además de ser el estado al que se regresa después de completar cualquiera de las animaciones de medición. La transición requiere que únicamente el valor del parámetro Espera sea positivo.

Las animaciones de medición consisten en desplazar la parte móvil del vernier para ajustarse ya sea a la longitud o al diámetro de la probeta mientras se encuentra montada en el soporte.

El clip de longitud inicial desplaza la parte móvil 0.0375 unidades desde su posición de espera y requiere que se active el parámetro LongInicial para hacer transición a este. En el último fotograma de la animación se llama al método MedicionInicial del script del vernier, Figura 76, que se encarga de manejar los valores medidos y el bucle entre las animaciones antes de ejecutar el ensayo.

El clip de diámetro inicial desplaza la parte móvil 0.039 unidades desde su posición inicial y requiere que solo el parámetro DiamInicial sea positivo. Al igual que la animación de longitud inicial, en su último fotograma llama al método MedicionInicial.

El clip de longitud final desplaza la parte móvil 0.042 unidades desde su posición inicial y requiere del parámetro LongFinal. En el último fotograma se llama al método MedicionFinal del script del vernier, para mostrar los valores medidos tras el ensayo.

El clip de diámetro final desplaza la parte móvil 0.0445 unidades desde su posición de espera y requiere del parámetro DiamFinal. Al final de la animación también llama al método MedicionFinal, para mostrar el diámetro medido y activar el animador de la probeta rota.



Figura 95. Mediciones iniciales con el vernier.

Animación de los tornillos

Al igual que sucede con otros modelos, el animador controller de los tornillos es bastante simple, puesto que el modelo solo requiere utilizar un clip.

La animación de enroscado desplaza a los tornillos 0.3 unidades hacia abajo sobre el eje vertical de la escena (eje Y), adentrándolos en los barrenos de la mordaza. Este clip

se ejecuta inmediatamente después de que el animador se habilita, lo cual ocurre cuando el subensamble se monta sobre la base atornillable.

En el último fotograma se llama al método `DisableAnimator` del script de los tornillos, cuya única función es desactivar el propio animador controller para evitar que la animación interfiera con la manipulación del ensamble.

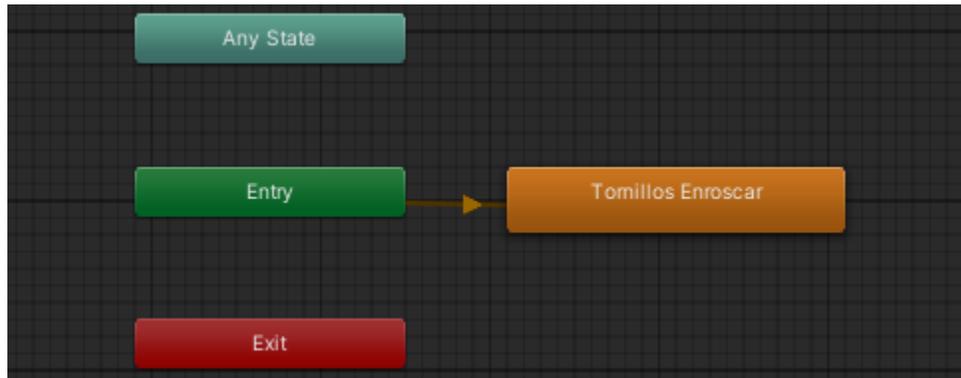


Figura 96. Animator controller de los tornillos.

Animaciones de los ensambles

Cada ensamble emplea un solo clip de animación para atornillarse en la máquina al momento de ser montados.

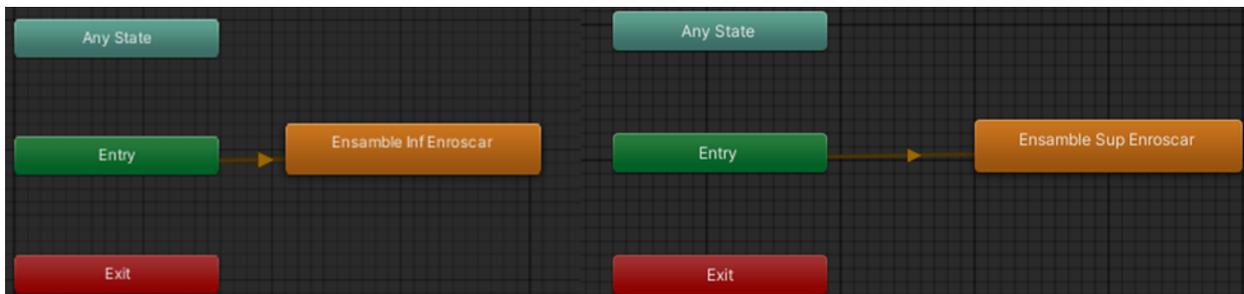


Figura 97. Animator controllers de los ensambles inferior y superior.

En el caso del ensamble inferior, su animación de enroscado lo desplaza 0.072 unidades hacia abajo sobre el eje vertical (eje Z, debido a las rotaciones que experimentó el objeto), además de girarlo 720° para que de dos vueltas sobre el mismo eje mientras baja.

La animación del ensamble superior es idéntica al del inferior, excepto porque su desplazamiento es hacia arriba sobre el eje vertical.

Al final de ambos clips se llama a un método en sus respectivos scripts que se encarga de desactivar los animador controllers, ya que no es necesario que ejecuten más animaciones durante el resto de la práctica.

Animación del cabezal móvil

El cabezal móvil cuenta con un clip de espera y otro de desplazamiento.

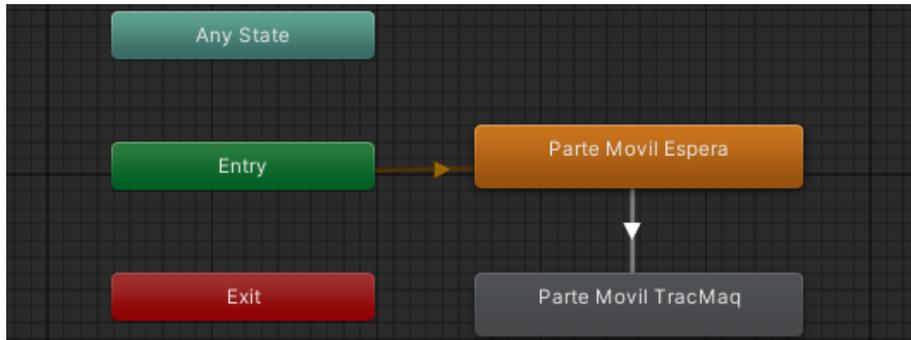


Figura 98. Animator controller del cabezal móvil.

La animación de espera es el estado inicial de la máquina tras habilitar el animador. El cabezal permanece estático hasta que se acciona el parámetro TraccionMaq al momento de presionar el botón de inicio.

El clip de animación de desplazamiento se encarga de mover el cabezal 0.009 unidades hacia arriba sobre el eje vertical Y. Esta animación se ejecuta en conjunto con el clip de deformación de la probeta, por lo que su duración también es de 30 segundos.

En el último fotograma del clip se llama al método SustituirProbeta del script del cabezal móvil, Figura 83.

Animación de la probeta

La probeta permanece en un estado de espera desde el momento que se habilita su animador. Tras presionar el botón de inicio, se acciona el parámetro Tracción, permitiendo que ocurra la transición hacia el clip de deformación creado en Blender.

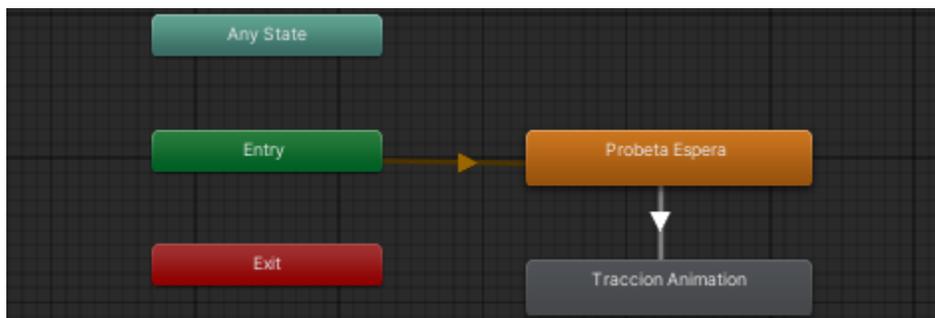


Figura 99. Animator controller de la probeta.

Animación de la probeta rota

El animador de la probeta rota se activa después haberla medido por completo y recogerla del soporte. En ese momento se ejecuta una animación en la cual la mitad

superior de la probeta gira 180° sobre el eje horizontal X, se desplaza 0.0018 unidades sobre el eje Y y 0.031 unidades sobre el eje Z; situándose al lado de la mitad inferior para que pueda apreciarse mejor la superficie de la fractura.

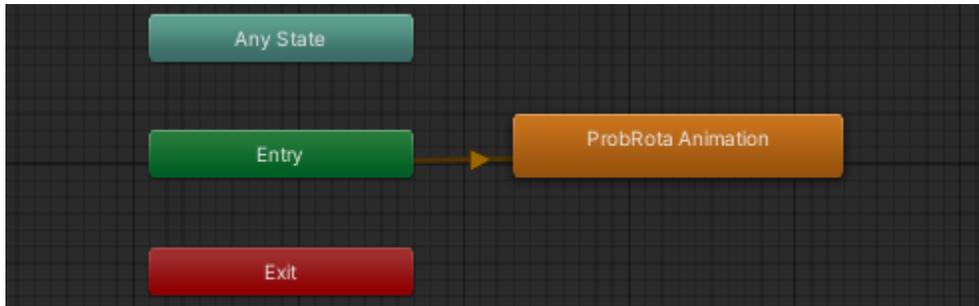


Figura 100. Animator controller de la probeta rota.

Diagrama carga-desplazamiento

El diagrama carga-desplazamiento del laboratorio virtual ofrece al usuario una aproximación del comportamiento de la probeta durante el ensayo, con el propósito de auxiliar en el trazo de la curva esfuerzo-deformación ingenieril.

Para construir la gráfica, se tomaron como base los valores y el diagrama resultantes de la probeta simplemente maquinada, obtenidos de la máquina de ensayos real.

<ENTER> to start data acquisition or <ESC> to end							
Spc #	MAX .DISP (mm)	MAX .LOAD (KN)	MAX .STR (MPa)	BRK .DISP (mm)	BRK .LOAD (KN)	.2% YD STR (MPa)	MODULUS (MPa)
1	1.870	34.25	600.9	4.790	23.55	559.5	35870.

Figura 101. Resultados obtenidos de la máquina universal de ensayos para la probeta simplemente maquinada.

