



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**Desarrollo de un laboratorio
virtual para efectuar un
ensayo metalográfico**

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecatrónico

P R E S E N T A N

Angel David Velasco Perez

David Portillo Jaramillo

DIRECTOR DE TESIS

M.A. Luis Yair Bautista Blanco



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2026



**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 LABORATORIO VIRTUAL PARA EFECTUAR UN ENSAYO METALOGRAFICO 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.

ANGEL DAVID VELASCO PEREZ
Número de cuenta: 318314394



**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 LABORATORIO VIRTUAL PARA EFECTUAR UN ENSAYO METALOGRAFICO 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.

DAVID PORTILLO JARAMILLO
Número de cuenta: 421106819

Agradecimientos

Angel David Velasco Perez

Agradezco a Dios por la vida, por acompañarme a lo largo de este camino y por permitirme alcanzar esta importante meta en mi formación profesional.

A mis padres, Mirma y Angel, por su apoyo incondicional, sus consejos y por siempre motivarme a seguir adelante y enfrentar nuevos retos. Gracias por confiar en mí y acompañarme en cada etapa de mi vida.

A mi hermana, Miriam, por su apoyo constante y por inspirarme a aspirar siempre a cosas más grandes.

A mi amigo David, con quien compartí este proyecto y con quien logré concluir un trabajo que recordaremos por mucho tiempo.

A mis compañeros universitarios, por compartir conmigo esta etapa llena de aprendizaje, esfuerzo y experiencias que hicieron de este camino algo inolvidable.

A mis viejos amigos, por su apoyo y por estar presentes a lo largo de los años, ayudándome de distintas maneras a llegar hasta este punto.

A nuestro asesor, Yair Bautista, por su paciencia, confianza y orientación durante el desarrollo de esta tesis, así como por motivarnos a mejorar constantemente.

A los profesores que participaron durante el desarrollo del proyecto, por sus observaciones y retroalimentación, las cuales contribuyeron significativamente a mejorar este trabajo.

Finalmente, agradezco a todas las personas que, directa o indirectamente, formaron parte de este logro académico y personal.

David Portillo Jaramillo

A mis padres, Eufracia y David, por su infinito apoyo y sus consejos a lo largo de todos estos años. Nada de lo que soy ni de lo que he logrado se entiende sin ellos. Durante los años en que estudiar significó vivir lejos de casa, siempre me arroparon con mucho amor cada vez que llegaba el fin de semana, y cuidaron incondicionalmente de lo que yo más quería mientras no estaba.

A mis hermanas, Yeni y Fanny, por su compañía y su respaldo a lo largo de este camino, y por inspirarme a ser una mejor persona. A Guillermo, que fue de los primeros en apoyar la tesis.

A mis abuelos, gente de trabajo y de cariño, que me enseñaron que la fortaleza es una manera cotidiana de vivir. A quienes ya no están y habrían estado orgullosos, y a quien aún me acompaña con su ejemplo.

A mi compañero de tesis, Ángel, con quien pasé buenos y malos momentos y con quien, con este trabajo, cerramos nuestro arco universitario. Y a nuestro asesor, Yair Bautista, por su paciencia y por una confianza que llegó antes que nuestros resultados.

A los profesores y compañeros de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, cuyos comentarios enriquecieron este trabajo.

Si algo aprendí en estos años, es que ninguno de nosotros es obra propia. Somos el resultado de cada persona (y de cada ser vivo) con quien compartimos un trozo de camino, y todos dejan en nosotros algo que ya no nos abandona. A todos ellos, los que aquí nombro y los que la memoria no alcanza a enumerar, les debo quien soy hoy.

Agradezco, por último, al Programa de Apoyo a Proyectos para Innovar y Mejorar la Educación (PAPIME), con clave PE103324, por la beca que hizo posible este proyecto.

Tabla De Contenido

1. Contexto	8
Equipo de trabajo LOR.....	9
2. Análisis de necesidades y mejoras del laboratorio	12
Funcionamiento físico	12
2.4.1. Objetivos	12
2.4.2. Previo.....	13
2.4.3. Desarrollo.....	17
2.4.4. Aprendizajes esperados.....	28
Situación específica del laboratorio.....	29
3. Metodología del desarrollo del laboratorio virtual	31
Recopilación de datos en el Laboratorio	31
Selección de entorno virtual.....	34
VRChat	35
Diseño y optimización de Modelos 3D	36
Creación del entorno virtual	85
Exportación e importación de Objetos.	85
Conceptos básicos de Unity.....	86
Paquetes utilizados.....	88
Layout del laboratorio	94
Algoritmos e Interacciones en el Mundo Virtual	95
Sistemas desarrollados.....	98
Prefabs.....	112
Integración de todos los sistemas	122
Depuración y optimización	126
4. Resultados.....	128
Protocolo y Testeo del Laboratorio Virtual	128
Encuestas post a la experiencia del simulador.	138
5. Análisis de resultados.....	149
6. Conclusión.....	152
7. Trabajo a futuro	153
8. Referencias	155
Anexos	159

Índice De Figuras

Figura 1. Logo de LOR. Fuente [5].	10
Figura 2. Laboratorios virtuales publicados por LOR a la fecha del 25 de marzo de 2026.	10
Figura 3. Probeta base. Antes de ser sometida al proceso de desbaste.	18
Figura 4. Realizando biselado a la probeta.	19
Figura 5. Papel de lija abrasivo de carburo de silicio grano 600	19
Figura 6. Lija con la forma adecuada para ser montada en la desbastadora rotatoria	19
Figura 7. Desbastadora sin lija (izquierda) y con lija (derecha).	19
Figura 8. Estudiantes realizando el desbaste grueso.	20
Figura 9. Probeta después de ser desbastada. Grano 120 (izquierda) - Grano 180 (derecha).	21
Figura 10. Probeta después de ser desbastada. Grano 240 (izquierda) - Grano 360 (derecha).	21
Figura 11. Probeta después de ser desbastada. Grano 400 (izquierda) - Grano 500 (derecha).	22
Figura 12. Probeta después de ser desbastada. Grano 600 (izquierda) - Grano 800 (derecha).	22
Figura 13. Pulidora para usarse con alúmina gris.	23
Figura 14. Pulidora para usarse con alúmina blanca.	23
Figura 15. Estudiante aplicando alúmina blanca sobre el paño de pulido.	23
Figura 16. Estudiantes puliendo la probeta con alúmina gris.	24
Figura 17. Estudiantes puliendo la probeta con alúmina blanca.	24
Figura 18. Probeta después de ser pulida con alúmina blanca.	25
Figura 19. Aplicando alcohol sobre la superficie de la probeta.	25
Figura 20. Secando el alcohol de la probeta con algodón.	25
Figura 21. Secando la probeta con la pistola de aire.	26
Figura 22. Aplicando unas gotas de nital sobre la superficie con acabado espejo de la probeta.	26
Figura 23. Interrumpiendo el ataque químico con alcohol.	26
Figura 24. Secando el alcohol restante con la pistola de aire.	27
Figura 25. Probeta después de realizar el ataque químico.	27
Figura 26. Probeta lista para ser observada en el microscopio.	27
Figura 27. Probeta de Acero 1018 vista con un aumento de 500x.	28
Figura 28. (a) Probeta en su estado original (b) Probeta después del desbaste grueso (c) Probeta después de ser pulida con alúmina blanca.	32
Figura 29. Estructura metalográfica del acero 1018 vista con un objetivo de 100x.	32
Figura 30. Estructura metalográfica del acero 1018 vista con un objetivo de 200x.	32
Figura 31. Estructura metalográfica del acero 1018 vista con un objetivo de 500x.	33
Figura 32. Estructura metalográfica del acero 1018 vista con un objetivo de 1000x.	33
Figura 33. Malla con forma cilíndrica - Probeta inicial.	39
Figura 34. (a) Cara inferior. (b) Cuerpo. (c) Cara superior.	39
Figura 35. Imagen demostrativa de como activar la vista de la orientación de caras en Blender.	40
Figura 36. Probeta con la opción de visualizar la orientación de caras activada.	41
Figura 37. Probeta con la opción de visualizar la orientación de caras activada y con algunas caras eliminadas.	41
Figura 38. Probeta con la cara superior invertida y el menú de normales desplegado.	42
Figura 39. Probeta con la cara superior corregida, recalculando hacia adentro.	42

Figura 40. Shader creado para las caras de la probeta.	43
Figura 41. Cara con el shader aplicado.	44
Figura 42. Cuerpo con el shader aplicado	44
Figura 43. Probeta con los shaders.	45
Figura 44. Representación del mapeo UV de un cubo. Fuente [19].	45
Figura 45. Mapa UV ineficiente de una cara de la probeta.	46
Figura 46. Mapa UV eficiente de una cara de la probeta.	46
Figura 47. Diffuse map - Caras de la probeta	47
Figura 48. Normal map - Caras de la probeta.	47
Figura 49. Metallic map - Caras de la probeta	48
Figura 50. Roughness map - Caras de la probeta	48
Figura 51. Isla, realizada mediante esculpido con topología dinámica.	49
Figura 52. Resultado de la proyección UV Inteligente, a la izquierda, el mapa de UV, a la derecha, la malla del modelo.	50
Figura 53. Isla con la textura aplicada	51
Figura 54. A la izquierda, los 2 modelos superpuestos, a la derecha, los modificadores agregados al modelo Low Poly y sus parámetros.	52
Figura 55. Conexiones en la pestaña de shading del objeto Low Poly	53
Figura 56. Comparativa de modelo original y de modelo final.	54
Figura 57. Fotografía de una desbastadora disponible en el laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Facultad de Ingeniería - UNAM	55
Figura 58. Primitivas estándar de Blender. Fuente [23]	55
Figura 59. Modelo 3D inicial de la desbastadora con materiales aplicados.	57
Figura 60. Malla de la base del modelo de la desbastadora.	59
Figura 61. Malla de la base del modelo de la desbastadora. Después de la retopología.	59
Figura 62. Malla completa del modelo de la desbastadora.	60
Figura 63. Malla completa del modelo de la desbastadora después de la retopología.	60
Figura 64. Modelo final de la desbastadora visto en Blender.	61
Figura 65. Elementos dinámicos de la desbastadora.	62
Figura 66. Fotografía del microscopio usado como referencia durante el modelado 3D.	62
Figura 67. Modelo 3D del microscopio highpoly sin optimizar.	63
Figura 68. Modelo 3D del microscopio high poly sin optimizar y con la vista wireframe activada.	64
Figura 69. Modelo 3D del microscopio high poly optimizado.	65
Figura 70. Modelo 3D del microscopio high poly optimizado y con la vista wireframe activada.	65
Figura 71. Objeto lente del modelo 3D del microscopio.	66
Figura 72. Objeto base completa del modelo 3D del microscopio.	67
Figura 73. Objeto revólver del modelo 3D del microscopio.	67
Figura 74. LOD 0 Revólver, 1,592 triángulos.	68
Figura 75. LOD 1 Revólver, 1,034 triángulos.	68
Figura 76. LOD 2 Revólver, 476 triángulos.	69
Figura 77. LOD 0 Revólver con textura aplicada.	69
Figura 78. LOD 1 Revólver con textura aplicada.	70
Figura 79. LOD 2 Revólver con textura aplicada.	70
Figura 80. Acceso al panel para exportar imágenes de Blender.	72
Figura 81. Opciones para exportación de imágenes de Blender.	73

Figura 82. Diffuse texture del revólver del microscopio a un nivel de detalle 0. Sin compresión al exportar.....	73
Figura 83. Diffuse texture del revólver del microscopio a un nivel de detalle 0. Compresión del 15%.....	73
Figura 84. Pisetas de laboratorio de alúmina gris y blanca	74
Figura 85. Modelo 3D de la piseta.....	75
Figura 86. Cara posterior del modelo de lija circular	75
Figura 87. Modelo 3D de la pistola de calor.....	76
Figura 88. Modelo 3D de las tijeras	77
Figura 89. Modelo 3D del ventilador.....	77
Figura 90. Modelo 3D de una torunda de algodón.....	78
Figura 91. Modelo 3D de gabinete de 4 puertas	78
Figura 92. Modelo 3D del edificio principal.	79
Figura 93. Modelo 3D de la puerta de acceso al laboratorio virtual.....	79
Figura 94. Modelo 3D de lampara de techo.....	80
Figura 95. Modelo 3D de bote de basura	80
Figura 96. Modelo 3D de tarja	81
Figura 97. Modelo 3D del árbol lowpoly implementado en el exterior del laboratorio	81
Figura 98. Modelos 3D simulando madera	82
Figura 99. Modelo 3D lowpoly de una caja de fusibles.	82
Figura 100. Modelo 3D lowpoly de un tomacorriente.....	83
Figura 101. Modelo 3D lowpoly de un tomacorriente trifásico.....	83
Figura 102. Modelo 3D lowpoly de un tubo para simular la red de cables.	84
Figura 103. Configuración básica de exportación para modelos de Blender.....	85
Figura 104. Configuración de orientación de modelos de Blender.....	86
Figura 105. Panel de configuración del mundo del SDK de VRChat.....	88
Figura 106. Diagrama etiquetado para referencia de Inputs de un mouse y un meta quest controller izquierdo	89
Figura 107. Espacio de trabajo ejemplo del editor de ShaderGraph con el objetivo z3y.....	91
Figura 108. Distintos tipos de botones físicos.....	92
Figura 109. Panel de paquete Easy Quest Switch.....	93
Figura 110. Layout básico de la zona del desarrollo de la práctica.	94
Figura 111. El usuario sostiene la lija (GripPress) y la aproxima al rotor; el sistema muestra la referencia visual de posicionamiento antes de ejecutar el snap.	99
Figura 112. Tras liberar el botón de Grip (GripRelease), el sistema ejecuta el snap, alineando automáticamente la lija con el rotor.	99
Figura 113. Diagrama de clases del sistema de placer y snap, mostrando la relación entre la entrada del usuario, la gestión de eventos y el ajuste automático del objeto.	101
Figura 114. Tarja de laboratorio activa, soltando partículas de agua.	102
Figura 115. A la izquierda, el prefab "BotellaLab" lleno, a la derecha, el mismo prefab con menos contenido y en uso.....	103
Figura 116. Flujo de trabajo entre los scripts del sistema de líquidos	104
Figura 117. Objetos que interactúan en el sistema de calor.	105
Figura 118. Jerarquía y componentes del prefab PistolaDeCalor	105
Figura 119. Pistola de calor y su malla de colisión para la zona calorífica.....	106
Figura 120. Grab de la Pistola de calor.	106