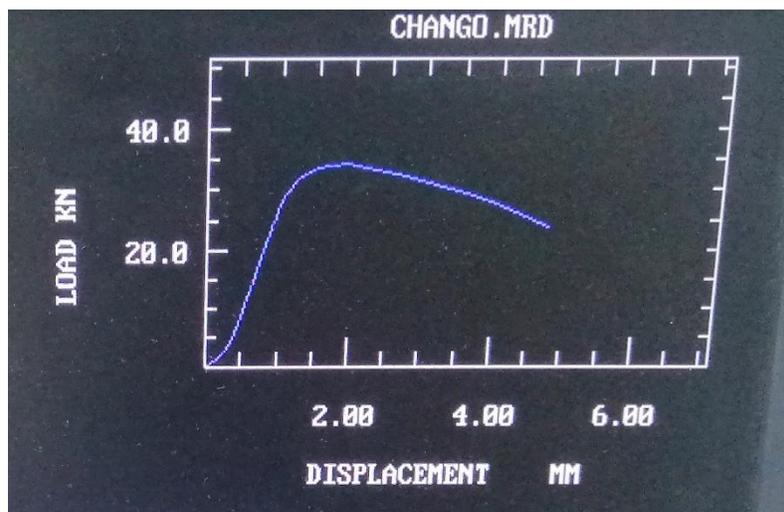


Figura 102. Diagrama C-D obtenido de la máquina universal de ensayos.

El diagrama del laboratorio virtual se presenta mediante una animación en la cual se va trazando conforme se ejecuta el ensayo de tracción.

La duración de esta animación debía alcanzar 30 segundos, al igual que el clip de deformación de la probeta. Estableciendo una velocidad de 24fps, el clip del diagrama se elaboró con un total de 720 fotogramas.

Se consideraron 60 pares de valores para generar el gráfico en Excel, de manera que cada uno fuera representado como un cuadro que abarcara 12 fotogramas de la animación. De estos 60 cuadros se asignaron 20 a la región elástica del diagrama y los 40 restantes a la región plástica.

Región elástica del diagrama

Para trazar la zona elástica del diagrama C-D, se empezó calculando la carga y el desplazamiento en el límite de proporcionalidad, que se consideró igual al esfuerzo de fluencia.

Considerando las dimensiones de la probeta medidas en el laboratorio de materiales:

- Longitud inicial: $l_o = 55.73 [mm]$
- Longitud final: $l_f = 57.80 [mm]$
- Diámetro inicial: $\theta_o = 8.52 [mm]$
- Diámetro final: $\theta_f = 5.63 [mm]$

Así como los resultados obtenidos de la máquina de ensayos, Figura 101:

- Desplazamiento máximo: $\Delta l_{max} = 1.870 [mm]$
- Carga máxima: $F_{max} = 34.25 [KN]$
- Esfuerzo máximo: $\sigma_{max} = 600.9 [MPa]$
- Desplazamiento de ruptura: $\Delta l_r = 4.790 [mm]$
- Carga de ruptura: $F_r = 23.55 [KN]$
- Esfuerzo de fluencia: $\sigma_y = 559.5 [MPa]$
- Módulo elástico: $E = 35870 [MPa]$

La resistencia a la fluencia se puede obtener dividiendo la carga por la sección transversal inicial A_o de la probeta:

$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_o} \quad 3$$

El área A_o para la probeta cilíndrica es:

$$A_o = \frac{\pi \cdot \theta_o^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8.52[mm]^2}{4} = 57.012[mm^2] \quad 4$$

Despejando la Ecuación 3 se obtiene la fórmula para calcular la carga de fluencia:

$$F_y = \sigma_y \cdot A_o \quad 5$$

$$F_y = 559.5 [MPa] \cdot 57.012 [mm^2]$$

$$F_y = 31.898 [KN]$$

Despejando la Ecuación 2 se obtiene la fórmula para calcular el desplazamiento en el punto de fluencia:

$$\Delta l_y = e_y \cdot l_o \quad 6$$

La deformación de fluencia se puede despejar de la Ley de Hooke en la Ecuación 1:

$$e_y = \frac{\sigma_y}{E} \quad 7$$

$$e_y = \frac{559.5 [MPa]}{35870 [MPa]} = 0.0156 \left[\frac{mm}{mm} \right]$$

Calculando Δl_y :

$$\Delta l_y = 0.0156 \left[\frac{mm}{mm} \right] \cdot 55.73 [mm]$$

$$\Delta l_y = 0.8693 [mm]$$

Para obtener los datos de la región elástica del diagrama C-D, se propuso un intervalo de valores de desplazamiento equidistantes. Los valores de carga correspondientes a dicho intervalo se calcularon mediante la ecuación punto-pendiente de la recta que se forma entre el origen del gráfico y el límite de proporcionalidad.

La ecuación punto-pendiente de la recta de la zona elástica, considerando que la carga y desplazamiento iniciales son iguales a cero, es la siguiente:

$$F_2 - F_1 = M(\Delta l_2 - \Delta l_1)$$

$$F_y - 0 = M(\Delta l_y - 0)$$

$$F_y = M \cdot \Delta l_y \quad 8$$

donde M es la pendiente de la recta que se obtiene despejando la ecuación:

$$M = \frac{F_y}{\Delta l_y} \quad 9$$

Calculando la pendiente:

$$M = \frac{31.898 \text{ [KN]}}{0.8693 \text{ [mm]}}$$

$$M = \frac{31.898 \text{ [KN]}}{0.8693 \text{ [mm]}} = 36.695 \left[\frac{\text{KN}}{\text{mm}} \right]$$

Como se mencionó antes, se asignaron 20 puntos diferentes a la región elástica del diagrama, incluyendo el origen y el punto de fluencia.

Calculando el salto entre los valores del intervalo de desplazamientos propuesto:

$$\text{Salto} = \frac{\Delta l_y}{19} = 0.046 \text{ [mm]}$$

La carga correspondiente a cada valor del intervalo de desplazamientos se calculó con la Ecuación 8, para obtener la Tabla 1:

Valores de la región elástica		
Valor	Desplazamiento [mm]	Carga [KN]
1	0.000	0.000
2	0.046	1.679
3	0.092	3.358
4	0.137	5.037
5	0.183	6.715
6	0.229	8.394
7	0.275	10.073
8	0.320	11.752
9	0.366	13.431
10	0.412	15.110
11	0.458	16.789
12	0.503	18.468
13	0.549	20.146
14	0.595	21.825
15	0.641	23.504
16	0.686	25.183
17	0.732	26.862
18	0.778	28.541
19	0.824	30.220
20	0.869	31.898

Tabla 1. Valores de la región elástica.

Región plástica del diagrama

Las ecuaciones empleadas en la región elástica no pueden utilizarse para calcular valores de carga desconocidos más allá del límite de proporcionalidad.

Para poder trazar la región plástica del diagrama, se propusieron algunos pares de valores, estimados a partir del gráfico de la máquina de ensayos, Figura 102.

En la Tabla 2 se muestran los valores propuestos junto con los valores resultantes obtenidos de la máquina de ensayos:

Valores estimados para la región plástica		
Valor	Desplazamiento [mm]	Carga [KN]
1	0.869	31.898
2	1.500	33.570
3	1.870	34.250
4	2.000	34.000
5	2.500	32.850
6	3.000	31.250
7	3.500	29.800
8	4.000	27.700
9	4.500	25.200
10	4.79	23.55

Tabla 2. Valores estimados para la región plástica.

Para completar los 40 puntos asignados a la región plástica, se establecieron intervalos equidistantes entre los valores de la Tabla 2.

Las siguientes fórmulas se emplearon para calcular el salto en cada intervalo de desplazamiento y carga:

$$Salto_{\Delta l} = \frac{\Delta l_2 - \Delta l_1}{n} \text{ [mm]} \quad 10$$

$$Salto_F = \frac{F_2 - F_1}{n} \text{ [KN]} \quad 11$$

Donde n es el número de valores en el intervalo, incluyendo uno de sus extremos.

Uniendo los puntos de las regiones elástica y plástica, se obtuvo la Tabla 3, que contiene todos los valores necesarios para trazar el diagrama C-D.

Valores del diagrama carga-desplazamiento		
Valor	Desplazamiento (mm)	Carga (KN)
1	0.000	0.000
2	0.046	1.679
3	0.092	3.358
4	0.137	5.037
5	0.183	6.715
6	0.229	8.394
7	0.275	10.073
8	0.320	11.752
9	0.366	13.431
10	0.412	15.110
11	0.458	16.789
12	0.503	18.468

13	0.549	20.146
14	0.595	21.825
15	0.641	23.504
16	0.686	25.183
17	0.732	26.862
18	0.778	28.541
19	0.824	30.220
20	0.869	31.898
21	0.995	32.233
22	1.122	32.567
23	1.248	32.901
24	1.374	33.236
25	1.500	33.570
26	1.574	33.706
27	1.648	33.842
28	1.722	33.978
29	1.796	34.114
30	1.870	34.250
31	1.896	34.200
32	1.922	34.150
33	1.948	34.100
34	1.974	34.050
35	2.000	34.000
36	2.100	33.770
37	2.200	33.540
38	2.300	33.310
39	2.400	33.080
40	2.500	32.850
41	2.625	32.450
42	2.750	32.050
43	2.875	31.650
44	3.000	31.250
45	3.125	30.888
46	3.250	30.525
47	3.375	30.163
48	3.500	29.800
49	3.625	29.275
50	3.750	28.750
51	3.875	28.225
52	4.000	27.700
53	4.125	27.075
54	4.250	26.450
55	4.375	25.825
56	4.500	25.200
57	4.573	24.788
58	4.645	24.375
59	4.718	23.963
60	4.79	23.55

Tabla 3. Valores del diagrama carga-desplazamiento.

El diagrama C-D se generó en Excel:

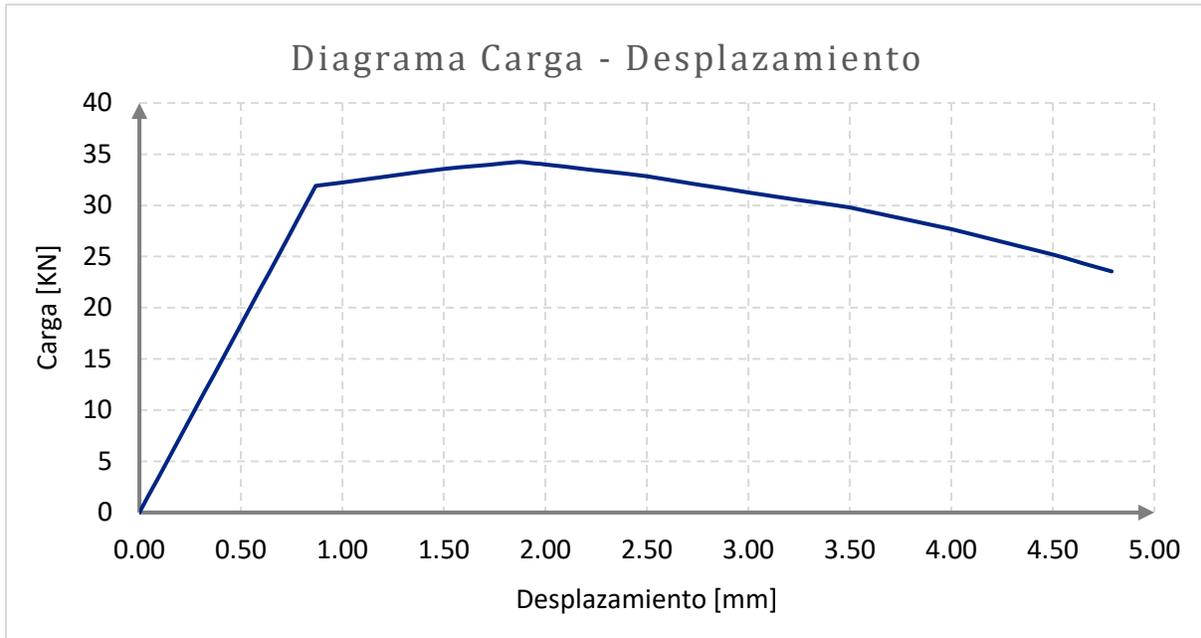


Figura 103. Diagrama carga-desplazamiento del laboratorio virtual.

Animación del diagrama C-D

Los fotogramas correspondientes a cada uno de los 60 puntos del diagrama C-D se crearon a partir de gráficas en Excel, que se exportaron a una carpeta como imágenes en formato JPG, con ayuda de un macro.

A continuación, se enumeran los pasos seguidos para crear dichos fotogramas:

1. Para empezar, se crearon 60 copias de la gráfica del diagrama C-D y se asignó a cada una un nombre distintivo, correspondiente a un número de cada punto del diagrama.
2. En cada gráfico, se elevó la transparencia de todos los puntos más allá del punto correspondiente al nombre del gráfico, de modo que solo fuera visible la porción de la curva que va desde el origen hasta dicho punto.
3. En el IDE de Visual Basic de Excel, se creó una subrutina para exportar los gráficos que funciona del siguiente modo:
 - a. La subrutina lanza un cuadro de dialogo del explorador de archivos que solicita al usuario seleccionar una carpeta donde se exportarán los gráficos.
 - b. Si se seleccionó una carpeta, su ruta se almacena en la variable sRuta. De lo contrario, la subrutina termina inmediatamente.

- c. Tras almacenar la ruta, se declaran las variables sRutaAux, que se encargará de manejar la ruta específica de cada gráfico, y oGrafico, que maneja los gráficos en sí.
- d. Cada gráfico se exporta a la carpeta seleccionada, añadiendo a la ruta el nombre distintivo del gráfico y la extensión .jpg, para establecer el formato deseado.

```

1 Sub ExportarGrafico()
2   Dim sRuta As String
3
4   With Application.FileDialog(msoFileDialogFolderPicker)
5     .Title = "Seleccione una carpeta por favor"
6     .ButtonName = "Clic aqui"
7     If .Show = -1 Then
8       sRuta = .SelectedItems(1)
9     Else
10      MsgBox "No selecciono una ruta, no se exportara el grafico."
11      Exit Sub
12    End If
13  End With
14
15  If sRuta <> "" Then
16    Dim oGrafico As ChartObject
17
18    Dim sRutaAux As String
19    For Each oGrafico In ActiveSheet.ChartObjects
20      sRutaAux = sRuta & "\" & oGrafico.Name & ".jpg"
21      oGrafico.Chart.Export sRutaAux
22    Next oGrafico
23  End If
24 End Sub

```

Figura 104. Subrutina para exportar los gráficos.

4. Por último, el macro se agrega a un cuadro de texto en el libro de Excel, que funciona como un botón que ejecuta la subrutina al pulsarlo.

Una vez obtenidos los 60 cuadros, se importaron dentro de Unity para crear la animación del diagrama.

El primer cuadro, cuya imagen es la del gráfico vacío, se añadió a la escena del laboratorio como un objeto 2D de tipo Sprite. Para crear el clip de animación, se agregaron 59 fotogramas claves en los cuales la imagen que se despliega a través del componente Sprite Renderer se va sustituyendo por las imágenes de los cuadros sucesivos. Las claves se distribuyeron cada 12 fotogramas para abarcar los 720 que cubre la animación completa.

El clip de animación del diagrama C-D se reproduce en el momento que su animator controller es activado al presionar el botón de inicio de la máquina.

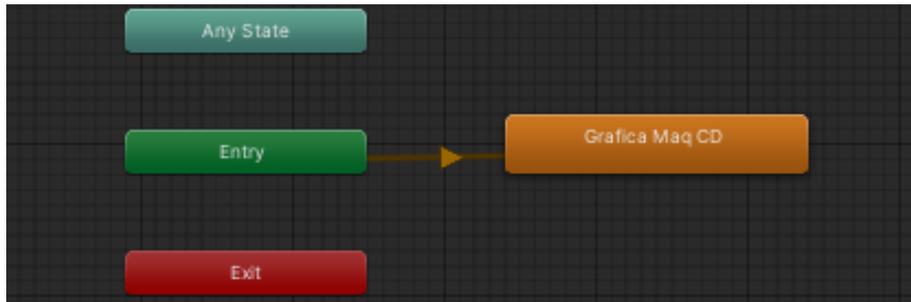


Figura 105. Animator controller del diagrama C-D.

Implementación en VRChat

El SDK de VRChat ofrece un constructor que permite generar mundos virtuales a partir de las escenas de un proyecto de Unity. Tras construir algún mundo, se pueden hacer pruebas locales con él antes de publicarlo en la plataforma de VRChat, donde otros usuarios tendrán acceso este.

Una vez completo el laboratorio virtual, se construyó como un mundo para probarlo con un visor Meta Quest 2.

Para configurar el mundo, se establecieron los siguientes parámetros en el constructor:

- Nombre: LOR Laboratorio de Tracción.
Es el nombre con el que los usuarios de VRChat pueden encontrar el mundo para acceder a él.
- Descripción: Laboratorio virtual de ensayo de tracción FI UNAM.
Una breve descripción del mundo que se puede leer en VRChat.
- Capacidad máxima: 10.
La cantidad máxima de usuarios que el mundo puede albergar simultáneamente. Tras alcanzarla, VRChat no permitirá que ingresen más usuarios.
- Capacidad recomendada: 5.
La cantidad de usuarios máxima que se recomienda que el mundo albergue simultáneamente. Si se rebasa esta cantidad, VRChat intentará disuadir a los nuevos usuarios que intenten ingresar al mundo.

- Plataforma soportada: Android.

Se refiere al sistema operativo de los dispositivos que pueden acceder al mundo. En el caso de los Meta Quest 2, su sistema operativo es Android.

- Visibilidad del mundo: público.

Indica que cualquier usuario de VRChat que conozca el nombre del mundo puede acceder a este, una vez que se haya subido a la plataforma.

Una vez finalizadas las pruebas, el laboratorio virtual se publicó en la plataforma de VRChat dentro de la sección de Community Labs; donde los sistemas de VRChat monitorean la calidad de la experiencia que tienen los usuarios con los mundos antes de colocarlos en la sección de mundos públicos.

Resultados

Pruebas con usuarios

El laboratorio virtual se sometió a pruebas de validación con usuarios, en las cuales pudieron realizar la práctica de ensayo de tracción a través de visores Meta Quest 2.

Los participantes fueron estudiantes y profesores pertenecientes a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, para quienes se prepararon espacios dentro del Centro de Ingeniería Avanzada (CIA), ubicado en la misma facultad, donde pudieran tener una demostración del laboratorio.

Debido a que no todos los usuarios tenían la suficiente experiencia manejando equipo y software de realidad virtual, se decidió hacer los recorridos guiados, incluyendo explicaciones sobre el funcionamiento del casco VR y sobre los pasos a seguir para completar la práctica.

Las pruebas se llevaron a cabo en dos días diferentes, uno asignado al grupo de estudiantes y otro a los docentes. A continuación se describe el procedimiento que se siguió en cada uno de estos días.

Pruebas con alumnos

Las pruebas se realizaron el día 24 de octubre de 2023, en el área de proyectos de mecatrónica del CIA. Los usuarios participantes fueron 16 estudiantes de 8vo semestre de Ingeniería Mecatrónica, los cuales cursaron la asignatura de Ingeniería de Materiales en modalidad a distancia, debido a la pandemia de COVID-19.

Se prepararon tres visores con perfiles de VRChat para que los alumnos pudiesen ingresar al mundo en grupos. A cada grupo se le proporcionó una breve explicación previa sobre el funcionamiento de los controles del visor y la temática del laboratorio.

Tras acceder al mundo en VRChat, se dio a los estudiantes un tiempo para que exploraran los controles y, después, se les indicó que en el panel de instrucciones de la pared encontrarían los pasos a seguir para realizar la práctica.

Durante la ejecución de la práctica, se resolvieron dudas individuales respecto a los controles, la ubicación de los modelos 3D y otros detalles sobre el funcionamiento del laboratorio.

Al final de cada prueba, se solicitó a los participantes que respondiesen una encuesta para conocer su opinión sobre diversos aspectos del laboratorio. En las secciones subsiguientes del reporte se abordan los resultados arrojados por dichas encuestas.



Figura 106. Pruebas de validación con alumnos de Ingeniería Mecatrónica.

Pruebas con docentes

Estas pruebas se llevaron a cabo el día 6 de diciembre de 2023, durante la Expo DIMEI, que tuvo lugar en la planta baja del CIA. Los participantes fueron 10 profesores y académicos de la Facultad de Ingeniería.

Para esta demostración se prepararon dos visores con conexión a computadoras y pantallas, que permitirían a las personas alrededor del usuario visualizar la misma imagen que él.

El procedimiento para realizar las pruebas fue muy similar al que se siguió con los alumnos, con la excepción de que todas las explicaciones, antes y durante la práctica, se proporcionaron de manera individual, con el apoyo de guías auxiliares. Además, en

lugar de contar con un grupo de usuarios, se invitó a participar a los docentes y otros académicos de la facultad que se acercaban a ver la exposición.

Tras finalizar los recorridos, se proporcionó a los usuarios la misma encuesta para conocer su opinión sobre el laboratorio.