Figura 121. Configuración del componente VRC Pickup del a Pistola de calor.	107
Figura 122. Flujo de datos entre el script PistolaDeCalor.cs y Heatable.cs	108
Figura 123. Cambio en las visuales y colisiones del prefab "Tijeras" según su variable de animación "used"	109
Figura 124. Prefab 'LijaCuadrada' antes de ser cortada.	110
Figura 125. Prefab 'LijaCircular' generada después de desactivar la 'LijaCuadrada' con las tijeras.	110
Figura 126. Flujo de datos entre los scripts del sistema de lijado	111
Figura 127. Jerarquía y componentes del PrefabProbeta_V2.....	112
Figura 128. Desbaste en shader con lija 80.....	114
Figura 129. Desbaste en shader con lija 600.....	114
Figura 130. Desbaste en shader con lija 800.....	114
Figura 131. Probeta con el objeto VistaProbe activo	114
Figura 132. Probeta, VistaProbe y Canva.....	115
Figura 133. Arquitectura de la Probeta	117
Figura 134. Pipeline de descarga de texturas desde GitHub hasta el laboratorio.	119
Figura 135. Configuración del componente LOD Group para el microscopio.....	120
Figura 136. Desvanecido y cambio de color aplicado en el algodón.....	120
Figura 137. Objeto Handle invisible, con textura rosa para ejemplificación.....	121
Figura 138. Usuario sosteniendo el objeto Handle, puerta semi cerrada.	121
Figura 139. Puerta semi abierta.	121
Figura 140. Puerta abierta, aun siguiendo el objeto Handle a distancia.....	121
Figura 141. A la izquierda: Iluminación en tiempo real. A la derecha: Light Baking (Iluminación precalculada), Lightmaps, Lightprobes y Occlusion Culling.	127
Figura 142. Entrada al laboratorio.	128
Figura 143. Uso de tijeras dentro del laboratorio, a la izquierda antes de ser cortada, a la derecha después de ser cortada.	128
Figura 144. Preparación de la desbastadora.	129
Figura 145. Maquina apagada.....	129
Figura 146. Maquina encendida, switch activado	129
Figura 147. Encendido de la desbastadora	130
Figura 148. Apagado de la desbastadora	130
Figura 149. Acercado de la probeta sin utilizar refrigerante	130
Figura 150. 2 personas utilizando el laboratorio en conjunto, uno sosteniendo la probeta, otro aplicando refrigerante.....	130
Figura 151. Rellenado de la botella, a la izquierda, activando el agua, a la derecha, acercando la piseta.....	131
Figura 152. A la izquierda, alúmina gris siendo aplicada a la pulidora, a la derecha, alumina blanca siendo aplicada a la pulidora.....	131
Figura 153. Reflexión de la cara de la probeta al finalizar el pulido.	132
Figura 154. Proceso de enjuague de la probeta con agua corriente usando una piseta sobre el lavabo.	132
Figura 155. Probeta siendo secada con la pistola de calor.....	133
Figura 156. Aplicando alcohol sobre la superficie tratada de la probeta	133
Figura 157. Secando alcohol de la probeta con una torunda de algodón.	134
Figura 158. Secando el alcohol restante con la pistola de calor.	134

Figura 159. Añadiendo nital a la cara de la probeta.....	135
Figura 160. Interrumpiendo el ataque químico con alcohol.....	135
Figura 161. Secando la probeta con la pistola de calor. El usuario sabrá que la probeta está lista para ser observada cuando adquiere un contorno verde.....	136
Figura 162. Colocando la probeta terminada sobre el microscopio.....	136
Figura 163. Usuario manipulando el microscopio.	137
Figura 164. Estructura metalográfica de la probeta de acero 1018 observada con diferentes objetivos.....	137
Figura 165. Interruptor que activa la pantalla de visualización del microscopio.	138
Figura 166. Alumnos probando el laboratorio.	139
Figura 167. Profesores y reclutadores probando el laboratorio.....	139
Figura 168. Ejemplificación de posibles implementaciones futuras, entre ellas, probetas de distintos materiales, instrucciones, información de la cara y datos de la imagen de la cara de la probeta.....	154

Índice De Tablas

Tabla 1. Comparativa entre los motores gráficos Unity, UE y Godot	34
Tabla 2. Comparativa entre softwares de modelado Maya, Inventor y Blender	37
Tabla 3. Tabla de eventos proporcionados por VRChat y su activador.....	89
Tabla 4. Game components generales.....	95
Tabla 5. Scripts implementados.	96

Índice De Gráficas

Gráfica 1. Distribución de respuestas por escala Likert — Profesores (n=11).	141
Gráfica 2. Distribución de respuestas por escala Likert - Alumnos (n=5).	141
Gráfica 3. Contacto previo con Realidad Virtual - Profesores (n=11).	142
Gráfica 4. Contacto previo con Realidad Virtual - Alumnos (n=5).	142
Gráfica 5. Contacto previo con VRChat - Profesores (n=11).	143
Gráfica 6. Contacto previo con VRChat - Alumnos (n=5).	143
Gráfica 7. Tamaño de modelos 3D - Profesores (N=11).	144
Gráfica 8. Tamaño de modelos 3D - Alumnos (N=5).	144

1. Contexto

El aprendizaje a través de plataformas y recursos disponibles en internet sufrió una creciente demanda en la era postpandemia. No obstante, la realidad es que, en términos de efectividad, estas herramientas están limitadas principalmente por deficiencias en los entornos de aprendizaje, cuestiones como: interacción social insuficiente, falta de interés y experiencias superficiales, degradan la calidad del conocimiento que se podría adquirir.

Las limitaciones antes mencionadas, han generado dudas e insatisfacción entre los estudiantes. En contraste, los entornos virtuales de aprendizaje (VLE) ofrecen una experiencia inmersiva que enfatiza la presencia social y la colaboración, introduciendo un nivel de interactividad sin precedentes. Esto permite a los estudiantes participar en un aprendizaje profundo y exploratorio en un entorno más auténtico y vívido.

Según la investigación de Xin Yin, Jiakai Zhang, Gege Li y Heng Luo de la Facultad de Inteligencia Artificial en Educación de la Universidad Normal Central de China, la aceptación de la tecnología está directamente relacionada con la satisfacción en el aprendizaje. Este hallazgo subraya la importancia de incorporar tecnología fácil de usar en los entornos de aprendizaje para mejorar la satisfacción de los estudiantes. [1]

Estas recientes investigaciones en tecnología y educación presentan un nuevo paradigma. Muchas instituciones educativas a nivel global no cuentan con el software adecuado para impartir clases y prácticas que normalmente se realizan en un laboratorio bien equipado. Además, existen limitaciones presupuestarias, falta de espacio físico y desafíos relacionados con el acceso a la tecnología y el conocimiento necesario por parte de los estudiantes. Según expertos de la Universidad Estatal del Sur de Manabí en Jipijapa, Ecuador, muchos ciudadanos, especialmente en países de América Latina, no están en una posición favorable respecto a las tecnologías y desconocen los posibles efectos y riesgos asociados con estos avances acelerados. [2]

En el contexto de las clases en línea, especialmente en carreras de ingeniería y otras disciplinas que requieren prácticas de laboratorio, el uso de simuladores apoya la formación de ingenieros, aprovechando las oportunidades de la tecnología para experimentar con los elementos de un laboratorio físico sin contar con los peligros ni limitaciones que estos tendrían.

Dentro de los diversos campos de estudio en dichas disciplinas, especialmente para ingenieros mecánicos, químicos, industriales, aeroespaciales, civiles, de minas y mecatrónicos, es de suma importancia analizar el comportamiento de los materiales para entender los diversos fenómenos que ocurren en la naturaleza, y para esto, la enseñanza de la metalografía es vital. Comprender los fenómenos a escala microscópica es crucial

en la ingeniería, ya que proporciona la base para mejorar la selección de materiales, optimizar procesos de fabricación, innovar en el desarrollo de nuevos materiales, resolver problemas y fallos, y mejorar la eficiencia y sostenibilidad de los productos y procesos. Esta comprensión profunda permite a los ingenieros diseñar soluciones más efectivas y duraderas para una amplia variedad de aplicaciones.

Sin embargo, en el campo de estudio de los materiales, la mayoría del software disponible está diseñado para apoyar actividades presenciales y se orienta principalmente hacia otras ramas, como la industria y el análisis de materiales en tiempo real. Ejemplos de estos programas son "Flow-3D Cast", que simula el comportamiento de fundición, y "Thermo-Calc", utilizado para cálculos termodinámicos y cinéticos en la metalurgia. Esto demuestra que el desarrollo de software especializado en la enseñanza de la metalografía es un área que aún no ha sido suficientemente abordada.[3]

Dado lo mencionado anteriormente, el desarrollo de un laboratorio virtual para efectuar ensayos de metalografía no solo llenará un vacío importante en la educación de la ingeniería, sino que también ofrecerá una herramienta innovadora para mejorar la comprensión y aplicación de la metalografía en la práctica profesional.

Se plantea la hipótesis de que el desarrollo de un laboratorio virtual compatible en tecnologías inmersivas, que incluya las interacciones relevantes para el desarrollo correcto de la práctica, mejorará significativamente la formación de los estudiantes en metalografía.

Durante el desarrollo de este entorno virtual de aprendizaje, se contó con el apoyo de un equipo de estudiantes de la facultad de ingeniería conocido como LOR (Laboratorio de Otras Realidades), quienes contribuyeron a la orientación y resolución de dudas a lo largo del proyecto.

Equipo de trabajo LOR

Este equipo de trabajo se define a sí mismo de la siguiente manera:

“Laboratorio de Otras Realidades es un equipo de trabajo comprometido en la creación de mundos virtuales que permitan a los estudiantes a mejorar sus habilidades en los laboratorios de docencia, así mismo permitiendo a los usuarios experimentar en tecnologías inmersivas.” [5]



Figura 1. Logo de LOR. Fuente [5].

Visión:

“En LOR, estamos comprometidos con un aprendizaje continuo para mantenernos a la vanguardia de las actualizaciones en tecnología inmersiva, buscando constantemente elevar los estándares y ofrecer experiencias envolventes que inspiren y transformen la educación a través de la innovación tecnológica.” [6]

Proyectos desarrollados:

Los laboratorios que son creados dentro de LOR se desarrollan para ser ejecutados a través de la plataforma VRChat, y pueden ser visitados por cualquier persona a través del perfil de [LOR](#) (se requiere una cuenta de VRChat para acceder a los laboratorios). Los mundos (laboratorios virtuales) publicados a la fecha ascienden a 15 (ver Figura 2).

Actualmente los mundos de LOR contemplan prácticas de laboratorio para las asignaturas de química, ingeniería de materiales y automatización.



Figura 2. Laboratorios virtuales publicados por LOR a la fecha del 25 de marzo de 2026.

Parte del compromiso de LOR es que los laboratorios virtuales desarrollados sean de alta fidelidad al procedimiento desarrollado en una práctica real, por ello LOR se asegura de que los desarrolladores trabajen en conjunto con profesores expertos que imparten las prácticas.

Se formo parte del equipo de LOR, desarrollando el laboratorio virtual de metalografía, mismo que forma parte de su portafolio de proyectos, por ende, como primera tarea para el desarrollo, se asistió a la realización de un ensayo metalográfico de manera presencial. En la siguiente sección se detallarán las implicaciones principales de esta práctica y el análisis respecto a la situación en la que se encuentra el laboratorio.

2. Análisis de necesidades y mejoras del laboratorio

Una vez planteada la importancia del uso de los entornos virtuales de aprendizaje y la posibilidad del desarrollo de una versión virtualizada del laboratorio de metalografía, es necesario comenzar a identificar las características específicas que el laboratorio físico contiene y las carencias por las que cursa, todo esto con el objetivo de analizar las necesidades y las posibles mejoras que se le puedan integrar al laboratorio virtual, comenzando primeramente por conocer a detalle el funcionamiento físico del laboratorio.

Funcionamiento físico

Para realizar la implementación del laboratorio de manera virtual, se tomó como base la práctica de metalografía desarrollada en la Facultad de ingeniería de la UNAM, las instrucciones generales e información de la práctica se obtuvo del manual de prácticas disponible en el sitio web del laboratorio que se encuentra en la siguiente dirección: [Manual_LabIngMateriales.pdf](#), y fotografías e imágenes que fueron obtenidas gracias al profesor Adrián Mancilla Velasco y a la Ing. Alejandra Garza Vázquez, los cuales nos permitieron estar presentes durante la realización de la practica en uno de sus grupos, esto también hizo posible comprender en primer plano de qué manera interactúan los estudiantes con los elementos del laboratorio.

Cabe resaltar que la extensión de esta práctica es distinta a las demás, puesto que esta práctica tiene una duración aproximada de 6 horas, las cuales se reparten en 3 sesiones distintas.

2.4.1. Objetivos

Para asegurar que la práctica tenga el impacto deseado en el alumnado, la institución (Facultad de ingeniería) propone los siguientes objetivos para cumplir con las expectativas de enseñanza de la practica

Objetivos generales:

El alumno conocerá y aplicará los métodos para la preparación de las muestras metalográficas, a partir de lo cual podrá realizar la observación microestructural mediante microscopía óptica e identificará los microconstituyentes, asociados al tipo de material en cuestión.

Objetivos específicos:

Sesión 1:

- El alumno preparará una muestra metálica, seleccionando la superficie a tratar para análisis microestructural y aplicará las técnicas de desbaste apropiadas.

Sesión 2:

- El alumno continuará la preparación metalográfica de la muestra, en la superficie seleccionada, aplicando técnicas de desbaste fino y/o pulido.

Sesión 3:

- El alumno finalizará la preparación metalográfica de la muestra asignada y hará el ataque químico correspondiente a la superficie tratada para la caracterización microestructural.
- El alumno observará e identificará los defectos (inclusiones) presentes en aleaciones ferrosas y entenderá el concepto de tamaño de grano y las diferentes metodologías para su determinación.

2.4.2. Previo

Como se comentó anteriormente, esta práctica se desarrolla en 3 sesiones de laboratorio, equivalente a 6 horas de clase distribuidas en 3 semanas. Lo que representa casi una quinta parte del semestre, en este sentido, surge la necesidad de implementar una herramienta que otorgue un nivel de experiencia equiparable a la práctica real en un menor tiempo.

La práctica de metalografía consiste en realizar un proceso de preparación que incluye las siguientes etapas: selección de la muestra, corte y seccionado, montaje, desbaste, pulido, limpieza y ataque químico para observar la microestructura de una muestra metálica.

A continuación, se describen brevemente el procedimiento para la probeta antes mencionada, a fin de que el lector este familiarizado con el proceso.

1, Selección de la muestra:

Durante esta etapa se busca elegir de manera adecuada la muestra del componente que se desea analizar. Factores como la localización y orientación son determinantes, y se debe elegir minuciosamente para obtener la mayor cantidad de información posible invirtiendo la menor cantidad de recursos económicos y humanos.

La etapa de selección no es algo que se suela realizar en la práctica real, por lo que no estará contemplada para el desarrollo del laboratorio virtual, lo mismo sucede con la etapa de corte y seccionado y la de montaje, sin embargo, las mencionaremos rápidamente ya que vienen descritas en el manual de prácticas [7].

2. Corte y seccionado:

En caso de que la muestra supere dimensionalmente las medidas establecidas en la norma ASTM E3-95 (la cual establece no más de 25mm de diámetro [15]), se deberá

ajustar el tamaño para facilitar su manejo. Existen diversas técnicas de corte para los diversos tipos de materiales, pero lo primordial es elegir el método que provoque la menor deformación estructural y no sobrecaliente la muestra, esto para evitar alteraciones en la caracterización metalográfica.

3. Montaje:

En caso de que la muestra sea más pequeña a las medidas declaradas en la norma ASTM E3-95 (la cual establece no menos de 12mm de diámetro [15]), o tenga una geometría demasiado irregular, se encapsula en un compuesto de montaje, el cual puede ser resina epóxica o baquelita conductora. Este procedimiento protege los bordes, rellena huecos en materiales porosos y en general facilita el manejo de la muestra.

Cuando se efectúa esta práctica en el laboratorio de Ingeniería de materiales, es común que la muestra ya encuentre montada o en su defecto que la muestra tenga las características apropiadas para efectuar el ensayo metalográfico.

Debido a lo anterior, estas 3 etapas no se podrán efectuar en el laboratorio virtual, las siguientes etapas serán implementadas en su totalidad.

4. Desbaste:

Durante la etapa de desbaste se busca eliminar el daño superficial presente en la probeta, producto de algún proceso de corte. El fin de esta etapa es garantizar una superficie plana y libre de deformaciones que puedan afectar la observación microscópica.

El proceso de desbaste se divide en dos fases:

1. **Desbaste grueso:** Se emplean abrasivos de grano grueso para remover material de manera rápida y eliminar irregularidades iniciales.
2. **Desbaste fino:** Se utilizan abrasivos de menor tamaño de grano para reducir la rugosidad y preparar la muestra para la etapa de pulido.