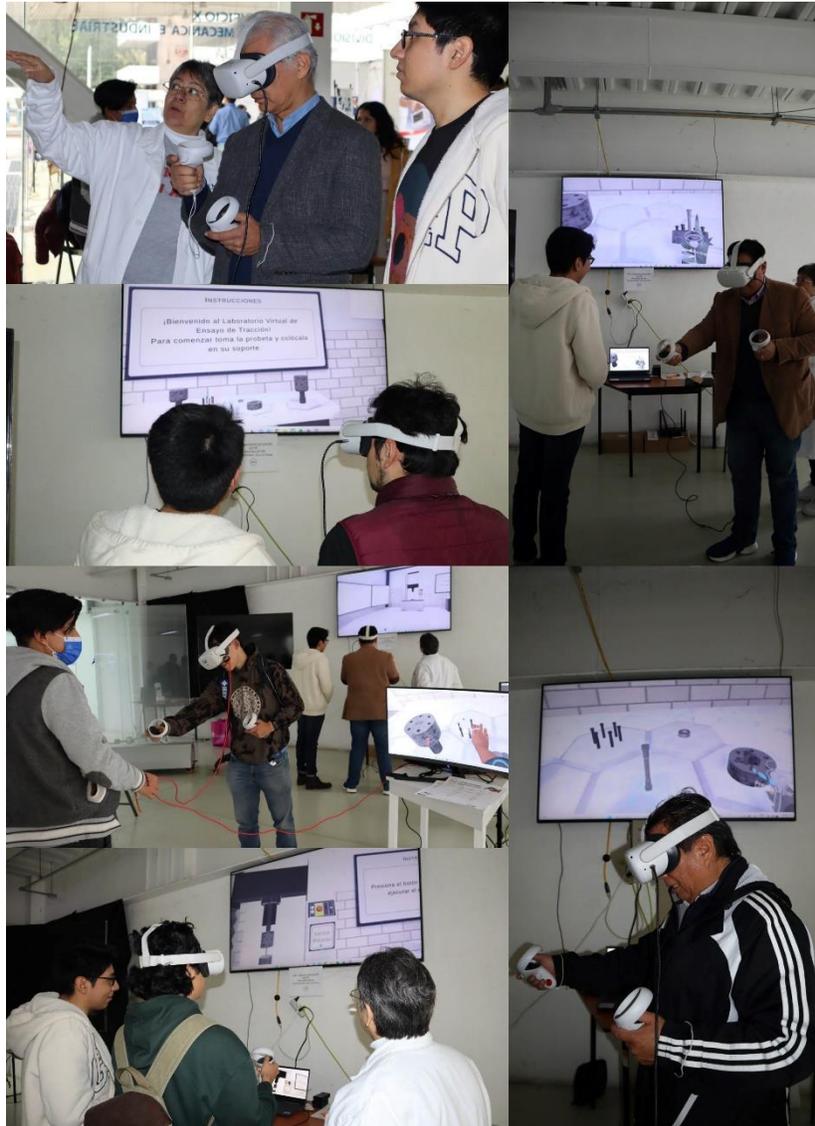


Figura 107. Pruebas de validación con docentes y académicos de la Facultad de Ingeniería.

Resultados de las pruebas con alumnos

1. ¿Habías tenido contacto con la realidad virtual anteriormente?

Casi todos los estudiantes tenían conocimiento sobre el concepto de realidad virtual, y la mayoría de ellos la habían experimentado alguna vez.



Figura 108. Respuestas de los alumnos a la pregunta 1.

2. Si has participado en alguna experiencia de realidad virtual antes ¿cómo fue?

La mayoría de las experiencias previas en RV de los alumnos estuvieron relacionadas con herramientas educativas, aunque otros tuvieron su primer contacto a través de videojuegos.

Los participantes consideran que sus acercamientos a esta tecnología fueron gratificantes y entretenidos, en especial porque les parecieron muy interactivos. También mencionaron que perciben a la RV como una herramienta novedosa, con un gran potencial en el ámbito educativo.

Los retos a los que se enfrentaron al usar la RV por primera vez fueron la dificultad de acostumbrarse a los controles y a la imagen de los visores, así como la incomodidad que percibieron al usarlos cuando están conectados a un cable.

3. ¿Habías tenido contacto con VRChat antes?

Muchos de los estudiantes conocían la plataforma de VRChat, pero solo uno de cada cuatro lo habían utilizado al menos una vez.

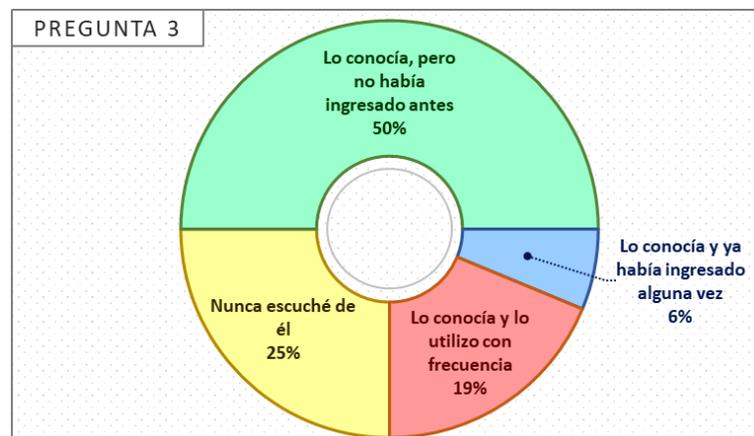


Figura 109. Respuestas de los alumnos a la pregunta 3.

4. ¿Cómo te pareció la información que te dieron las instrucciones?

En general, los estudiantes consideraron que las instrucciones para realizar la práctica fueron completas, aunque algunos indicaron que todavía pueden mejorar.

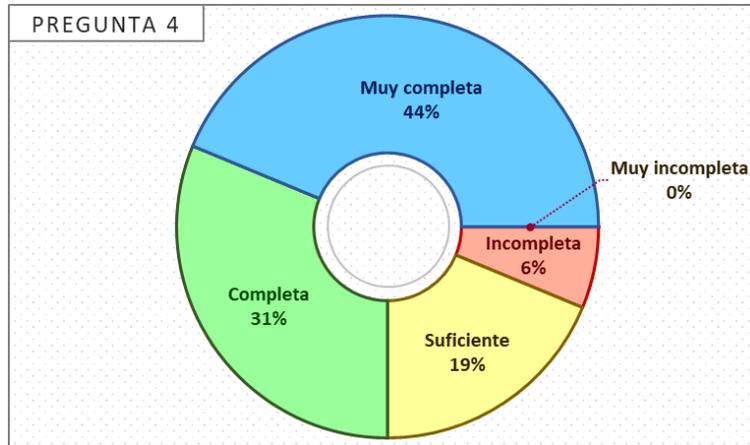


Figura 110. Respuestas de los alumnos a la pregunta 4.

5. ¿Cómo te pareció la información que te proporciona el laboratorio relacionada con la práctica de ensayo de tracción (mediciones, datos, diagrama, vista ampliada)?

No hubo ninguna opinión negativa respecto a los elementos del laboratorio encargados de proporcionar información sobre la práctica de ensayo de tracción. A la mayor parte de los usuarios les pareció que dicha información estuvo muy completa.

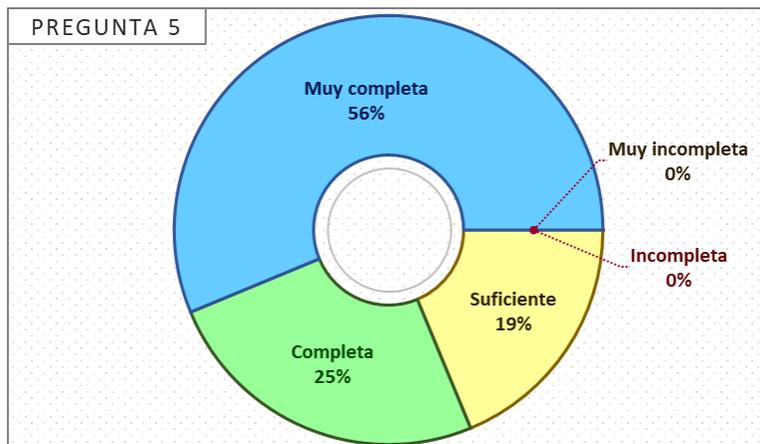


Figura 111. Respuestas de los alumnos a la pregunta 5.

6. Las interacciones que tuviste con el herramental, la probeta y el vernier te resultaron...

Los elementos del laboratorio que se manipulan con las manos le resultaron cómodos a casi todos los usuarios.

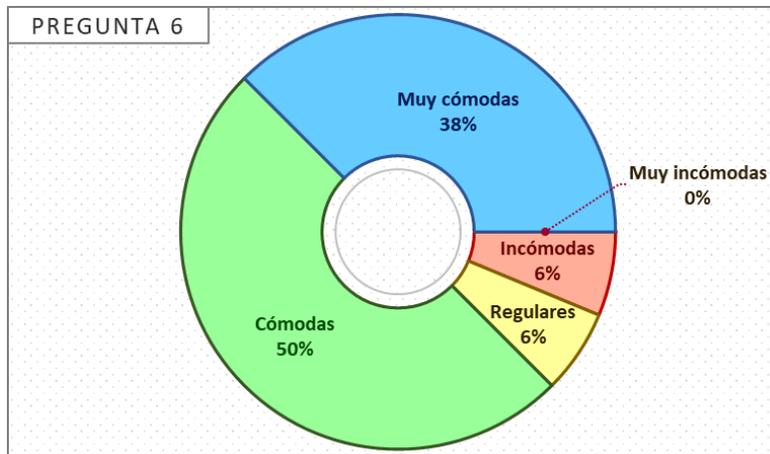


Figura 112. Respuestas de los alumnos a la pregunta 6.

7. ¿Qué opinas de las animaciones de la deformación de la probeta y el dibujado del diagrama?

Las animaciones que se reproducen durante la ejecución del ensayo llamaron la atención de los estudiantes en gran medida. El apartado de animaciones en general fue el que recibió mayor cantidad de comentarios positivos.

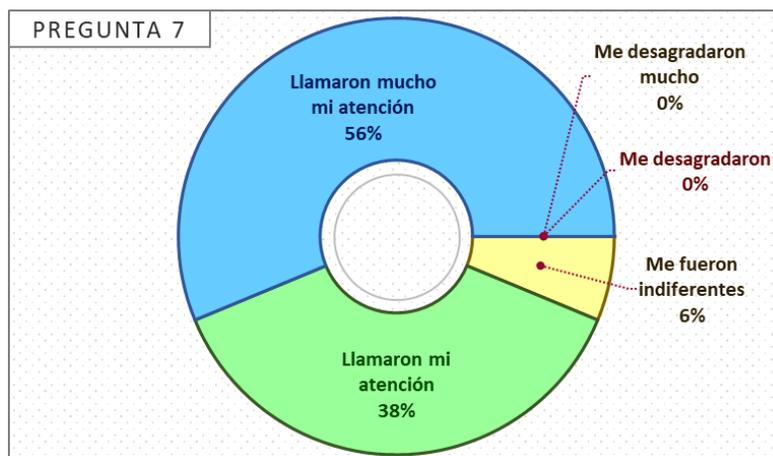


Figura 113. Respuestas de los alumnos a la pregunta 7.

8. ¿Qué opinas de las animaciones del vernier y del herramental?

Las animaciones de las etapas de medición y ensamble tampoco pasaron desapercibidas, la mayoría de los estudiantes concuerdan en que llamaron mucho su atención.

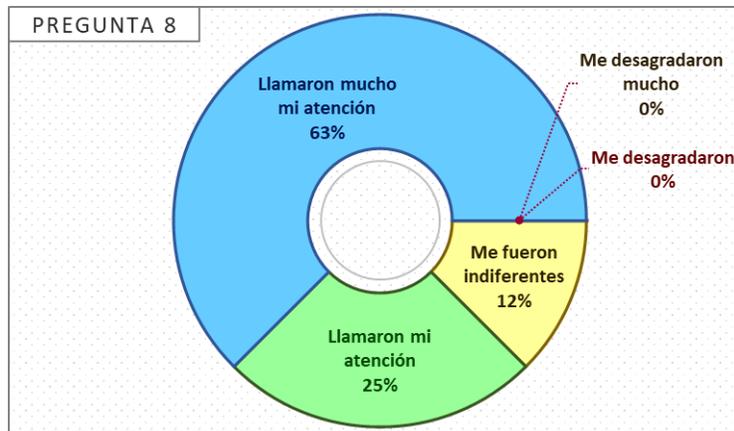


Figura 114. Respuestas de los alumnos a la pregunta 8.

9. ¿Qué te pareció la distribución de los elementos en la habitación del laboratorio?

Los alumnos consideraron que la distribución de las secciones y los modelos 3D del laboratorio fue adecuada.



Figura 115. Respuestas de los alumnos a la pregunta 9.

10. ¿Cómo te sentiste respecto a la apariencia en general del laboratorio?

Los usuarios estuvieron muy a gusto con la apariencia en general del laboratorio, la cual engloba la calidad de los modelos 3D y sus texturas.



Figura 116. Respuestas de los alumnos a la pregunta 10.

11. ¿Qué opinas del tamaño de los modelos 3D y sus proporciones entre sí?

Los usuarios percibieron que los modelos 3D son ligeramente grandes.

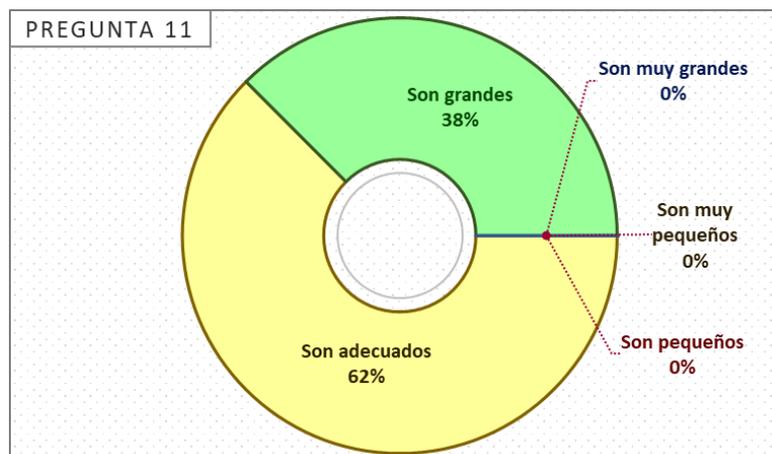


Figura 117. Respuestas de los alumnos a la pregunta 11.

12. Como herramienta de aprendizaje para asignaturas relacionadas con la ingeniería de materiales, ¿cómo crees que te resultaría el laboratorio?

Los estudiantes estuvieron de acuerdo en que este laboratorio les resultaría una herramienta de mucha utilidad para el aprendizaje de asignaturas relacionadas con la ingeniería de materiales.

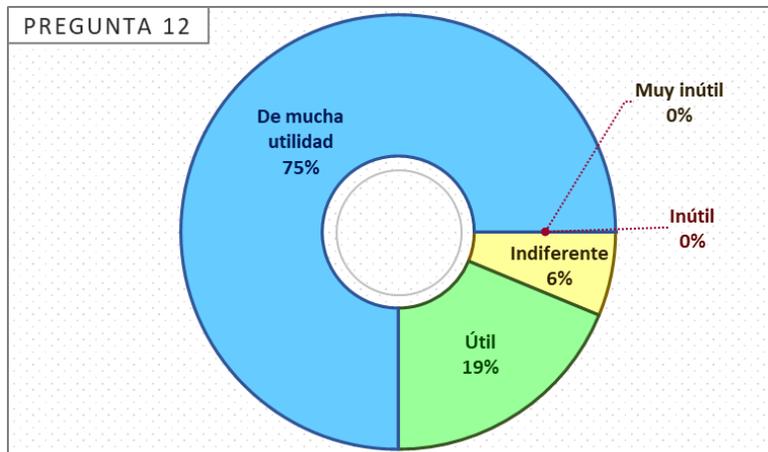


Figura 118. Respuestas de los alumnos a la pregunta 12.

13. ¿Crees que es importante que los alumnos de ingeniería tengan disponibles laboratorios virtuales como este? De ser así, ¿por qué?

Todos los participantes consideran que es importante que los alumnos de ingeniería tengan acceso a laboratorios virtuales de este tipo.

Les parece que este tipo de laboratorios son de utilidad porque permiten prepararse antes de las prácticas reales, además de repetir las cuantas veces quieran para complementar y reforzar los conocimientos que se adquieren en las clases teóricas.

La mayor parte de los estudiantes hizo hincapié en que los laboratorios virtuales permiten obtener conocimiento práctico cuando existen factores que obstaculizan el acceso a los laboratorios físicos; como la falta de horarios de disponibilidad, la ubicación física del alumno y los riesgos de sufrir accidentes con la maquinaria.

14. ¿Crees que haya ventajas en usar estos laboratorios en realidad virtual en lugar de usarlos de manera convencional en una computadora? De ser así, ¿cuáles son?

Muchos alumnos consideran que emplear la realidad virtual hace que las experiencias sean más inmersivas e interactivas, por lo cual captan mejor su atención y se sienten más apegadas a la realidad.

15. Si tienes alguna sugerencia o comentario adicional sobre tu experiencia puedes escribirlos aquí.

En general, los estudiantes mencionan que el laboratorio es amigable, interesante y detallado.

La mayoría de las sugerencias indican que es necesario proporcionar ayuda adicional para identificar cada modelo con el que el usuario interactúa, en especial el herramienta. Las soluciones propuestas por los participantes fueron agregar

imágenes de los modelos en el panel de instrucciones o acompañarlos con etiquetas de sus nombres.

También hubo menciones respecto a que la curva carga-desplazamiento puede incluir explicaciones textuales y que a algunos usuarios les gustaría poder desplazarse más rápido a voluntad dentro de la habitación.

Resultados de las pruebas con docentes

1. ¿Habías tenido contacto con la realidad virtual anteriormente?

Casi todos los profesores tenían algún conocimiento sobre la realidad virtual y la mayoría de ellos participaron en alguna experiencia relacionada anteriormente.



Figura 119. Respuestas de los docentes a la pregunta 1.

2. Si has participado en alguna experiencia de realidad virtual antes ¿cómo fue?

Las experiencias que los docentes tuvieron con la RV fueron variadas, incluyendo videojuegos, simuladores, recorridos arquitectónicos, atracciones en parques de diversiones y demostraciones de productos.

3. ¿Habías tenido contacto con VRChat antes?

Solo unos cuantos participantes habían escuchado sobre la plataforma de VRChat, aunque ninguno de ellos la había utilizado.

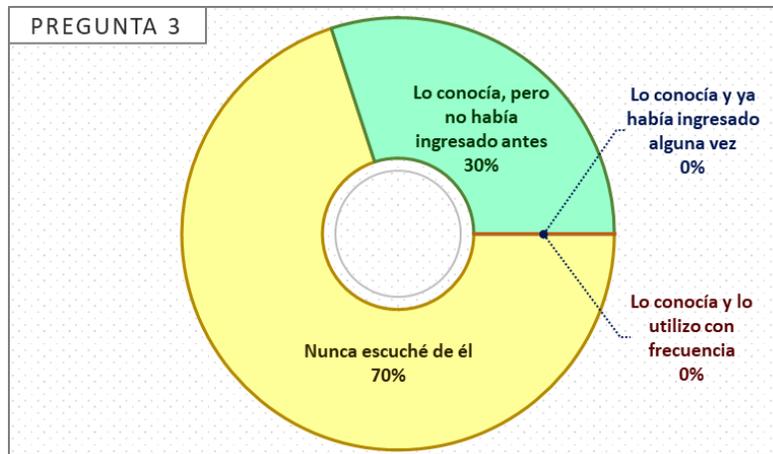


Figura 120. Respuestas de los docentes a la pregunta 3.

4. ¿Cómo te pareció la información que te dieron las instrucciones?

Todos los docentes consideraron que las instrucciones para realizar la práctica estuvieron completas.

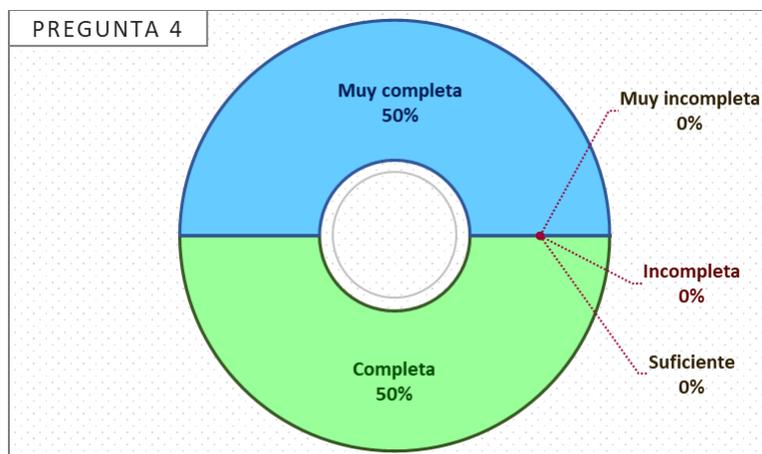


Figura 121. Respuestas de los docentes a la pregunta 4.

5. ¿Cómo te pareció la información que te proporciona el laboratorio relacionada con la práctica de ensayo de tracción (mediciones, datos, diagrama, vista ampliada)?