El abrasivo más utilizado y recomendado para este procedimiento es el de **carburo de silicio (SiC)**, su numeración varía según el tamaño de grano, desde grano 60 (muy abrasivo) hasta grano 1200 (muy fino). En complemento con este abrasivo se utiliza un lubricante, generalmente agua corriente, esto para evitar la acumulación de residuos y reducir el calentamiento de la muestra.

El procedimiento de manera resumida para acero 1018 es el siguiente:

1. Lijar una cara de la probeta en una dirección constante hasta que toda la superficie adquiera una textura uniforme, empezando por la lija más abrasiva, generalmente la de grano 120.
2. Se realiza el cambio de lija y se sigue el paso anterior hasta llegar a la lija más fina, usualmente es suficiente con llegar al grano 800.

Las consideraciones más importantes para que el proceso se realice de forma satisfactoria son las siguientes:

1. En cada cambio de lija, la orientación del desbaste se modifica en 90° respecto al paso anterior.
2. Se debe aplicar lubricante (agua corriente) durante todo el lijado para evitar la acumulación de partículas abrasivas, ya que podrían incrustarse en la muestra y alterar los resultados posteriores.
3. Aplicar una presión controlada entre la probeta y la lija, para no generar deformaciones no deseadas.
4. Enjuagar con agua corriente la probeta entre cada lijado para evitar la acumulación de partículas abrasivas.

Una vez se ha finalizado la etapa de desbaste, sigue la etapa de pulido.

5. Pulido:

En esta etapa se eliminan las deformaciones superficiales generadas durante el desbaste, asegurando una superficie homogénea que permite una correcta observación microscópica. Además, ayuda a preservar las inclusiones y fases secundarias, evitando modificaciones en la microestructura.

Se realiza un método de pulido conocido como “pulido mecánico”, el cual consiste en aplicar presión controlada entre la superficie de la probeta trabajada y un disco rotatorio cubierto con un paño de pulido, el cual está impregnado con un abrasivo en suspensión. Los abrasivos más comunes son:

- **Alúmina de pulido (Al_2O_3):** Ideal para metales generales.
- **Aceite con polvo de diamante:** Se recomienda para materiales más duros, ya que proporciona un acabado de mayor precisión.

En el caso específico de la probeta de acero 1018 se realizan dos pulidos, uno con un polvo abrasivo con un tamaño de diámetro de grano de $3\mu m$ (alúmina gris) y enseguida con un polvo de alúmina grado metalográfico (alúmina blanca) con un tamaño de diámetro de grano $1\mu m$, hasta obtener una superficie lisa y reflejante como la de un espejo.

Cuando ya se ha alcanzado el acabado espejo se realiza una limpieza antes de realizar el ataque químico.

6. Limpieza:

Para realizar una buena limpieza de la superficie trabajada de la probeta se realizan los siguientes pasos.

1. Una vez que se ha terminado de pulir con alúmina blanca, se enjuaga la superficie pulida bajo el chorro de agua fría para desprender las partículas de alúmina o fibras de paño que se hayan quedado adheridas a ésta (con mucho cuidado y tratando de no tocar la superficie para no rayarla) y se seca con una pistola de aire.
2. Se limpia, otra vez, la superficie con un algodón mojado con alcohol y se seca con la pistola de aire. A partir de este momento la superficie no debe volver a estar en contacto con agua (porque el agua oxida el acero).

Después de limpiar correctamente la superficie, finalmente podemos realizar el ataque químico.

7. Ataque químico:

El ataque químico es una técnica utilizada para revelar las características microestructurales de una muestra, como las fases presentes y el tamaño de grano, mediante una oxidación controlada de la superficie.

Antes de realizar el ataque, se recomienda examinar la muestra pulida sin modificarla, ya que esto permite identificar defectos, inclusiones y rayas que podrían generar interpretaciones erróneas tras la reacción química.

La velocidad y la eficacia del ataque dependen de factores como la composición del material, la concentración de los reactivos, el estado de tratamiento térmico y los esfuerzos internos. El tiempo de exposición del ataque suele variar entre 10 segundos y 2 minutos.

Existen diversas formulaciones de reactivos para diferentes materiales, y su correcta selección es clave para obtener resultados precisos. En el caso del acero 1018, material del que estará constituida la probeta que será implementada en el laboratorio virtual de metalografía, se realiza un ataque químico con Nital al 2%, el procedimiento se describe a continuación.

1. Se depositan unas gotas de Nital al 2% sobre toda la superficie limpiada (superficie con acabado espejo) y se deja actuar por unos cuantos segundos (lo que provocará que la superficie se “oscurezca ligeramente” de manera uniforme) y cuidando que la superficie no se sobre-ataque (se vuelva muy opaco con tonalidad gris oscura o tirándole a negra).
2. Una vez que se considera que han pasado los segundos suficientes para que la superficie se haya atacado de manera adecuada y uniformemente, se enjuaga la superficie con alcohol para limpiarla y así detener (y retirar) el ataque químico, y se seca con la pistola de aire.
3. Para concluir, se observa (la superficie atacada de la muestra y tratando de no tocarla para no volverla a rayar o ensuciar) a través del ocular del microscopio.
4. Como se recomienda que el ataque se realice lentamente y por etapas para evitar el sobre-ataque, los pasos, 1, 2 y 3 se pueden repetir cuantas veces sea necesario hasta que la microestructura de la zona de interés se vea claramente a través del microscopio.

Con lo anterior queda concluida la realización de la práctica de metalografía, lo que sigue es un análisis por parte de los alumnos de lo observado en el microscopio.

Una vez conocido el proceso completo de la caracterización metalográfica, podemos listar a continuación los materiales y equipos empleados en esta práctica, elementos que son indispensables y que sentarán las bases del desarrollo del laboratorio virtual de metalografía.

Material y equipo:

1. Probeta de Acero (AISI 1018 para nuestra aplicación) con las siguientes dimensiones: 25.4 mm de diámetro por 18mm de alto.
2. Alúmina gris.
3. Alúmina blanca.
4. Nital (preferentemente, al 2%).
5. Alcohol.
6. Papel de lija abrasivo (carburo de silicio) de los siguientes grados: 120, 180, 240, 360, 400, 500, 600 y 800.
7. Desbastadoras manuales.
8. Pistola de aire.
9. Pulidora.
10. Microscopio metalográfico.

2.4.3. Desarrollo

Como se mencionó previamente, esta práctica se realiza en 3 sesiones, enseguida describiremos como se distribuyen las actividades e ilustraremos el procedimiento con

ayuda de la recopilación de imágenes que se realizó para desarrollar el laboratorio virtual. La descripción de las actividades no será tan detallada, puesto que ya se detalló un poco en el previo.

Sesión 1:

Tal como se anunció previamente, la práctica comienza desde la etapa de lijado. Durante la primera sesión se realiza el desbaste grueso, esto significa que se realizara un desbaste empezando con la lija de grano 120 y llegaremos hasta la de grano 360.

En la Figura 3. podemos observar la probeta en “estado base”, esto es cuando es presentada a los alumnos, son notables ciertas marcas provocadas del proceso de corte.



Figura 3. Probeta base. Antes de ser sometida al proceso de desbaste.

Es ocasiones es recomendable emplear un esmeril para minimizar las marcas del corte en el borde de la probeta, generando un biselado que evita dañar la lija por rasgaduras. En la Figura 4 se observa el proceso de biselado de la probeta.

Hay que aclarar que, por los riesgos implicados, solo el profesor está autorizado para realizar esta operación. También hay que mencionar que esta actividad no será contemplada en el laboratorio virtual.



Figura 4. Realizando biselado a la probeta

Posteriormente se empieza con el desbaste o lijado, para ello se utilizan lijas de carburo de silicio, estas vienen en la presentación de hoja rectangular como se muestra en la Figura 5, es tarea de los alumnos ajustar la forma de la lija para montarla en las desbastadoras rotatorias, la Figura 6 es un ejemplo aproximado de cómo debe quedar la lija para ser montada.

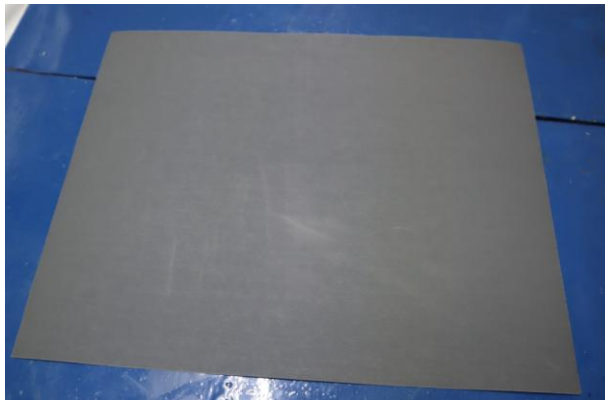


Figura 5. Papel de lija abrasivo de carburo de silicio grano 600

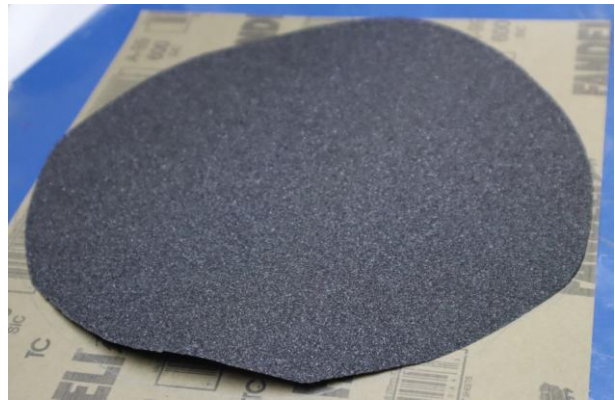


Figura 6. Lija con la forma adecuada para ser montada en la desbastadora rotatoria

En la Figura 7 a la izquierda se ve la desbastadora sin la lija montada, en la misma figura a la derecha se ve la lija ya montada en la desbastadora.

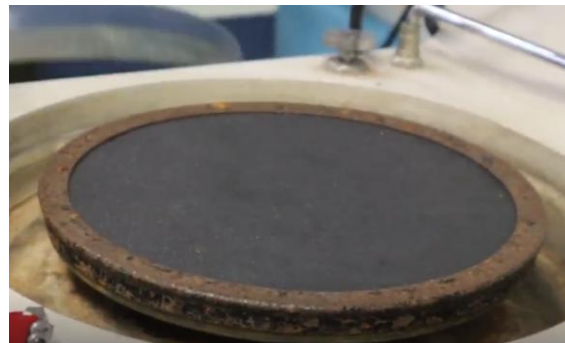


Figura 7. Desbastadora sin lija (izquierda) y con lija (derecha).

Una vez se ha montado la lija, se procede a desbastar la probeta, teniendo en cuenta las consideraciones mencionadas en la sección anterior (Previo), en la Figura 8 se observa como un par de estudiantes realizan el desbaste grueso, mientras uno sostiene la probeta firmemente, el otro suministra constantemente lubricante.



Figura 8. Estudiantes realizando el desbaste grueso.

La primera sesión termina cuando se finaliza en desbaste grueso, es decir, se llega a la lija de grano 360. El proceso de desbaste resulta bastante repetitivo, ya que se deben efectuar los mismos pasos de recortar la lija, montarla en el rotor de la desbastadora y lijar la probeta. En la Figura 9 y Figura 10 se aprecia el acabado de la superficie de la probeta después de cada lija.

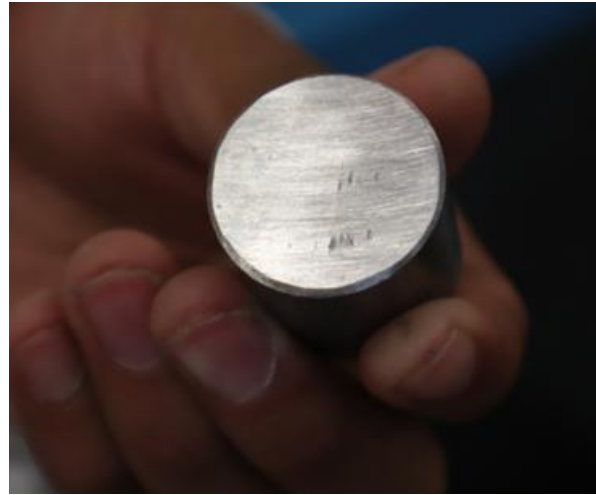
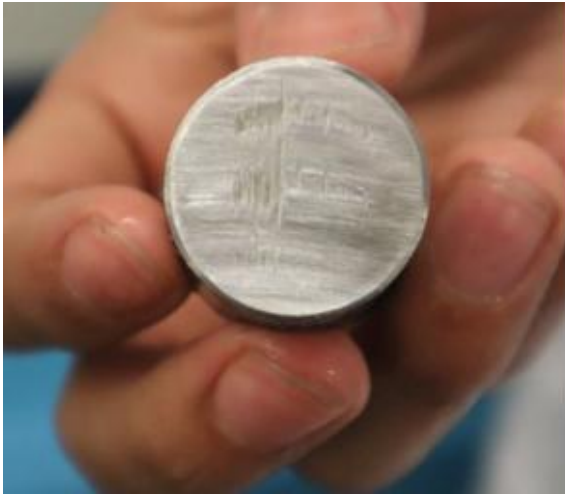


Figura 9. Probeta después de ser desbastada. Grano 120 (izquierda) - Grano 180 (derecha).



Figura 10. Probeta después de ser desbastada. Grano 240 (izquierda) - Grano 360 (derecha).

Sesión 2:

Durante esta sesión se efectúan las mismas tareas de la sesión 1, llegando al desbaste fino que concluye con la lija de grano 800. En la Figura 11 y la Figura 12 se muestra el acabado conseguido en la probeta después de cada desbaste (grano 400, 500, 600 y 800).



Figura 11. Probeta después de ser desbastada. Grano 400 (izquierda) - Grano 500 (derecha).



Figura 12. Probeta después de ser desbastada. Grano 600 (izquierda) - Grano 800 (derecha).

Cuando se termina el desbaste fino se procede a realizar el pulido con alúmina gris y alúmina blanca. Para esto ya existe una pulidora destinada a usarse con alúmina gris (Figura 13) y otra para usarse con alúmina blanca (Figura 14), ambas con un paño especial de pulido ya instalado previamente. Hay que tener cuidado y realizar primero el pulido con alúmina gris y después con alúmina blanca.



Figura 13. Pulidora para usarse con alúmina gris.



Figura 14. Pulidora para usarse con alúmina blanca.

En la Figura 15 se muestra cómo se suspende un poco de alúmina blanca sobre el paño, de la pulidora, se realiza un procedimiento similar con la alúmina gris. En la Figura 16 se muestra el pulido con alúmina gris y en la Figura 17 se muestra el pulido con alúmina blanca, los procedimientos son bastante similares entre sí y parecidos al desbaste. En el pulido puede ser necesario aplicar lubricante o más alúmina mientras se está puliendo.



Figura 15. Estudiante aplicando alúmina blanca sobre el paño de pulido.

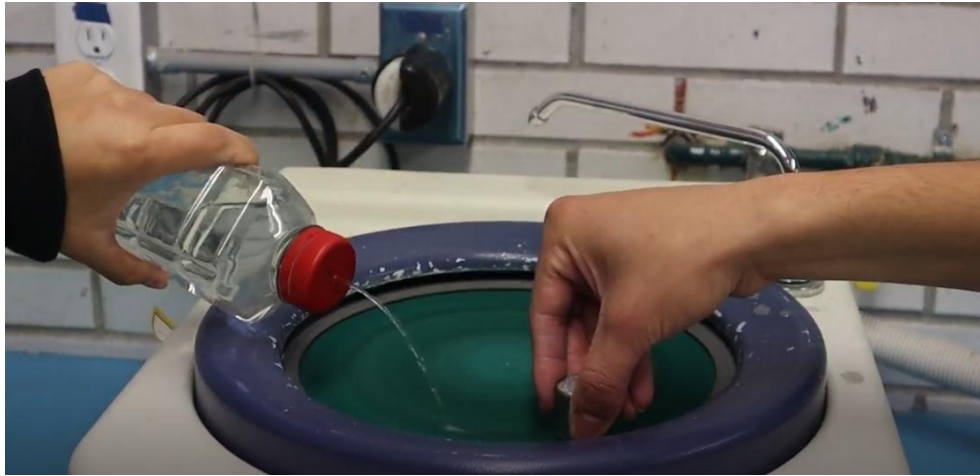


Figura 16. Estudiantes puliendo la probeta con alúmina gris.