La mayoría de los profesores estuvieron de acuerdo en que los elementos del laboratorio proporcionan información muy completa sobre la práctica de ensayo de tracción.

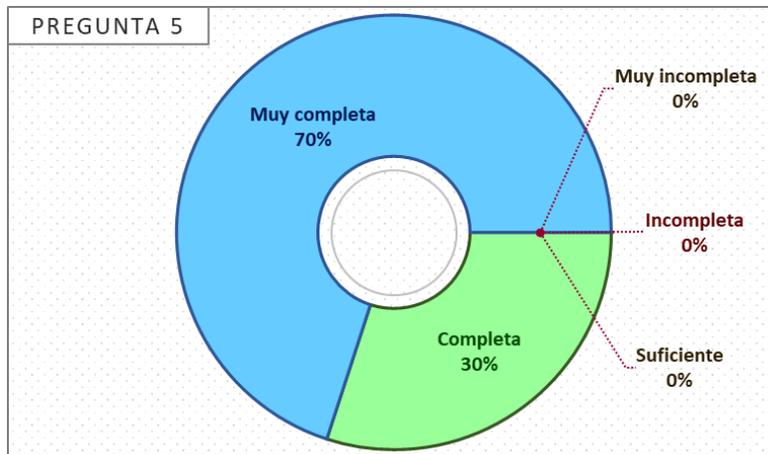


Figura 122. Respuestas de los docentes a la pregunta 5.

6. Las interacciones que tuviste con el herramental, la probeta y el vernier te resultaron...

Los elementos del laboratorio que se manipulan usando las manos resultaron especialmente cómodos para los docentes.

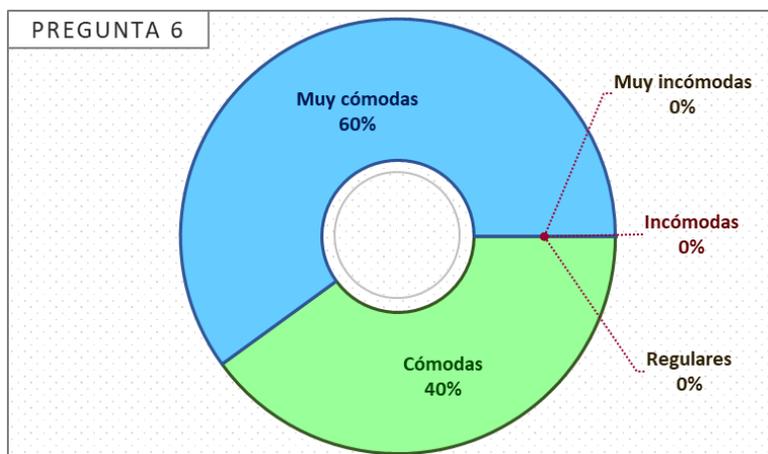


Figura 123. Respuestas de los docentes a la pregunta 6.

7. ¿Qué opinas de las animaciones de la deformación de la probeta y el dibujo del diagrama?

Entre todos los elementos del laboratorio, las animaciones que se reproducen durante la ejecución del ensayo de tracción fueron lo que más llamó la atención de los profesores.

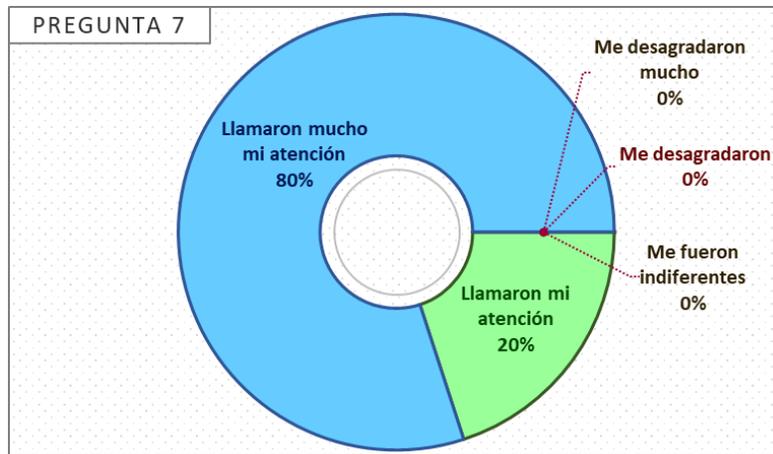


Figura 124. Respuestas de los docentes a la pregunta 7.

8. ¿Qué opinas de las animaciones del vernier y del herramental?

Las animaciones de medición y ensamble también captaron la atención de los participantes en gran medida.

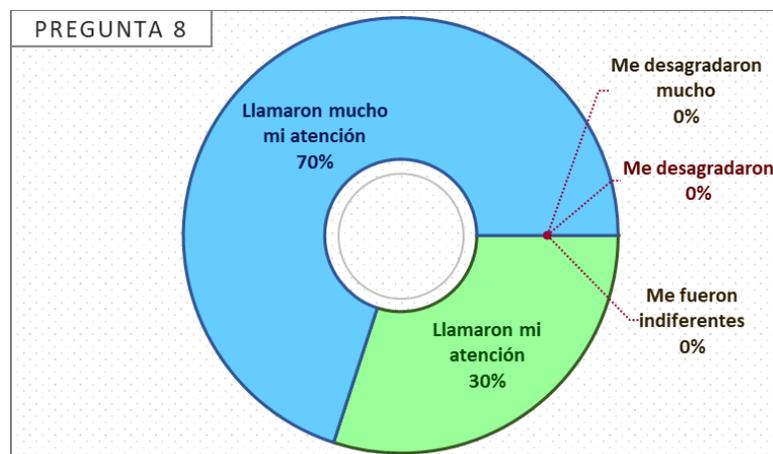


Figura 125. Respuestas de los docentes a la pregunta 8.

9. ¿Qué te pareció la distribución de los elementos en la habitación del laboratorio?

Los docentes opinan que la distribución de las secciones y los modelos 3D dentro de la habitación del laboratorio fue muy adecuada.

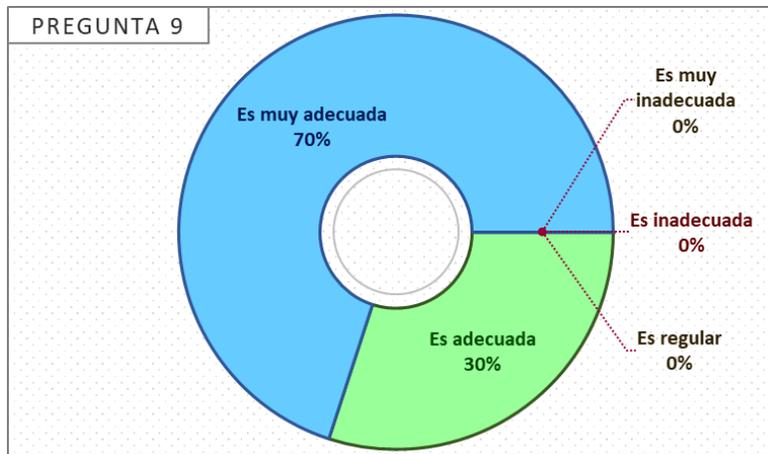


Figura 126. Respuestas de los docentes a la pregunta 9.

10. ¿Cómo te sentiste respecto a la apariencia en general del laboratorio?

La calidad visual de los modelos 3D y las texturas del laboratorio les agradaron mucho a los participantes.

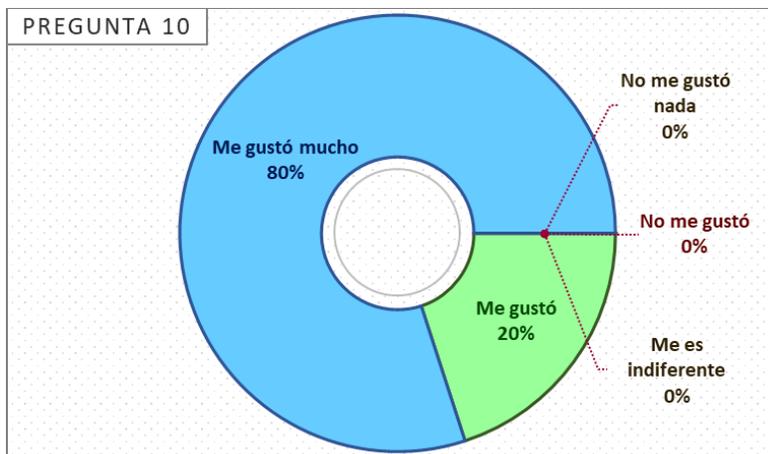


Figura 127. Respuestas de los docentes a la pregunta 10.

11. ¿Qué opinas del tamaño de los modelos 3D y sus proporciones entre sí?

Los usuarios están de acuerdo en que el tamaño de los modelos 3D y las proporciones son adecuados.

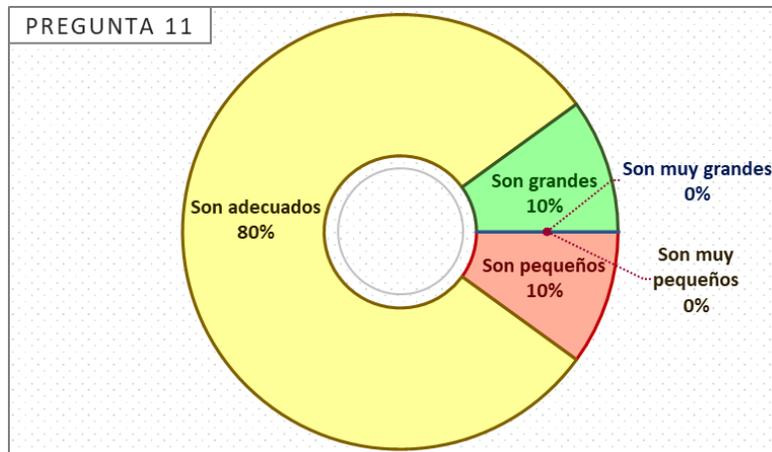


Figura 128. Respuestas de los docentes a la pregunta 11.

12. Como herramienta de aprendizaje para asignaturas relacionadas con la ingeniería de materiales, ¿cómo crees que te resultaría el laboratorio?

La opinión de los profesores respecto al laboratorio como herramienta educativa fue muy positiva. La mayoría lo considera de mucha utilidad para las asignaturas relacionadas con la ingeniería de materiales.

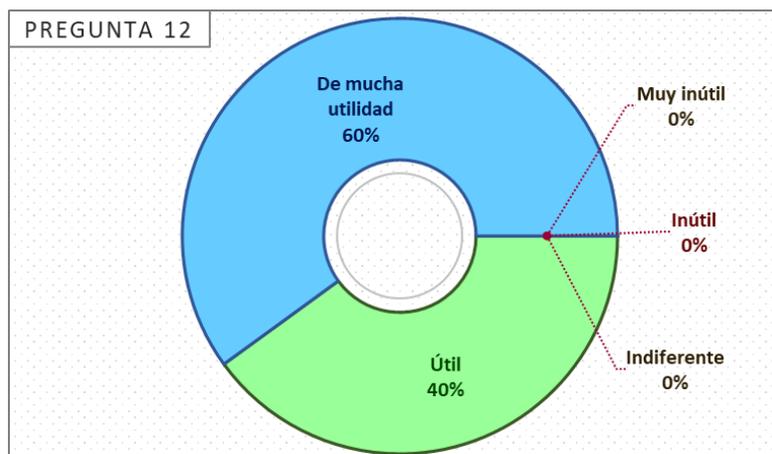


Figura 129. Respuestas de los docentes a la pregunta 12.

13. ¿Crees que es importante que los alumnos de ingeniería tengan disponibles laboratorios virtuales como este? De ser así, ¿por qué?

Todos los docentes coincidieron en que es importante que los laboratorios virtuales estén disponibles para los alumnos de ingeniería.

Su opinión es que estos laboratorios aportan ventajas como el ahorro de recursos y espacios en la facultad; además de que ofrecen un acercamiento muy parecido a las prácticas reales, lo cual permite utilizarlos para manejar aquellas que requieran de un entrenamiento previo.

Entre los motivos por los cuales este tipo de laboratorios son una alternativa a los reales, mencionaron que son fáciles de usar, que permitirían atender a grandes grupos de alumnos y que el equipo no se descompone ni se satura. También se sugirió que a través de medios virtuales se podría acceder a laboratorios que en la vida real son muy costosos de equipar.

Algunos profesores piensan que las herramientas digitales se han vuelto esenciales para la enseñanza y resultan más interesantes a las nuevas generaciones de alumnos. Además, se señaló que laboratorios como este son necesarios para preparar el modelo educativo a uno híbrido.

14. ¿Crees que haya ventajas en usar estos laboratorios en realidad virtual en lugar de usarlos de manera convencional en una computadora? De ser así, ¿cuáles son?

Los participantes indicaron que la sensación que los laboratorios en RV aportan es más similar a la experiencia real de las prácticas, por lo que son adecuados para usarlos como entrenamiento previo y complemento para los laboratorios reales.

15. Si tienes alguna sugerencia o comentario adicional sobre tu experiencia puedes escribirlos aquí.

La principal sugerencia de parte de los profesores fue que se agregasen probetas de distintos tipos y materiales, lo cual conllevaría, además, emplear normas distintas a la ASTM E8.

También se mencionó que el laboratorio podría ser más interactivo si se añadiese una actividad, en la cual la gráfica funcione como un reactivo, donde se deban identificar los valores clave obtenidos del ensayo.

Otras sugerencias fueron incluir una capacitación previa sobre el uso de los controles del visor y agregar más sonidos realistas a los elementos del laboratorio.

Discusión de resultados

La realidad virtual no es un concepto ajeno para los estudiantes y docentes de ingeniería, quienes ven en ella una oportunidad para mejorar el acceso y la calidad de la educación relacionada con su profesión.

Durante las exposiciones del proyecto, se observó que la RV resulta de mucho interés para las personas, en especial porque todavía se percibe como una tecnología novedosa; así que hubo buena disposición para probarla, incluso cuando algunos tuvieron dificultades para adaptarse al cambio en la percepción visual y a los controles del visor.

Los aspectos visual e interactivo del laboratorio contribuyeron en gran medida a que la experiencia fuese auténticamente inmersiva. Gracias al nivel de detalle de los modelos 3D, a sus texturas y a la comodidad con la que pueden interactuar con ellos; los usuarios percibieron que la práctica virtual es una representación fiel de las actividades que se llevan a cabo dentro del laboratorio de materiales real.

Sumado lo anterior, la capacidad que posee el laboratorio virtual para captar la atención de los usuarios depende fuertemente de sus elementos animados, en especial del diagrama carga-desplazamiento y de la probeta, que se deforma durante el ensayo. Esta cualidad es de suma importancia para que los alumnos asimilen mejor los conceptos que sustentan los ensayos de tracción.

Si bien, el aspecto de la navegación a través de las diferentes secciones del entorno resultó cómodo para la mayoría de los participantes, también se evidenció una importante mejora para este. Complementar las instrucciones de la práctica con imágenes y etiquetas en los modelos ayudaría a que el desarrollo de la práctica fuese más fluido e intuitivo.

El hecho de que el laboratorio sea una herramienta de RV, y no un simulador dentro de una computadora convencional, aporta una sensación de realismo que impulsa a los alumnos a que asuman una posición de aprendizaje activa, en la cual son ellos quienes exploran y experimentan con los conocimientos.

Además de la utilidad que el laboratorio virtual ofrece como entrenamiento previo y complemento para los laboratorios físicos de ingeniería de materiales, también es percibido como un buen respaldo a tener en cuenta cuando el acceso a estos últimos es limitado.

Trabajo a futuro

Como producto de las pruebas de validación, se identificaron diversas áreas de mejora para el laboratorio, las cuales quedarán establecidas como trabajo a futuro.

Las principales mejoras a tener en cuenta son:

- Una vez trazado, el diagrama carga-desplazamiento puede convertirse en una actividad interactiva, que consista en identificar la ubicación de los valores clave del ensayo dentro del gráfico.
- El laboratorio puede ofrecer un panorama más amplio sobre los ensayos de tracción al añadir probetas de distintos tipos y materiales, cuyas pruebas estén reguladas por normas distintas a la ASTM E8. La primer probeta a agregar podría ser la de acero 1018 recocado, cuyo modelo 3D ya fue construido.

- Las instrucciones para llevar a cabo la práctica pueden ser más claras si se incluyen imágenes de los modelos 3D que describen. También sería conveniente destacar de algún modo el elemento con el que el usuario debe interactuar, dependiendo de la instrucción que esté siguiendo en el momento.

Otras mejoras que agregarían funcionalidad al laboratorio o aumentarían el nivel de inmersión son:

- Implementar una opción para que, durante sesiones grupales en el laboratorio, los cambios que un usuario haga se sincronicen para el resto. De este modo, los docentes podrían hacer demostraciones ante grupos de alumnos y guiarlos a través de la práctica sin necesidad de estar presentes físicamente.
- Añadir sonidos realistas a la máquina y a las herramientas, de preferencia grabados durante ensayos de tracción reales, como fue el caso del clip de audio de la ruptura de la probeta.
- Escalar los modelos que se manipulan con las manos, para hacerlos un poco más pequeños, como indican los resultados de la encuesta que respondieron los alumnos, Figura 117.
- Mejorar la calidad de imagen que entrega la cámara de vista ampliada, procurando no comprometer el rendimiento del mundo virtual, que se puede ver afectado por aumentar el trabajo de renderización.
- Dar al usuario la capacidad de desplazarse más rápido a voluntad, en otras palabras, de correr.

Debido al diseño del laboratorio virtual y a las herramientas que ofrece el SDK de VRChat, surgió la ganancia adicional de crear una versión de este para computadoras de escritorio.

Dicha versión se publicó en la plataforma junto al mundo virtual original, dando la posibilidad de acceder al laboratorio a los usuarios que no cuenten con un visor VR.

Queda establecido también, como trabajo a futuro, realizar pruebas de validación con integrantes de la Facultad de Ingeniería, que accedan al mundo virtual desde ordenadores de escritorio. Lo anterior resultaría de utilidad para comprender mejor el contraste existente entre los simuladores de computadora convencionales y las herramientas de RV.

Conclusiones

A lo largo de este proyecto se diseñó y programó un espacio virtual basado en el laboratorio de ingeniería de materiales de la Facultad de Ingeniería. Dicho entorno se implementó en la plataforma de realidad virtual social VRChat, donde alumnos y docentes de la misma facultad pudieron acceder, a través de visores VR, y completar un ensayo de tracción.

Gracias a su calidad visual, a sus posibilidades interactivas y a su apartado de animaciones, el laboratorio virtual fue capaz de captar la atención de los usuarios y brindarles una experiencia muy cercana a la que obtendrían en su contraparte física.

Estos factores contribuyen a hacer del proyecto una herramienta de utilidad para que los alumnos se involucren en mayor medida con su aprendizaje y complementen sus conocimientos sobre los ensayos de tracción, a través del entrenamiento previo y la práctica posterior a sus visitas al laboratorio real.

El laboratorio virtual demostró que puede ser un importante medio de respaldo para adquirir conocimiento práctico cuando la disponibilidad del laboratorio real se encuentre limitada, ya sea por situaciones no permitan aprovechar el equipo completamente o por aquellas que impidan a los alumnos estar presentes físicamente, como ocurrió durante los semestres en que el modelo educativo se transformó en uno a distancia debido a la pandemia de COVID-19.

El surgimiento de herramientas como esta es evidencia de que la enseñanza de la ingeniería puede beneficiarse al apostar por tecnologías de vanguardia, como parte de una búsqueda para mejorar el acceso y la calidad del conocimiento con el que se está formando a las nuevas generaciones de profesionales.

Bibliografía

- [1] M. Sánchez Mendiola et al, «Retos educativos durante la pandemia de COVID-19: una encuesta a profesores de la UNAM,» *Revista Digital Universitaria (RDU)*, vol. 21, nº 3, mayo-junio 2020.
- [2] A. Al-Ataby, «Technology-Enhanced Learning and Teaching in COVID-19 Era: Challenges and Recommendations,» *International Journal for Innovation Education and Research*, vol. 8, nº 10, 2020.
- [3] R. Vasiliadou, «Virtual laboratories during coronavirus (COVID-19),» *Biochemistry and Molecular Biology Education*, 2020.
- [4] D. Levis, «¿Qué es la realidad virtual?,» 2006.
- [5] R. Carter, «How does Virtual Reality Work? The Ultimate Guide,» XRToday.com, 18 12 2023. [En línea]. Available: <https://www.xrtoday.com/virtual-reality/how-does-virtual-reality-work/>. [Último acceso: 10 02 2024].
- [6] M. Delgado, «Meta Quest 2 se convierte en el headset VR más exitoso con 14.8 millones de unidades vendidas,» *vandal.elespanol.com*, 01 07 2022. [En línea]. Available: <https://vandal.elespanol.com/noticia/1350754902/meta-quest-2-se-convierte-en-el-headset-vr-mas-exitoso-con-148-millones-de-unidades-vendidas/#iniciolista>. [Último acceso: 15 02 2022].
- [7] Meta, «Primeros pasos con Meta Quest 2,» *meta.com*, [En línea]. Available: <https://www.meta.com/es/quest/products/quest-2/tech-specs/#tech-specs>. [Último acceso: 15 02 2024].
- [8] J. Morla Suárez, «Apple Vision Pro: virtual reality attempts to take over the world again,» *elpais.com*, 12 02 2024. [En línea]. Available: <https://english.elpais.com/technology/2024-02-12/apple-vision-pro-virtual-reality-attempts-to-take-over-the-world-again.html>. [Último acceso: 15 02 2024].
- [9] Apple Inc, «A Guided Tour of Apple Vision Pro,» 2024. [En línea]. Available: <https://www.apple.com/apple-vision-pro/guided-tour/>. [Último acceso: 15 02 2024].
- [10] K. Curry, «URI students augment their lab learning with virtual apps,» University of Rhode Island, 31 08 2023. [En línea]. Available: <https://www.uri.edu/news/2023/08/uri-students-augment-their-lab-learning-with-virtual-apps/>. [Último acceso: 25 02 2024].