Figura 17. Estudiantes puliendo la probeta con alúmina blanca.

El resultado del pulido con alúmina blanca será una superficie con acabado espejo, en la Figura 18 se muestra la probeta después de ser pulida con alúmina blanca.



Figura 18. Probeta después de ser pulida con alúmina blanca

Sesión 3:

Finalmente, después de tener una probeta con acabado espejo y antes de realizar el ataque químico, se debe limpiar la superficie. Primero se aplica alcohol sobre la cara trabajada (Figura 19), después se limpia este alcohol con algodón (Figura 20) y por último se seca la probeta con la pistola de calor (Figura 21).



Figura 19. Aplicando alcohol sobre la superficie de la probeta.



Figura 20. Secando el alcohol de la probeta con algodón.

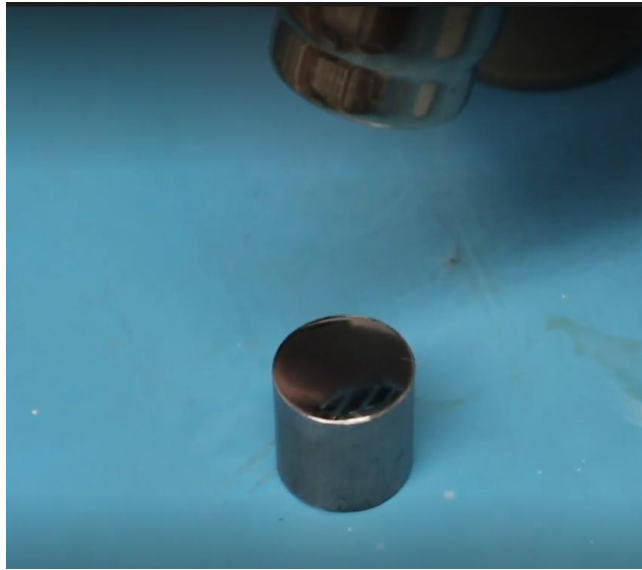


Figura 21. Secando la probeta con la pistola de aire.

Ahora se realiza propiamente el ataque químico con nital al 2%. Tal como se estableció en el previo, se depositan unas gotas de nital sobre la superficie hasta cubrirla completamente (Figura 22), se deja actuar el nital unos segundos, enseguida se interrumpe el ataque químico con alcohol (Figura 23) y por último se seca el alcohol restante con la pistola de aire (Figura 24). En la Figura 25 se observa la probeta después de realizar el ataque químico.



Figura 22. Aplicando unas gotas de nital sobre la superficie con acabado espejo de la probeta.



Figura 23. Interrumpiendo el ataque químico con alcohol.



Figura 24. Secando el alcohol restante con la pistola de aire.



Figura 25. Probeta después de realizar el ataque químico.

El siguiente paso sería observar la superficie en el microscopio, para ello se coloca la probeta con la superficie trabajada de la probeta en contacto en la platina del microscopio (ver Figura 26). La Figura 27 muestra el resultado de la preparación metalográfica vista con un aumento de 500x.



Figura 26. Probeta lista para ser observada en el microscopio.

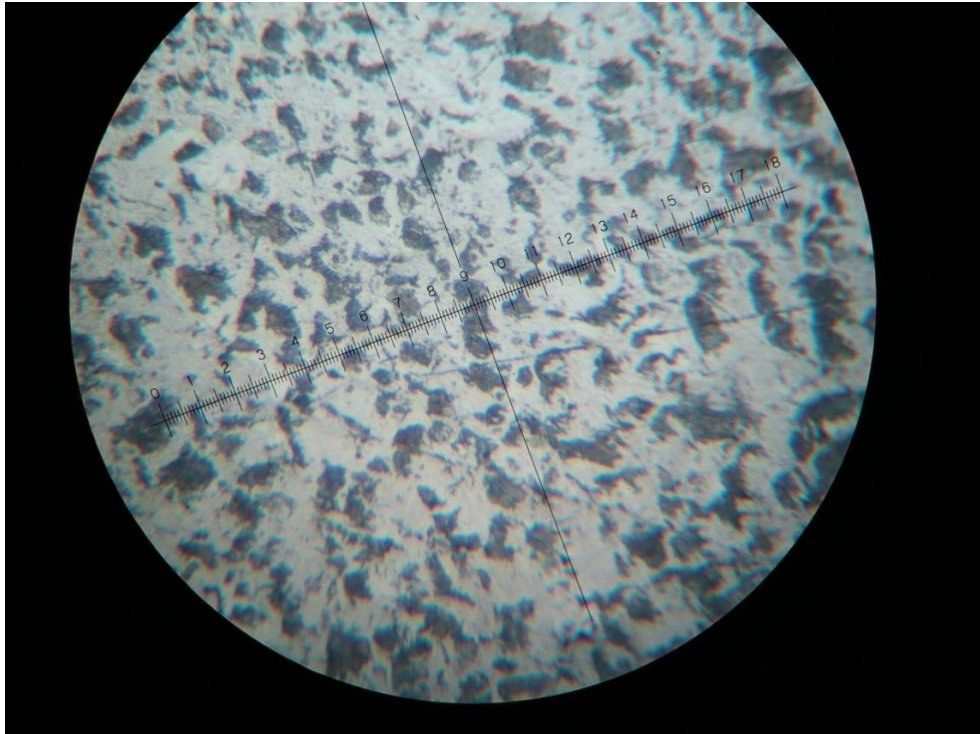


Figura 27. Probeta de Acero 1018 vista con un aumento de 500x

La interpretación de los datos obtenidos durante la realización de esta práctica de manera presencial será crucial para comprender los eventos ocurridos y extrapolarlos a un entorno virtual.

2.4.4. Aprendizajes esperados

La práctica de caracterización metalográfica permite a los alumnos desarrollar habilidades fundamentales en el análisis de materiales, enfocándose en la correcta preparación y observación de muestras metálicas. A través de la experiencia descrita en esta sección, se espera que los estudiantes adquieran los siguientes conocimientos y competencias:

1. Aplicación de técnicas de preparación de muestras metalográficas:
 - a. Realizar el desbaste grueso y fino de la superficie seleccionada.
 - b. Realizar el pulido de la superficie seleccionada hasta conseguir un acabado espejo.
 - c. Aplicar ataque químico para revelar características microestructurales como tamaño de grano, fases presentes e inclusiones.
2. Interpretación de resultados metalográficos:
 - a. Relacionar la microestructura observada con el tratamiento térmico y mecánico que ha recibido el material.
 - b. Identificar las inclusiones y las fases presentes en la muestra.
 - c. Aplicar metodologías para la determinación de del tamaño de grano, utilizando normas como ASTM E112.

Gran parte de estos conocimientos podrían trasladarse y ser adquiridos a través de un entorno virtual. Teniendo en mente el procedimiento completo de la caracterización metalográfica y los principales conocimientos que deben adquirir los estudiantes que realicen esta práctica, podemos realizar un análisis buscando áreas de mejora y necesidades que puedan satisfacerse con una herramienta de realidad virtual.

Situación específica del laboratorio

Después de conocer a detalle el funcionamiento del laboratorio físico, se analizó la información y datos recabados para observar los procedimientos prácticos y evaluar mejoras para adaptarlo a un entorno virtual.

Durante este análisis, se identificaron las siguientes áreas de oportunidad:

- **Tiempo insuficiente:** Tanto el proceso de desbaste fino y pulido como el tiempo necesario para el ataque pueden ser extensos y variables. El tiempo asignado actualmente puede no ser suficiente para que todos los alumnos puedan completar y comprender adecuadamente los procedimientos.
- **Insuficiencia de equipos de laboratorio:** La cantidad limitada de equipos disponibles impide la participación continua de todos los alumnos durante la práctica. La falta de equipo adecuado o el desgaste de herramientas podrían afectar negativamente la calidad del proceso.
- **Condiciones del equipo:** Algunos equipos presentan un estado deficiente y requieren mantenimiento o reemplazo. La falta de equipos actualizados o bien mantenidos podría influir en la calidad de los resultados y la experiencia de aprendizaje de los estudiantes.
- **Espacio limitado:** El tamaño reducido del laboratorio dificulta acomodar cómodamente a todos los estudiantes, lo cual puede ser un obstáculo para la realización efectiva de las prácticas.
- **Disponibilidad de materiales:** Es crucial asegurar la disponibilidad y el mantenimiento adecuado del equipo de desbaste fino y pulido, así como de materiales como lijas de grano fino y polvos abrasivos de alúmina. La falta de estos recursos podría limitar la práctica y el dominio de las técnicas por parte de los estudiantes.
- **Habilidades técnicas requeridas:** El desbaste fino y el pulido requieren habilidades técnicas específicas para eliminar todas las imperfecciones de las etapas anteriores. Esto representa un desafío para aquellos estudiantes sin experiencia previa en técnicas metalográficas.
- **Seguridad y manejo de productos químicos:** Es fundamental seguir estrictamente las normas de seguridad en el manejo de productos químicos utilizados en el ataque y observación metalográfica. El incumplimiento de estas normas podría ser una limitación significativa en cuanto a seguridad estudiantil y durabilidad del equipo.

Dada la experiencia adquirida durante las sesiones de laboratorio presencial, se concluyó que las principales complicaciones están relacionadas con la insuficiencia de tiempo y equipos.

La interpretación de los resultados no se considera como tal parte del desarrollo de la práctica, más bien es un análisis a posteriori, por lo que, no estará incluido como parte del laboratorio virtual, sin embargo, los resultados observados a través del microscopio sí servirán para que el usuario pueda realizar su interpretación de manera independiente.

La metodología empleada para desarrollar esta herramienta de aprendizaje se describe en el siguiente capítulo.

3. Metodología del desarrollo del laboratorio virtual

El laboratorio virtual se desarrolló siguiendo un proceso de mejora iterativa, orientado a optimizar el rendimiento¹, potenciar la interacción de los usuarios con los objetos del laboratorio, preservar la experiencia cooperativa propia de la práctica metalográfica real y garantizar la compatibilidad multiplataforma².

Para lograr lo anterior, se utilizaron herramientas como **Blender** para el modelado tridimensional, Unity para la construcción del ambiente virtual e integración de los algoritmos de funcionamiento, y VRChat como plataforma de publicación, empleando su SDK para distribuir el laboratorio en mundos virtuales accesibles desde dicha plataforma.

Se contó con el asesoramiento del equipo de LOR, quienes aportaron recomendaciones sobre el software más adecuado y con mejor proyección para este tipo de aplicaciones. La justificación de la selección de herramientas se desarrolla a lo largo de este capítulo.

Además, para garantizar que el laboratorio virtual reflejara con fidelidad las condiciones y procedimientos de la práctica metalográfica real, fue necesario recopilar y sistematizar información directamente del laboratorio físico.

Este proceso de documentación constituyó la base para la construcción de los modelos tridimensionales y la definición de las interacciones dentro del entorno virtual.

A continuación, se describe la metodología empleada para la recopilación de datos en el laboratorio, la cual permitió capturar tanto los aspectos visuales como los procedimentales del ensayo.

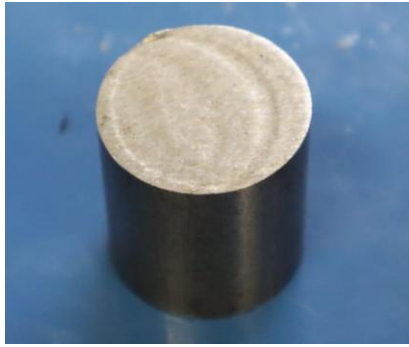
Recopilación de datos en el Laboratorio

La interpretación de los datos es crucial para comprender los eventos ocurridos durante la práctica. Por esta razón, a lo largo de la nuestra estancia en la realización del ensayo metalográfico descrito con anterioridad, se documentaron todas las actividades implícitas para que el procedimiento sea un éxito.

Se generó una memoria con todas las fotos y videos obtenidos de las sesiones del laboratorio. Este contenido fue usado para generar el modelo 3D de la probeta, el equipo y herramientas empleadas en el laboratorio. Para la probeta se tomaron fotografías en cada etapa de desbaste, pulido, limpieza y ataque químico, algunas de estas tomas se muestran en la Figura 28. El proceso de modelado se detalla en la siguiente sección.

¹ Dentro de este contexto se refiere a permitir una experiencia virtual fluida para los usuarios.

² Teniendo como objetivo usuarios de Windows y Android.



a



b



c

Figura 28. (a) Probeta en su estado original (b) Probeta después del desbaste grueso (c) Probeta después de ser pulida con alúmina blanca

Al compendio de archivos audiovisuales, se le sumó posteriormente un banco de imágenes proporcionado por los académicos involucrados, con fotografías en donde se podía apreciar la estructura metalográfica de diferentes metales vistos con distintos objetivos (aumentos).

Estos elementos fueron empleados a posteriori como parte del resultado final de la caracterización metalográfica a través del microscopio virtual.

En las Figuras Figura 29, Figura 30, Figura 31 y Figura 32 se muestran algunas de las imágenes de la microestructura de una muestra de acero 1018 después de una adecuada preparación metalográfica.

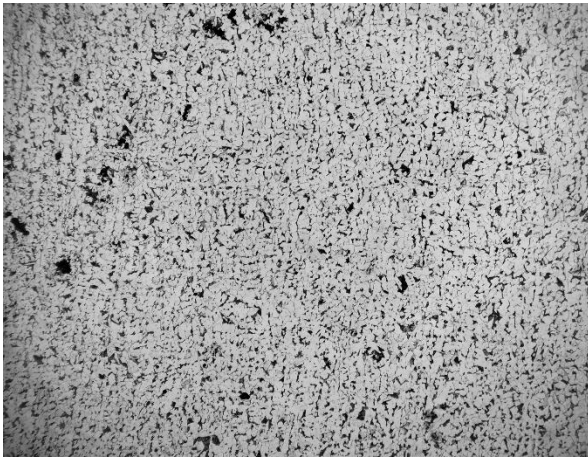


Figura 29. Estructura metalográfica del acero 1018 vista con un objetivo de 100x.

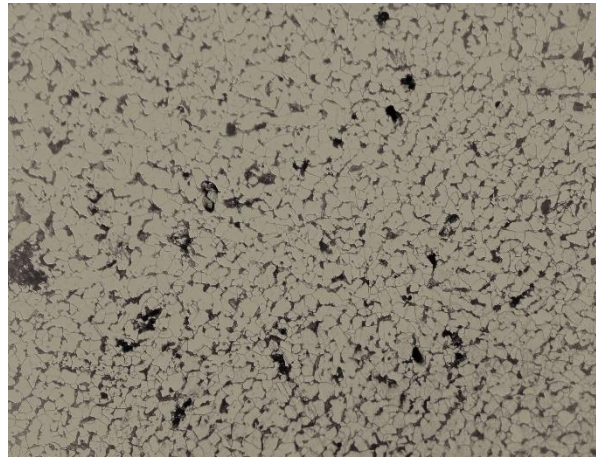


Figura 30. Estructura metalográfica del acero 1018 vista con un objetivo de 200x.

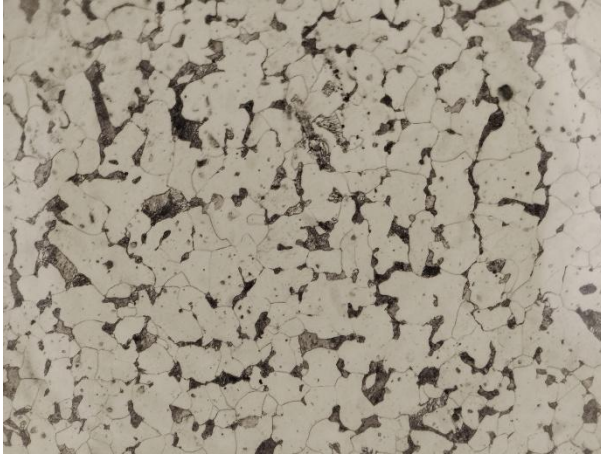


Figura 31. Estructura metalográfica del acero 1018 vista con un objetivo de 500x.

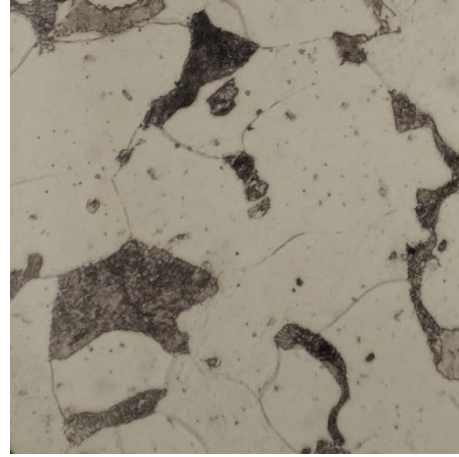


Figura 32. Estructura metalográfica del acero 1018 vista con un objetivo de 1000x.

Con ayuda de la información digital recabada y un riguroso análisis sobre la secuencia de preparación metalográfica para realizar una adecuada observación microscópica, se establecieron las siguientes etapas que comprenderán el eje central en el desarrollo del laboratorio virtual.

1. Desbaste.
 - 1.1. Fino, lijas de grano 120 y 180.
 - 1.2. Grueso, lijas de grano 240, 360, 400, 500, 600 y 800.
2. Pulido.
 - 2.1. Con alúmina gris.
 - 2.2. Con alúmina blanca.
3. Limpieza.
 - 3.1. Enjuagar con agua corriente y secar con pistola de calor.
 - 3.2. Limpiar con alcohol y secar con algodón.
 - 3.3. Secar con pistola de calor.
4. Ataque químico.
 - 4.1. Atacar con nital.
 - 4.2. Esperar unos segundos (a que oscurezca la superficie).
 - 4.3. Interrumpir el ataque con alcohol.
 - 4.4. Secar con pistola de calor.
5. Observación microscópica.
 - 5.1. Colocar la probeta en el microscopio.
 - 5.2. Ver por el microscopio la estructura metalográfica.

La secuencia descrita con anterioridad será la base para crear los scripts que le permitirán al usuario interactuar con la probeta y realizar la práctica de metalografía con la mayor aproximación a la realidad.

En una sesión adicional con el cuerpo académico del laboratorio de ingeniería de materiales, se grabaron audios de los procesos de desbaste y pulido del ensayo metalográfico. También se capturaron audios de manera independiente de algunas herramientas y equipos, como la pistola de calor, la desbastadora, la pulidora y las tijeras. Lo anterior con el fin de integrar sonido realista dentro del laboratorio virtual.

Con las secuencias definidas y el material audiovisual necesario ya capturado para recrear el proceso metalográfico, el siguiente paso natural fue elegir el entorno gráfico donde todo esto cobraría vida. Esta decisión resulta clave, pues el motor seleccionado determinaría cómo se integrarán los modelos 3D, los sonidos y las mecánicas que conformarán el laboratorio virtual.

Selección de entorno virtual

Una vez comprendidas las características del laboratorio, y antes de proceder con el modelado de objetos, fue necesario definir el motor gráfico con el cual se realizará el laboratorio, esto dado que, como se menciona a continuación, los diversos motores tienen diferentes características, requisitos y ventajas que podrían propiciar o dificultar el desarrollo del entorno virtual.

A continuación, se presenta una tabla comparativa en la que se analizan diferentes aspectos clave de los motores gráficos, así como las herramientas específicas que proporcionan para optimizar el proceso de creación.

Entre los criterios más relevantes se encuentran la compatibilidad de integración con VR, la facilidad de implementación de opciones multijugador, compatibilidad con paqueterías externas, y las plataformas de despliegue posibles.

Se propusieron 3 motores gráficos, Unity, motor multiplataforma ampliamente utilizado en la industria de los videojuegos e interactivos, Unreal Engine, motor de alto rendimiento especializado en visualización realista de parte de Epic Games, y Godot, motor de código abierto en constante crecimiento dentro de la comunidad de desarrolladores.

Tabla 1. Comparativa entre los motores gráficos Unity, UE y Godot

Característica	Unity	Unreal Engine	Godot
Capacidad grafica	Para entornos de distintas calidades	Principalmente para entornos con una calidad grafica Ultra-Alta	Principalmente para entornos con calidad grafica media
Requisitos de hardware	OS: Windows 7/10, macOS, Linux	OS: Windows 10+, macOS, Linux	OS: Windows 7+, macOS, Linux

	CPU: X64 Arch Graphics API: DX10, DX11, DX12	CPU: Quad-core 2.5 GHz + RAM: 32 GB VRAM: 8GB + Graphics API: DX11, DX12	CPU: x86_32 y x86_64 RAM: 4GB Almacenamiento: 200mb
Capacidad multijugador	Si, mediante los servicios de Unity	Sí, con conexiones cliente-servidor	Sí, con conexiones cliente-servidor
Compatibilidad con paqueterías externas	Mediante el uso de la Unity Asset Store y el Unity Package Manager	Mediante el Marketplace de Epic Games	Mediante el uso de la Asset Library
Compatibilidad con características VR	Sí	Si	Sí, mediante un paquete del Asset Library
Método de programación	C#, Programación visual	Programación visual, C++	GDScript, C#
Plataformas de compilación	Android, Windows, Linux, iOS, macOS, etc.	Android, Windows, Linux, iOS, macOS, etc.	Android, Windows, Linux, iOS, macOS, etc.

Dadas las características mostradas anteriormente, podemos descartar el motor Unreal Engine debido a que sus requerimientos de hardware elevados impedirían una iteración rápida durante el desarrollo, por lo que Unity y Godot quedan como posibles candidatos.

Finalmente, se decidió utilizar el motor gráfico Unity para el desarrollo del laboratorio virtual. Esta elección respondió, en primer lugar, a la experiencia previa del equipo de trabajo del LOR, quienes ya cuentan con conocimientos consolidados en esta plataforma, lo que permitió optimizar tiempos de implementación.

Unity ofrece un entorno de desarrollo flexible, con amplio soporte para realidad virtual y bibliotecas de interacción 3D, características que resultan fundamentales para garantizar la interactividad, el realismo y la escalabilidad del proyecto.

De la misma forma, aprovechando el conocimiento previo del LOR en entornos interactivos, se propuso utilizar VRChat como plataforma de terceros para alojar e implementar el laboratorio virtual, algunas de las características y utilidades que nos permiten implementar se mencionan en la siguiente sección.

VRChat

Es una plataforma multijugador que facilita la interacción de usuarios de múltiples plataformas como Android, PC y Meta Quest de manera conjunta dentro de entornos

virtuales, permitiendo una interacción más personal entre usuarios con diversos dispositivos en línea.

Una de las características que hace a VRChat una plataforma relevante para este proyecto es la capacidad de los usuarios para subir entornos virtuales o “mundos” al sistema y permitir que otros usuarios entren e interactúen en dichos mundos.

El desarrollo de “mundos” para esta plataforma se hace con el uso del motor gráfico Unity y el SDK desarrollado por VRChat, para esto, VRChat desarrolló su propio programa para conectar Unity y su SDK, llamado **VRChat Creator Companion**, con el cual, es posible generar nuevos proyectos con las características necesarias para subir el programa a la plataforma de VRChat, así como gestionar los paquetes externos específicos para VRChat.

Sin embargo, dada la capacidad de uso multiplataforma del software, así como la gran diferencia de hardware que pueden tener los usuarios, hay ciertas limitaciones obligatorias y recomendadas que la plataforma nos impone para poder subir “mundos”, uno de estos siendo que el tamaño del mundo no puede superar los 100 MB para usuarios de un dispositivo Android y Quest, u otro siendo que los mundos no deben tener más de 250,000 polígonos [25].

Sin embargo, estas limitaciones no las consideramos como un inconveniente, puesto que la plataforma ya tiene parte de las implementaciones que necesitamos para el laboratorio, como son el multijugador, y la compatibilidad entre PC y sistemas de VR, lo que nos permitió enfocarnos en otros aspectos del desarrollo del entorno virtual.

Finalmente, dada la elección del Motor gráfico que daría vida a este entorno virtual, así como la plataforma que se utilizaría, se procedió con la selección del software de modelado con el cual se crearon los distintos elementos del laboratorio. A continuación, se detallan las decisiones tomadas y la información considerada durante este proceso.

Diseño y optimización de Modelos 3D

Para la generación de los modelos que se utilizarán dentro del entorno virtual, fue de vital importancia seleccionar el software de modelado correcto, no solo por la complejidad del software, sino por las opciones y herramientas que estos softwares nos pueden dar para permitir y/o facilitar el desarrollo.

En esta sección, se puede encontrar una tabla comparativa en la cual se observan las diferentes características que se buscan en los softwares, así como las herramientas específicas que nos dan para facilitarnos el desarrollo, siendo las más importantes los

formatos de archivos de salida para los modelos, la compatibilidad con paqueterías extras, el manejo de UV's³, la edición de texturas y modificación manual de la malla.

Con esto en mente, se propusieron 3 softwares como opciones para la generación de los modelos, **Autodesk Maya**, software especializado en modelado para entretenimiento de parte de la empresa Autodesk, **Autodesk Inventor**, software de CAD para diseño e ingeniería de la empresa Autodesk, y **Blender**, software especializado en generación de gráficos 3D de la empresa Fundación Blender.

Tabla 2. Comparativa entre softwares de modelado Maya, Inventor y Blender

Característica	Maya	Inventor	Blender
Formatos de salida para objetos 3D	• .stl • .dxf • .stp • .step • dae (con plugin "fbxmaya") • .obj (con plugin "objExport") • .fbx (con plugin "fbxmaya")	• .obj • .stp • .step • .stl • .glb	• .dae • .stl • .obj • .fbx
Manejo de UV's	Si, ventana "UV Editor"	No permite la edición de UV	Si, Ventana "Edit UV"
Manipulación de materiales y texturas	Permite agregar materiales basados en imágenes a objetos, no permite editar texturas de manera nativa.	Permite agregar materiales de un catálogo, permite agregar nuevos materiales, no permite agregar texturas.	Permite agregar materiales basados en imágenes o lógica a objetos, tiene herramientas de edición de texturas de manera nativa
Compatibilidad con paqueterías extras	Limitada, con paquetes selectos de paga dentro de Autodesk Store	Limitada, con paquetes selectos de paga dentro de Autodesk Store	Si, mediante Add-ons de la comunidad en su página de extensiones.
Modificación de la maya del objeto	Capacidad de modificación total, con herramientas útiles para distintos casos	No es posible realizar modificaciones de manera nativa a la maya del objeto generado	Capacidad de modificación total, con herramientas útiles para distintos casos

³ Las UV, son el nombre que recibe un mapa que representa un modelo 3D en un espacio 2D, de esta forma, es posible asignar pixeles de una imagen a la superficie de una figura completa. Fuentes: [10]

Costos	Requiere de una licencia de paga para su uso, la cual es de \$3,400.00 MX mensuales o \$26,885.00 MX anuales	Requiere de una licencia de paga para su uso, siendo esta de \$4,315 MX mensuales o \$34,600 MX anuales	Software de uso libre, no cuenta con licencia de uso de paga ni costo
--------	--	---	---

Como se puede observar en la comparativa, Inventor queda descartado por no permitir edición de UVs ni mallas, así como la falta de edición de materiales, por lo que, tanto Maya como Blender son buenas alternativas para el desarrollo de modelos.

Dentro de estos 2, Maya es una excelente opción, sin embargo, la falta de opciones de edición de texturas de manera nativa hace que se requiera la búsqueda de un software especializado en Ilustración, además, la tienda de maya cuenta con opciones limitadas para agregar funcionalidad al entorno.

Por ende, el software a utilizar para el desarrollo de modelos fue Blender, tanto por su capacidad de modificación completa de mallas, como por su gran cantidad de Add-ons hechos por la comunidad, y una vez se definió el software de modelado a utilizar, se procedió a la generación de los modelos.

A continuación, se presentarán algunos de los modelos que se consideran más relevantes desde el punto de vista técnico, debido al uso de técnicas y herramientas específicas que permitieron alcanzar resultados significativos en su desarrollo. Asimismo, se mencionarán otros modelos adicionales, elaborados con procedimientos similares, aunque con un nivel de detalle menor, con el fin de ofrecer una visión completa del proceso de modelado llevado a cabo en el laboratorio virtual.

Probeta:

Para modelar la probeta se tomaron en cuenta las medidas establecidas por la norma ASTM E3, encargada de estandarizar los ensayos metalográficos, esta sugiere un diámetro de la sección transversal de 12[mm] a 25[mm] y una altura que no comprometa la manipulación de la probeta durante el proceso de preparación.

No obstante, dentro de los entornos de realidad virtual, se pueden presentar complicaciones para manipular objetos demasiado pequeños, especialmente en usuarios nuevos o con poca experiencia. Debido a lo anterior se tomó la decisión de crear una probeta con un diámetro de 100[mm] o 10[cm] y una altura también de 10[cm], esto favorecerá la ergonomía y comodidad a la hora de manipular la probeta e interactuar con ella.

Este **objeto 3D** se construyó a partir de una **malla cilíndrica** dentro de Blender, ajustando los parámetros de radio y altura, tal como se muestra en la Figura 33, el parámetro de vértices no fue modificado, ya que es suficiente para lograr una circunferencia en la base.

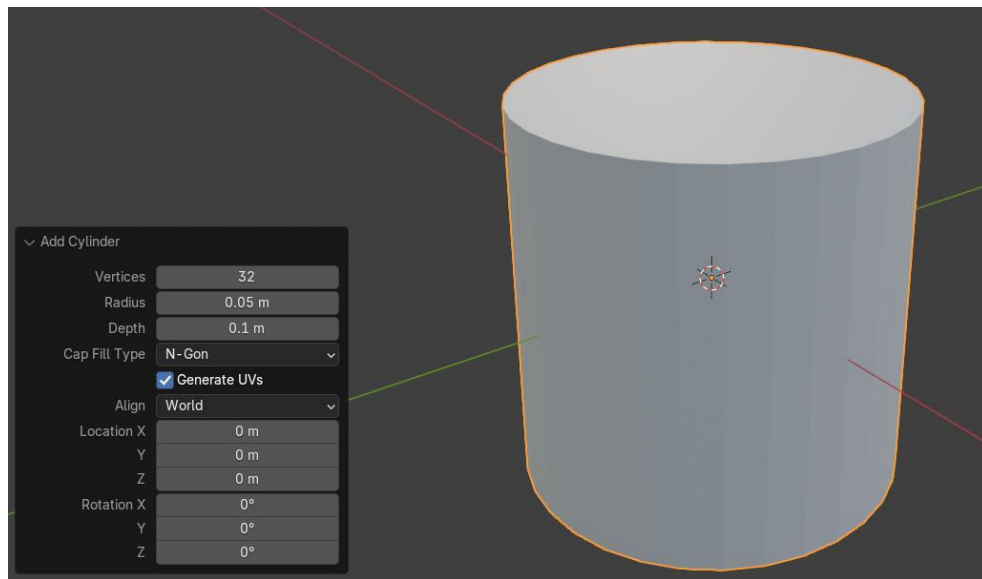


Figura 33. Malla con forma cilíndrica - Probeta inicial.