- [11] M. A. Mahmood, M. Tariq y S. Javed, «Strategies For Active Learning: An Alternative To Passive Learning,» *Academic Research International*, vol. 1, nº 3, p. 193, 2011.
- [12] M. Soliman, A. Pesyridis, D. Dalaymani-Zad, M. Gronfula y M. Kourmpetis, «The Application of Virtual Reality in Engineering Education,» *Appl. Sci*, vol. 11, nº 2879, 2021.
- [13] J. Á. Saavedra, «¿Qué es el modelado 3D y cómo funciona?,» ebac.mx, 07 08 2023. [En línea]. Available: <https://ebac.mx/blog/que-es-el-modelado-3d>. [Último acceso: 05 03 2024].
- [14] «Software Maya _ Consulta los precios y compra Maya 2024 oficial,» Autodesk.mx, [En línea]. Available: <https://www.autodesk.mx/products/maya/overview?term=1-YEAR&tab=subscription&plc=MAYA>. [Último acceso: 08 03 2024].
- [15] «About — blender.org,» Blender.org, [En línea]. Available: <https://www.blender.org/about/>. [Último acceso: 08 03 2024].
- [16] A. Carrasco, «¿Qué es un motor de videojuegos?,» blogs.upm.es, 04 07 2018. [En línea]. Available: <https://blogs.upm.es/observatoriogate/2018/07/04/que-es-un-motor-de-videojuegos/>. [Último acceso: 12 03 2024].
- [17] «Anexo:Videojuegos que usan Unreal Engine,» wikipedia.org, 2024. [En línea]. Available: https://es.wikipedia.org/wiki/Anexo:Videojuegos_que_usan_Unreal_Engine. [Último acceso: 15 03 2024].
- [18] «La herramienta de creación 3D en tiempo real más potente - Unreal Engine,» www.unrealengine.com, [En línea]. Available: <https://www.unrealengine.com/es-ES>. [Último acceso: 15 03 2024].
- [19] «Made With Unity _ Unity,» unity.com, [En línea]. Available: <https://unity.com/made-with-unity>. [Último acceso: 15 03 2024].
- [20] «Plataforma y Editor de desarrollo 3D en tiempo real _ Unity,» unity.com, [En línea]. Available: <https://unity.com/es/products/unity-engine>. [Último acceso: 15 03 2024].
- [21] «Learn game development w_ Unity _ Courses & tutorials in game design, VR, AR, & Real-time 3D _ Unity Learn,» unity.com, [En línea]. Available: <https://learn.unity.com/>. [Último acceso: 15 03 2024].

- [22] «Preguntas frecuentes - Unreal Engine,» www.unrealengine.com, [En línea]. Available: <https://www.unrealengine.com/es-ES/faq>. [Último acceso: 15 03 2024].
- [23] «Unity Plans & Pricing _ Unity,» unity.com, [En línea]. Available: <https://unity.com/pricing>. [Último acceso: 15 03 2024].
- [24] M. Fitz-Patrick, «Enter the World of Social VR,» www.interaction-design.org/, 10 2023. [En línea]. Available: <https://www.interaction-design.org/literature/article/enter-the-world-of-social-vr#:~:text=Some%20popular%20social%20VR%20apps,%2C%20AltspaceVR%2C%20and%20Rec%20Room..> [Último acceso: 15 03 2024].
- [25] «VRChat,» vrchat.com, [En línea]. Available: <https://hello.vrchat.com/>. [Último acceso: 15 03 2024].
- [26] «Rec Room,» recroom.com, [En línea]. Available: <https://recroom.com/>. [Último acceso: 18 03 2024].
- [27] «Cómo realizar un ensayo de tracción _ Instron _ Instron,» www.instron.com, [En línea]. Available: <https://www.instron.com/es-es/resources/test-types/tensile-test>. [Último acceso: 18 03 2024].
- [28] «Ensayo de tracción de materiales_Aplicación _ ZwickRoell,» www.zwickroell.com, [En línea]. Available: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-traccion/>. [Último acceso: 18 03 2024].
- [29] «Diagrama Esfuerzo-Deformacion Unitaria _ METALOGRAFÍA – UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA,» blog.utp.edu.co, 21 11 2010. [En línea]. Available: <https://blog.utp.edu.co/metalografia/diagrama-esfuerzo-deformacion-uniforme/>. [Último acceso: 20 03 2024].
- [30] D. R. Askeland, Ciencia e ingeniería de materiales, 7ma ed., México, D.F: Cengage Learning Editores, 2017.
- [31] «Qué es la resistencia a la tracción Rm_ _ ZwickRoell,» www.zwickroell.com, [En línea]. Available: <https://www.zwickroell.com/es/sectores/ensayo-de-materiales/ensayo-de-traccion/resistencia-a-la-traccion/>. [Último acceso: 20 03 2024].
- [32] A. Ortiz Prado, U. E. Márquez Amador, A. B. Pingarrón y J. L. Romero Hernández, «Manual de Prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales,» 15 08 2022. [En línea]. Available: <https://labsmaterialesfiunam.wixsite.com/labmat/nuestros->

- programas. [Último acceso: 22 03 2024].
- [33] ASTM International, «Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials,» 2013.
- [34] «Mitutoyo_Calibradores,» [En línea]. Available: https://www.precisiontools.com.mx/catalogos_online/mitutoyo/Mitutoyo_Calibradores.pdf. [Último acceso: 01 06 2024].
- [35] Pontificia Universidad Católica del Perú, «Laboratorio de Materiales - Departamento de Ingeniería - PUCP PUCP,» 2021. [En línea]. Available: <https://departamento-ingenieria.pucp.edu.pe/laboratorio/laboratorio-de-materiales/>. [Último acceso: 10 06 2024].
- [36] «3D TEXTURES,» [En línea]. Available: <https://3dtextures.me/>. [Último acceso: 25 06 2024].
- [37] «Free 3d textures HD,» [En línea]. Available: <https://free-3dtextureshd.com/>. [Último acceso: 25 06 2024].
- [38] «Free High Quality Texture Downloads _ Everytexture.com,» [En línea]. Available: <https://everytexture.com/>. [Último acceso: 25 06 2024].
- [39] Unity Technologies, «Unity - Manual_ Materials, Shaders & Textures,» 29 03 2017. [En línea]. Available: <https://docs.unity3d.com/550/Documentation/Manual/Shaders.html#:~:text=A%20material%20specifies%20one%20specific,to%20these%20these%20texture%20variables..> [Último acceso: 15 06 2024].

Anexos

Anexo 1. Encuesta para las pruebas de validación

1. ¿Habías tenido contacto con la realidad virtual anteriormente?

No la conocía	La conocía, pero nunca la había probado	La conocía y ya la había probado alguna vez	La conocía y la utilizo con frecuencia
---------------	---	---	--

2. Si has participado en alguna experiencia de realidad virtual antes ¿cómo fue?

--

3. ¿Habías tenido contacto con VRChat antes?

Nunca escuché de él	Lo conocía, pero no había ingresado antes	Lo conocía y ya había ingresado alguna vez	Lo conocía y lo utilizo con frecuencia
---------------------	---	--	--

4. ¿Cómo te pareció la información que te dieron las instrucciones?

Muy incompleta	Incompleta	Suficiente	Completa	Muy completa
----------------	------------	------------	----------	--------------

5. ¿Cómo te pareció la información que te proporciona el laboratorio relacionada con la práctica de ensayo de tracción (mediciones, datos, diagrama, vista ampliada)?

Muy incompleta	Incompleta	Suficiente	Completa	Muy completa
----------------	------------	------------	----------	--------------

6. Las interacciones que tuviste con el herramental, la probeta y el vernier te resultaron...

Muy incómodas	Incómodas	Regulares	Cómodas	Muy cómodas
---------------	-----------	-----------	---------	-------------

7. ¿Qué opinas de las animaciones de la deformación de la probeta y el dibujado del diagrama?

Me desagradaron mucho	Me desagradaron	Me fueron indiferentes	Llamaron mi atención	Llamaron mucho mi atención
-----------------------	-----------------	------------------------	----------------------	----------------------------

8. ¿Qué opinas de las animaciones del vernier y del herramental?

Me desagradaron mucho	Me desagradaron	Me fueron indiferentes	Llamaron mi atención	Llamaron mucho mi atención
-----------------------	-----------------	------------------------	----------------------	----------------------------

9. ¿Qué te pareció la distribución de los elementos en la habitación del laboratorio?

Es muy inadecuada	Es inadecuada	Es regular	Es adecuada	Es muy adecuada
-------------------	---------------	------------	-------------	-----------------

10. ¿Cómo te sentiste respecto a la apariencia en general del laboratorio?

No me gustó nada	No me gustó	Me es indiferente	Me gustó	Me gustó mucho
------------------	-------------	-------------------	----------	----------------

11. ¿Qué opinas del tamaño de los modelos 3D y sus proporciones entre sí?

Son muy pequeños	Son pequeños	Son adecuados	Son grandes	Son muy grandes
------------------	--------------	---------------	-------------	-----------------

12. Como herramienta de aprendizaje para asignaturas relacionadas con la ingeniería de materiales, ¿cómo crees que te resultaría el laboratorio?

Muy inútil	Inútil	Indiferente	Útil	De mucha utilidad
------------	--------	-------------	------	-------------------

13. ¿Crees que es importante que los alumnos de ingeniería tengan disponibles laboratorios virtuales como este? De ser así, ¿por qué?

--

14. ¿Crees que haya ventajas en usar estos laboratorios en realidad virtual en lugar de usarlos de manera convencional en una computadora? De ser así, ¿cuáles son?

--

15. Si tienes alguna sugerencia o comentario adicional sobre tu experiencia puedes escribirlos aquí.

--

¡Gracias por tu participación!