El modelo anterior ya cumple con las características dimensionales y se asemeja a la probeta, sin embargo, aún es posible trabajar los elementos visuales con las herramientas que ofrece Blender y segmentar el modelo en favor de facilitar la implementación del **texturizado**⁴.

A continuación, se optó por dividir el objeto original en tres, el cilindro sin las caras (se le llamará “cuerpo” por conveniencia), y las dos caras. Esto para controlar los materiales de las caras sin afectar el material del cuerpo, lo cual permitirá crear un efecto visual de desbaste dinámico sin alterar la malla del objeto y comprometer el rendimiento gráfico. En la Figura 34 se muestra cómo se dividió el objeto original.

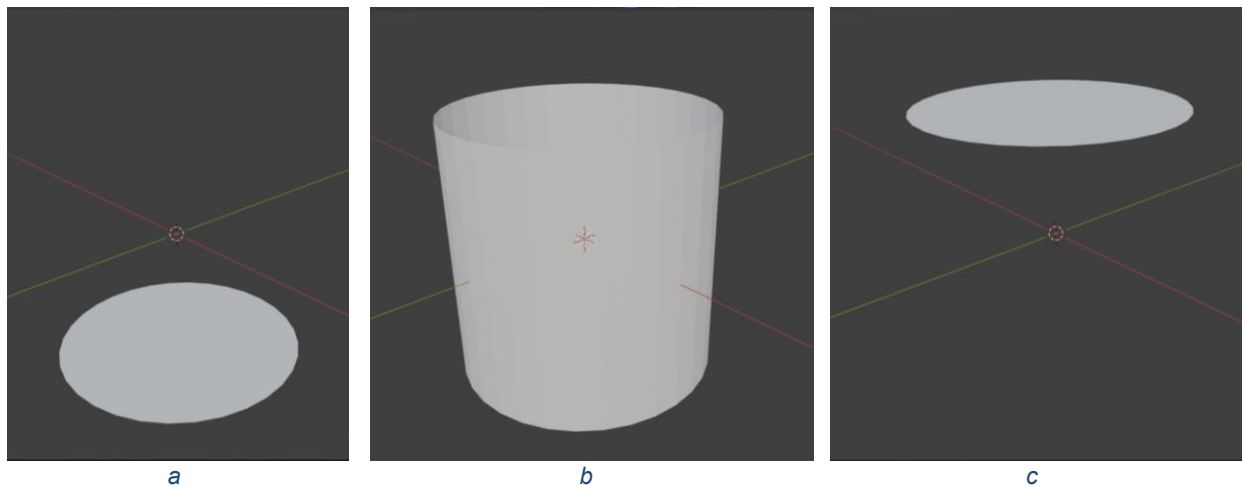


Figura 34. (a) Cara inferior. (b) Cuerpo. (c) Cara superior.

⁴ Proceso de aplicar imágenes o mapas a la superficie de un modelo 3D, con el fin de definir sus características visuales como color, relieve, rugosidad o transparencia, otorgándole mayor realismo sin incrementar la complejidad geométrica.

Una vez concluido el modelo, resulta fundamental verificar que la **orientación de las caras** sea la adecuada. Cada cara de una malla 3D posee un vector perpendicular denominado **normal**, el cual determina cómo interactúan la luz y el entorno con dicha superficie. En otras palabras, la normal define qué lado de la cara será visible y renderizado.

Mantener un control correcto de la dirección de las normales es esencial, ya que una orientación invertida puede ocasionar errores visuales: superficies que deberían ser visibles pueden aparecer transparentes o ausentes, lo que afecta la interpretación del modelo. Este problema no solo se presenta en el software de modelado (como Blender), sino también en el motor gráfico (Unity), pudiendo comprometer la fidelidad visual y la experiencia del usuario en el laboratorio virtual.

Dentro de Blender las caras visibles se visualizan en color azul y las caras invisibles en color rojo, para habilitar esta opción basta con activar la casilla de **face orientation** en el menú de **viewport overlays**. Figura 35

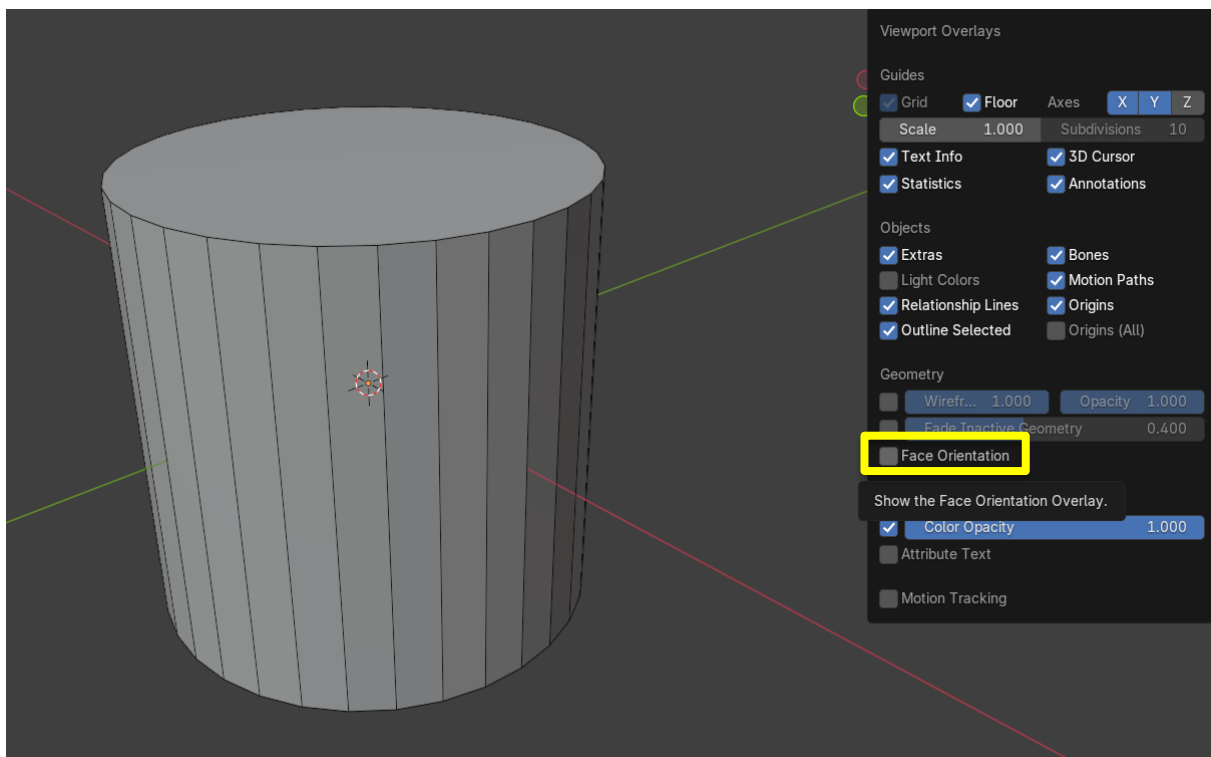


Figura 35. Imagen demostrativa de como activar la vista de la orientación de caras en Blender.

Una vez activada la opción de visualización de **orientación de caras**, es posible identificar la dirección de las normales en el modelo de la probeta. En la Figura 36 se muestra, el modelo completo con las caras orientadas hacia el exterior, representadas en color azul, lo que indica que serán visibles en el renderizado. En la Figura 37 se presenta la misma probeta con algunas caras eliminadas para observar parcialmente su interior;

en este caso, las caras internas aparecen en color rojo, lo que indica que no serán visibles.

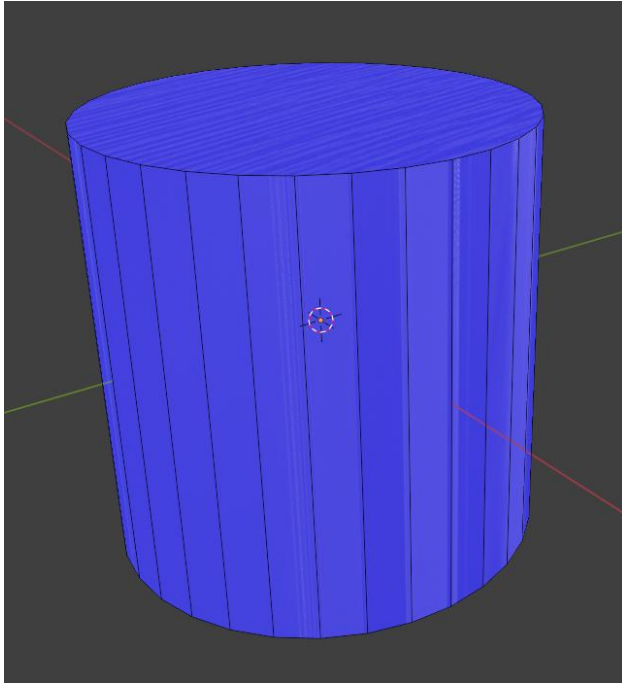


Figura 36. Probeta con la opción de visualizar la orientación de caras activada.

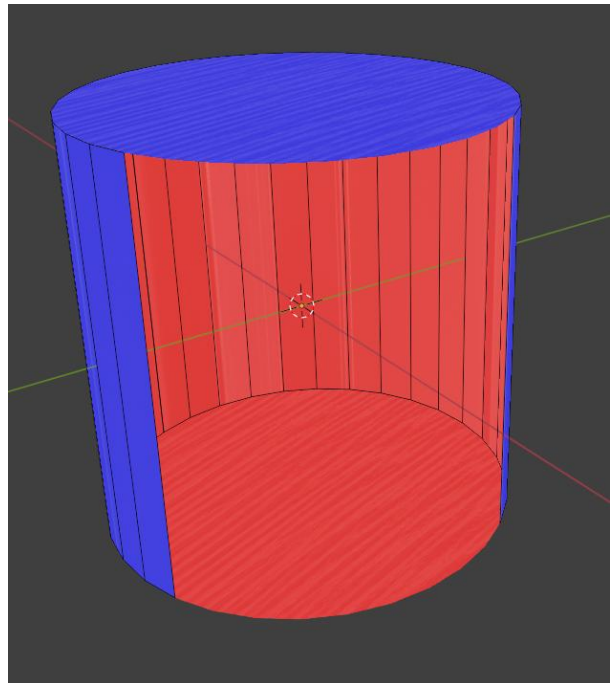


Figura 37. Probeta con la opción de visualizar la orientación de caras activada y con algunas caras eliminadas.

La orientación de las caras en el modelo resultó correcta, por lo que no fue necesario realizar modificaciones adicionales. En caso de detectar alguna cara invertida, el procedimiento consiste en seleccionarla, acceder al menú de **Normales** y utilizar la opción **recalcular** (hacia dentro o hacia fuera, según corresponda). En la Figura 38 y la Figura 39 se ejemplifica este procedimiento aplicado al modelo de la probeta.

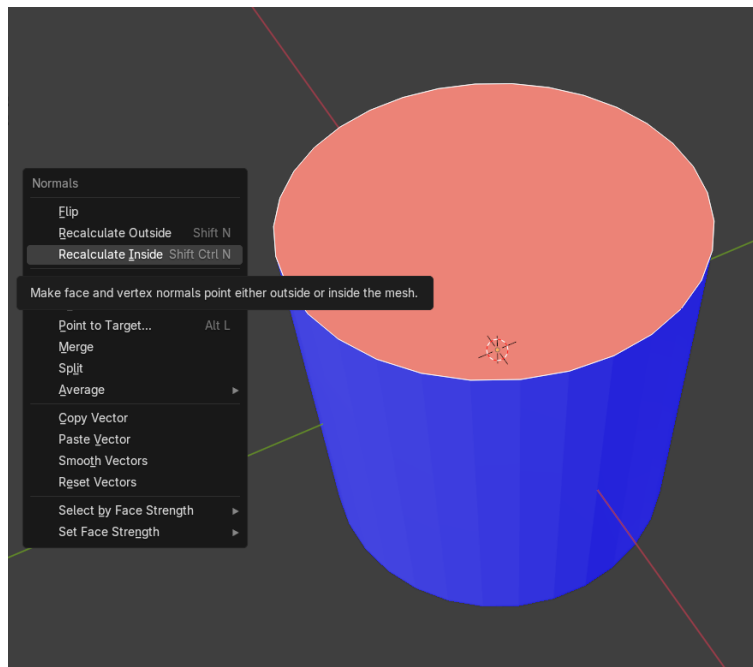


Figura 38. Probeta con la cara superior invertida y el menú de normales desplegado.

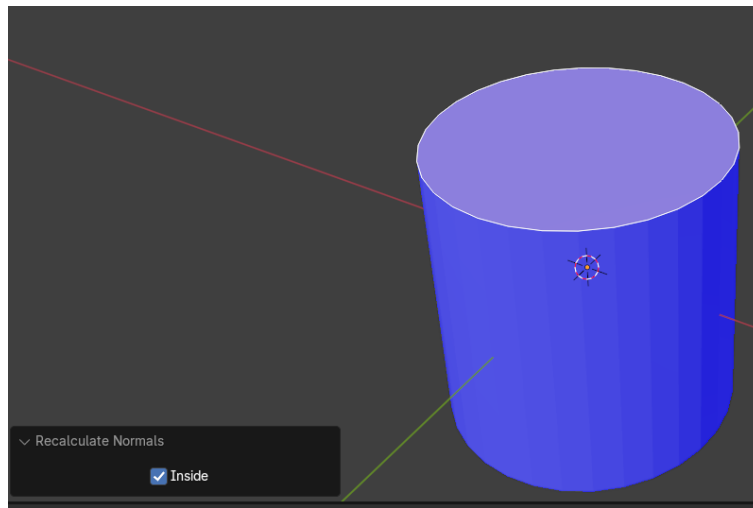


Figura 39. Probeta con la cara superior corregida, recalculando hacia adentro.

Ahora con las “normales” del modelo correctamente orientadas, procedemos a usar la herramienta de **shading**⁵ para crear un **shader**⁶ destinado a las caras de la probeta, este debe reflejar marcas debidas al proceso de corte y que puedan alisarse con cada desbaste.

⁵ Proceso de definir cómo la luz interactúa con la superficie de un objeto, controlando aspectos como color, brillo, rugosidad y transparencia, para simular materiales con diferentes propiedades ópticas. [13]

⁶ Programa o conjunto de instrucciones que determina cómo se calculan y representan en pantalla las propiedades visuales de un objeto 3D. [13]

Este shader generado se muestra en la Figura 40, utiliza un **Noise Texture** configurado con alta distorsión para producir un patrón irregular, enseguida mediante un **Vector Displacement** se convierte el ruido en desplazamiento tridimensional. Los valores resultantes se normalizan con **Map Range** y se aplican físicamente a la malla a través de un nodo **Displacement**.

De forma independiente, un **Color Ramp** en gradiente de negro a blanco define el color base, que se integra en un **Principled BSDF** configurado con rugosidad máxima y sin metalicidad.

Finalmente, el **Material Output** combina la información de superficie y desplazamiento para su renderizado.

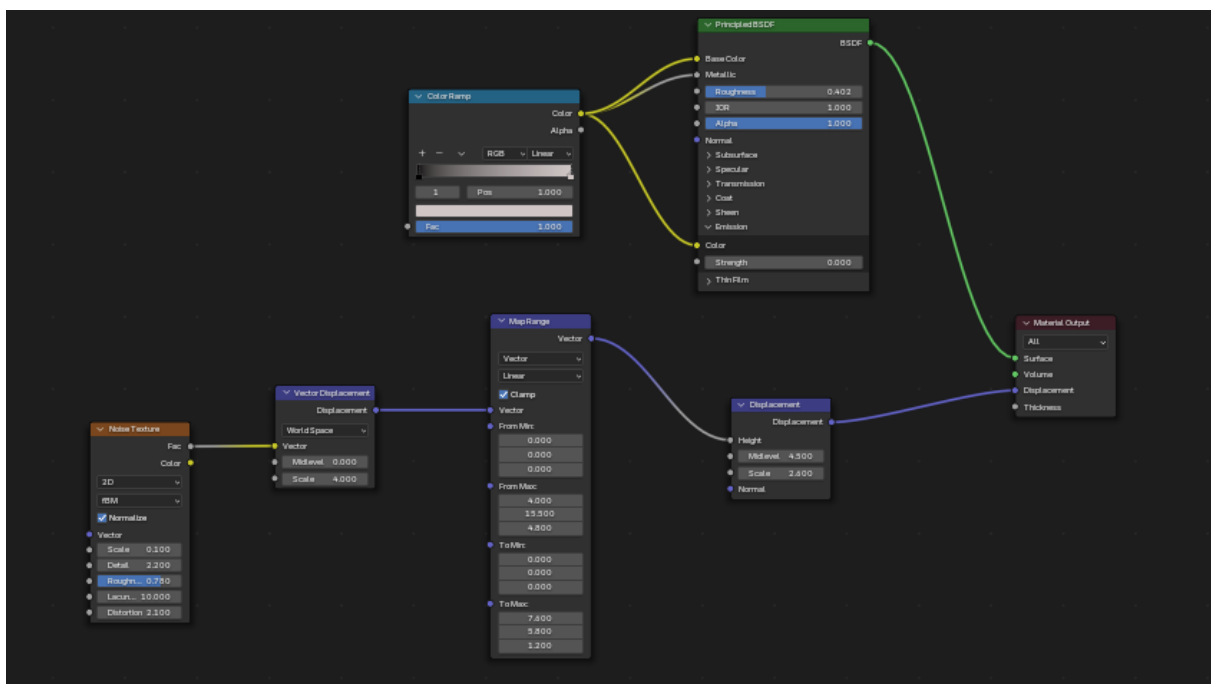


Figura 40. Shader creado para las caras de la probeta.

El resultado de aplicar el shader en la cara se muestra en la Figura 41, cabe mencionar que la configuración de los shaders no se exporta directamente en los formatos de salida que ofrece Blender, es decir, el archivo exportado no tendrá las propiedades visuales que se añadieron a través del shader, para resolverlo se generarán las texturas de manera independiente.

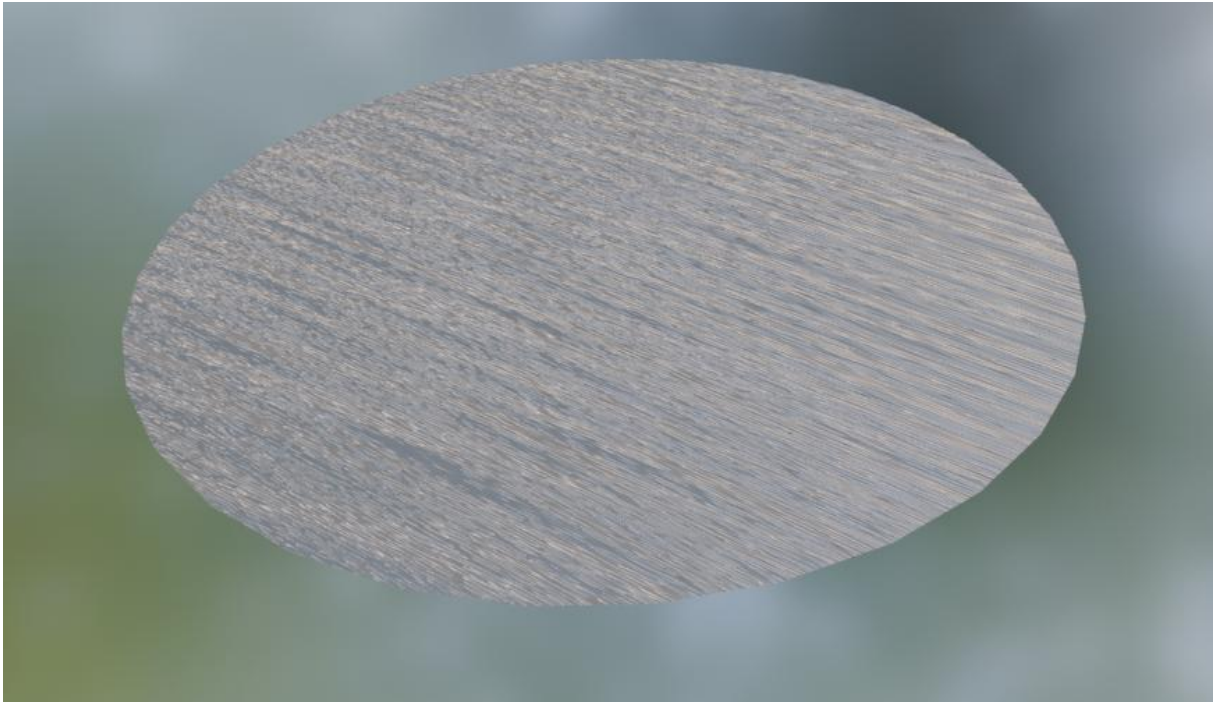


Figura 41. Cara con el shader aplicado.

Este mismo shader se utilizó para el cuerpo de la probeta modificando algunos parámetros de **Noise Texture** y **Displacement** para lograr una superficie menos caótica y más precisa en su geometría y acabado. El shader aplicado se muestra en la Figura 42

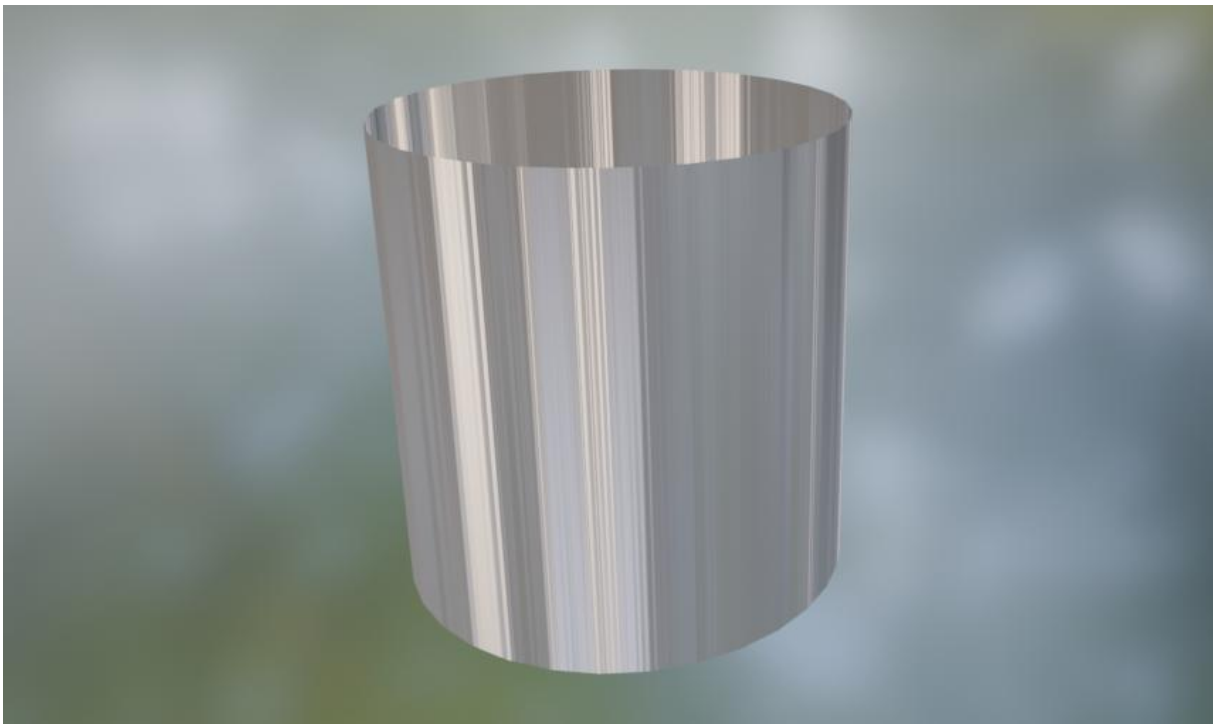


Figura 42. Cuerpo con el shader aplicado

El modelo completo con los shaders se muestra en la siguiente figura.

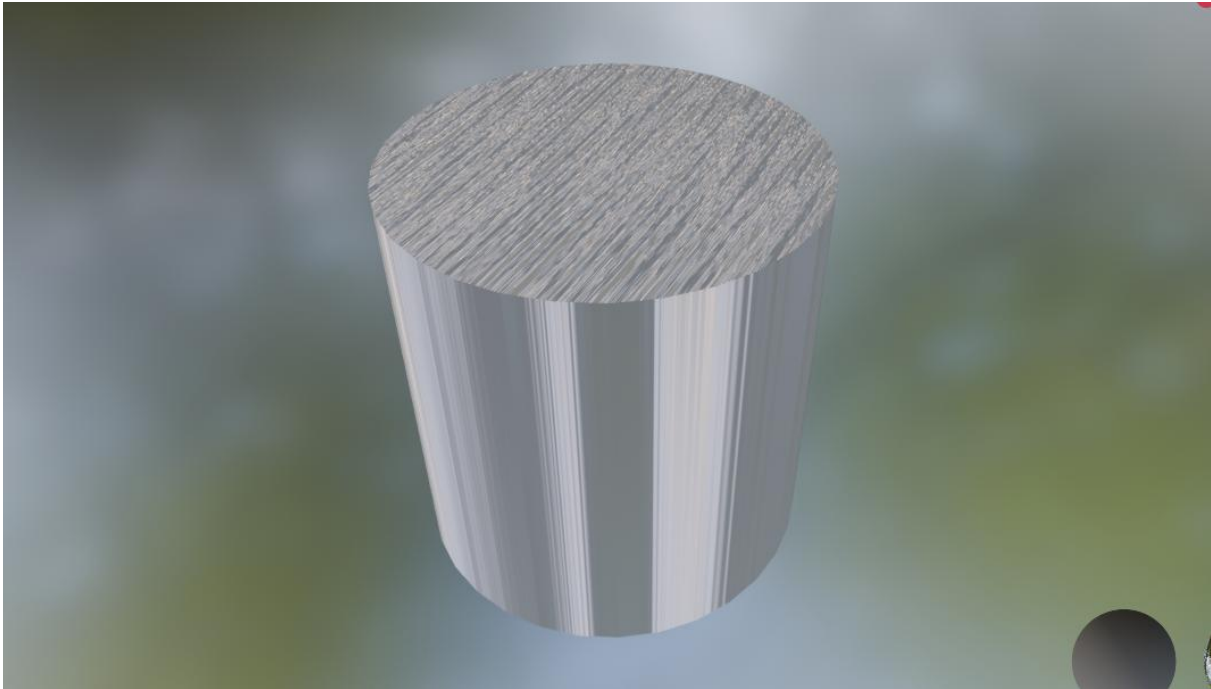


Figura 43. Probeta con los shaders.

Una vez se terminó de configurar los materiales visuales y antes de proceder al texturizado, es necesario generar el **mapa UV** del modelo. El mapeo UV es el proceso de proyectar la superficie tridimensional de un objeto sobre un plano bidimensional, asignando a cada vértice coordenadas en los ejes U y V.

Estos ejes representan el espacio de la textura en 2D, diferenciándose de los ejes X, Y, Z que describen la geometría en 3D. Gracias a este procedimiento, es posible “desplegar” el modelo como si fuera una plantilla plana, sobre la cual se aplicarán las imágenes de textura. [19]

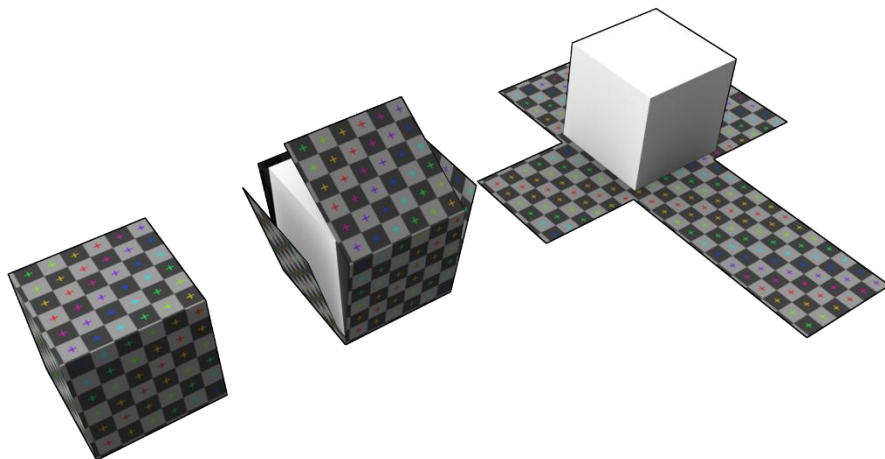


Figura 44. Representación del mapeo UV de un cubo. Fuente [19]

El mapa UV puede generarse mediante las herramientas propias del software de modelado, manualmente por el modelador/artista o una combinación de ambos.

Usualmente el mapa es generado automáticamente por el software y el artista realiza los ajustes necesarios para optimizar el uso del espacio⁷. [19]

Las texturas generadas son imágenes que tienen una cantidad finita de **píxeles**⁸, por lo que, mientras más eficiente sea la proyección UV, se tendrán mejores resultados al texturizar.

En la Figura 45 se muestra un uso ineficiente del espacio para el mapa UV y en la Figura 46 se muestra una distribución eficiente del espacio, tomando como ejemplo una cara de la probeta.

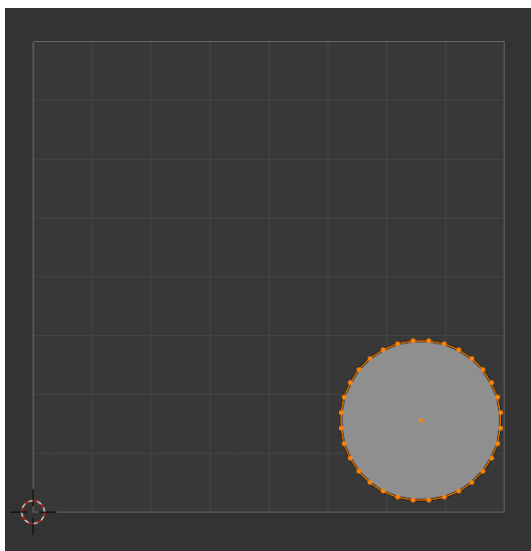


Figura 45. Mapa UV ineficiente de una cara de la probeta.

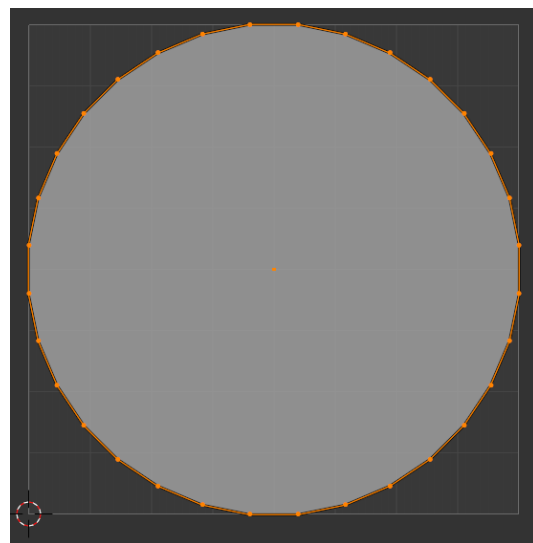


Figura 46. Mapa UV eficiente de una cara de la probeta.

Ahora, con los mapas UV correctamente proyectados⁹, se procedió a generar las texturas, estas son imágenes 2D generadas mediante la herramienta de **Bake** de Blender. Este proceso consiste en proyectar la información visual del material, como color, relieve y propiedades de superficie, sobre el mapa UV previamente desplegado, generando así texturas listas para su uso en otros entornos o motores gráficos.

⁷ El mapa UV es una imagen con un tamaño definido, es importante que el mapeo se distribuya por toda la imagen de manera eficiente y armónica, sin traslapes y sin exceder el tamaño de la imagen.

⁸ Un píxel es la unidad mínima de una imagen digital, representando un punto de color dentro de una cuadrícula. La combinación de miles o millones de píxeles conforma la resolución de una imagen y determina su nivel de detalle. [43]

⁹ Se requieren tantos mapas como objetos conformen el modelo, por ejemplo, la probeta se dividió en 3 partes (objetos), por lo que, se requieren 3 mapas UV. No obstante, en este caso dos objetos son idénticos (ambas caras de la probeta), en consecuencia, se puede usar el mismo mapa UV y las texturas generadas posteriormente para ambos objetos(caras).

Los tipos de texturas generadas se enlistan a continuación:

1. *Diffuse Map* (o Base Color)

Este mapa representa el color natural del material sin influencia de la luz. Es una imagen en espacio de color sRGB que define el tono visible del objeto, como si fuera una fotografía sin sombras ni reflejos. [14]

2. *Normal Map*

Es un mapa RGB que simula relieve y detalles en la superficie sin modificar la geometría. Utiliza los canales de color para representar direcciones en el espacio (X, Y, Z), lo que permite que la luz interactúe con la superficie como si tuviera textura o volumen. [14]

3. *Metallic Map*

Este mapa distingue entre superficies metálicas y no metálicas. Es una imagen en escala de grises donde el blanco indica zonas metálicas (con reflejos intensos y definidos) y el negro representa materiales dieléctricos (como plástico o piedra). [14]

4. *Roughness Map*

Controla la aspereza de la superficie. En este mapa, los valores oscuros indican superficies lisas y brillantes, mientras que los claros representan superficies rugosas y difusas. Determina la nitidez de los reflejos y el acabado visual del material. [14]

Existen más tipos de texturas que se pueden generar para añadir detalles realistas al modelo, para este trabajo usaremos estos cuatro en los modelos que lo requieran. A continuación, se muestran los mapas de textura generados para las caras de la probeta.

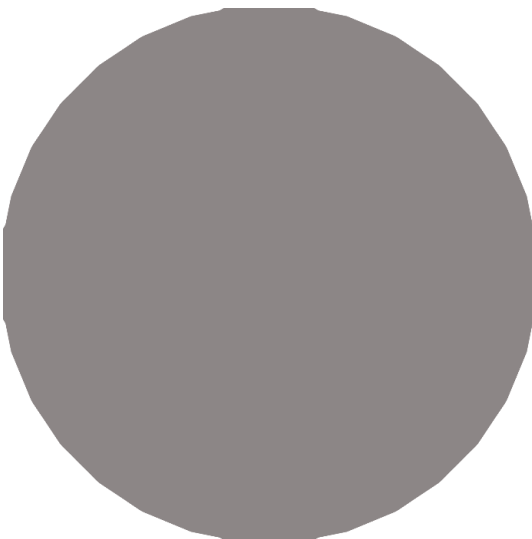


Figura 47. Diffuse map - Caras de la probeta

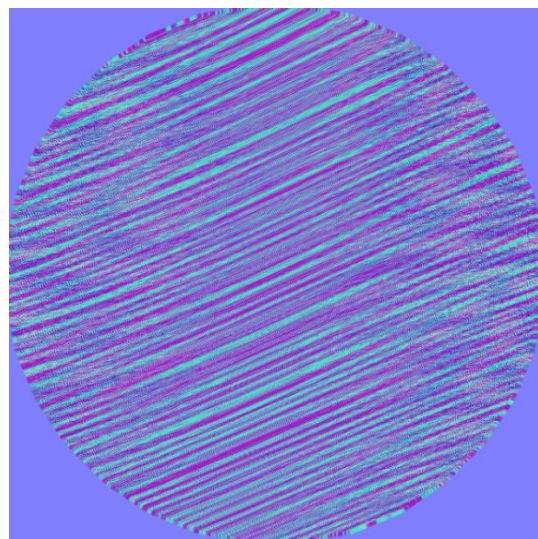


Figura 48. Normal map - Caras de la probeta

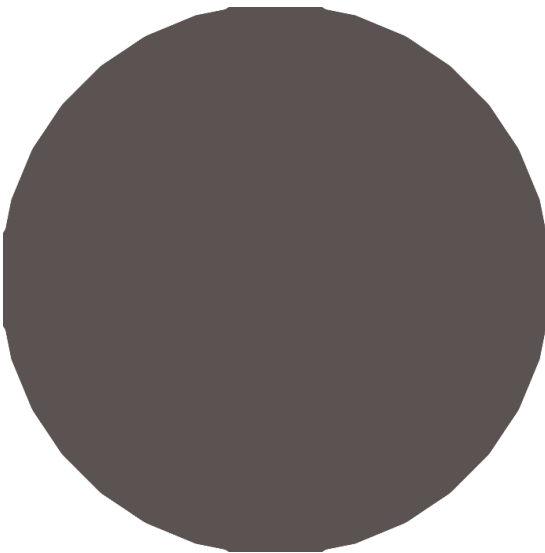


Figura 49. Metallic map - Caras de la probeta

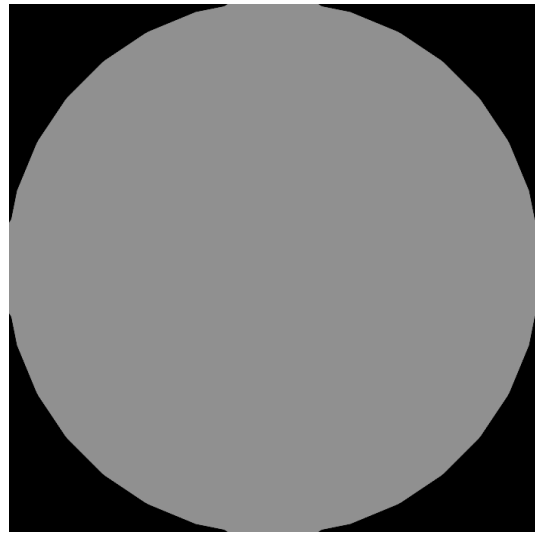


Figura 50. Roughness map - Caras de la probeta

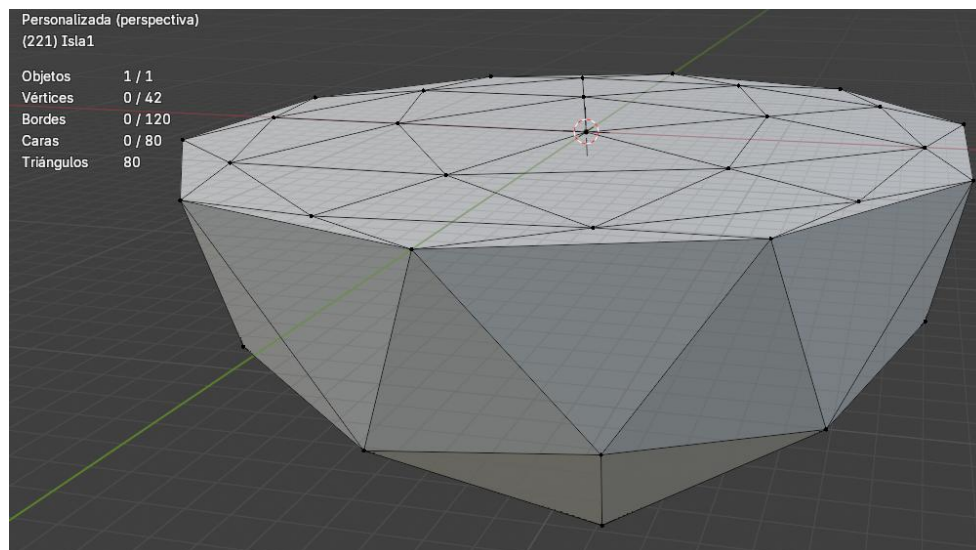
El proceso de generar texturas, también conocido como hornear texturas es poco intuitivo dentro de Blender, ya que de manera nativa no existe una opción directa para realizar este procedimiento, aunque existen add-ons¹⁰ que pueden facilitar este trabajo.

Isla

Para modelar el entorno, se pensó en el estilo que se buscaba tener en el laboratorio, teniendo en cuenta el objetivo de tener un laboratorio que de la sensación de realismo, sin olvidar la libertad estética que la realidad virtual permite. Por ende, se planteó originalmente en tener diversas islas en las cuales tener las distintas etapas de la metalografía, sin embargo, por cuestiones de tiempo, se optó por tener únicamente una isla.

Para generar la isla en la que se desarrollaría la práctica, se utilizó como base una esfera geodésica la cual fue escalada hasta tener un diámetro de 40 [m] (el tamaño es una aproximación del espacio que se va a utilizar, así como una comodidad para trabajar con un modelo de gran escala, sin embargo, sería posible escalarlo nuevamente según evolucionen las necesidades del proyecto), una vez escalada se nivelaron los vértices superiores para generar una plataforma en la que colocar los elementos del laboratorio.

¹⁰ En Blender, los Add-ons son complementos o scripts adicionales que amplían las funciones del programa o simplifican ciertos flujos de trabajo. Pueden estar incluidos en la instalación oficial o ser desarrollados por la comunidad, y se activan desde las preferencias del software. [21]



Con el objetivo de tener mayor libertad al momento de generar la plataforma, y para obtener un estilo más natural, se optó por realizar deformaciones en la maya mediante el uso de la herramienta de **Esculpido**, de la misma manera en la que el microscopio se generó.

Para poder definir las diversas formaciones que una isla de fantasía podría tener, se requirió hacer uso de la opción de **Topología dinámica**; Esta opción es muy útil dentro del modelado de piezas, pues permite generar detalles en la geometría que asemejen patrones generados en la naturaleza. En este caso, se optó por modelar patrones que simulen el flujo de agua en la tierra, la generación de estalactitas por debajo de la isla y las pequeñas irregularidades que el suelo tiene de manera natural.

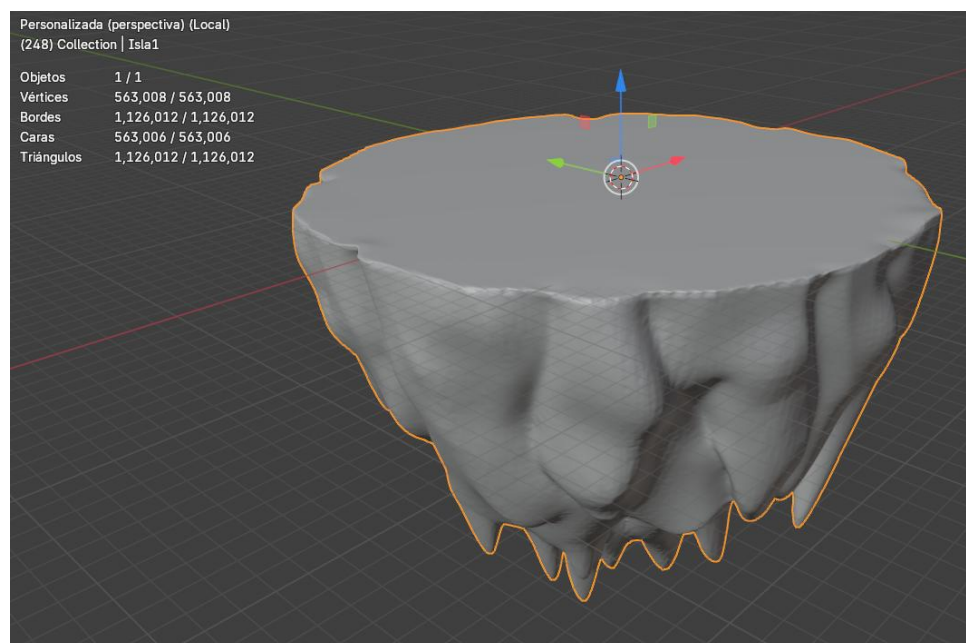


Figura 51. Isla, realizada mediante esculpido con topología dinámica

Una vez definida la geometría, se procedió con la modificación de las UV, tomando en cuenta que las partes más normalmente visibles (la parte superior del modelo) no tuviera geometría superpuesta para evitar problemas a la hora de generar las texturas, y dada la complejidad del modelo, se optó por realizar una **proyección UV inteligente**.

La **proyección UV inteligente** es una herramienta nativa de Blender que permite generar mapas de UV de manera automática, separando la maya según el **ángulo** entre los distintos polígonos de la maya, sin embargo, esto simplemente separa la maya en pequeñas “islas”, sin tomar en cuenta si se superponen o no, por lo que es necesario revisar las islas generadas para evitar errores.

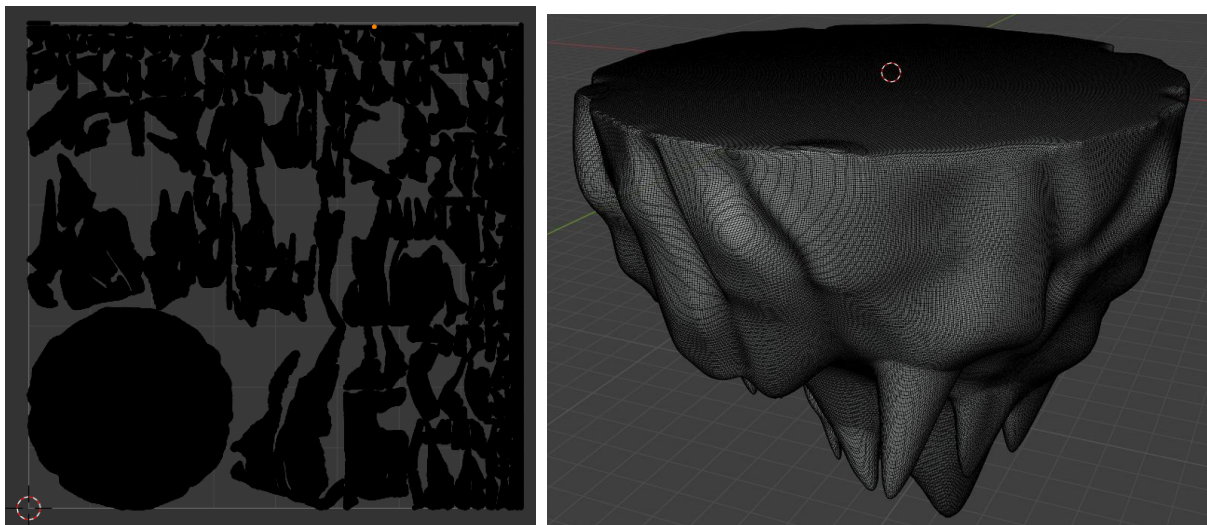


Figura 52. Resultado de la proyección UV Inteligente, a la izquierda, el mapa de UV, a la derecha, la malla del modelo

Una vez definidos los mapas de UV, se hizo uso de la herramienta **Pintar texturas** para generar la textura de la isla,

La herramienta de **Pintar texturas** es una pestaña nativa de Blender que permite modificar el color de una imagen de manera manual, de la misma forma que un software de dibujo convencional, sin embargo, la implementación de esta herramienta permite pintar directamente sobre la geometría, facilitando el proceso de texturizado.

Para los colores, se utilizó principalmente gris, verde y café para dar una estética similar a las que tendrían elementos reales (piedras, pasto, tierra), tomando en cuenta el uso de diversas tonalidades de color para evitar la monotonía en la textura sin llegar a generar una gran cantidad de detalle, pues la isla solo corresponde a un elemento visual en la que la práctica se dará, no a un elemento el cual deba tener una gran resolución y trabajo.

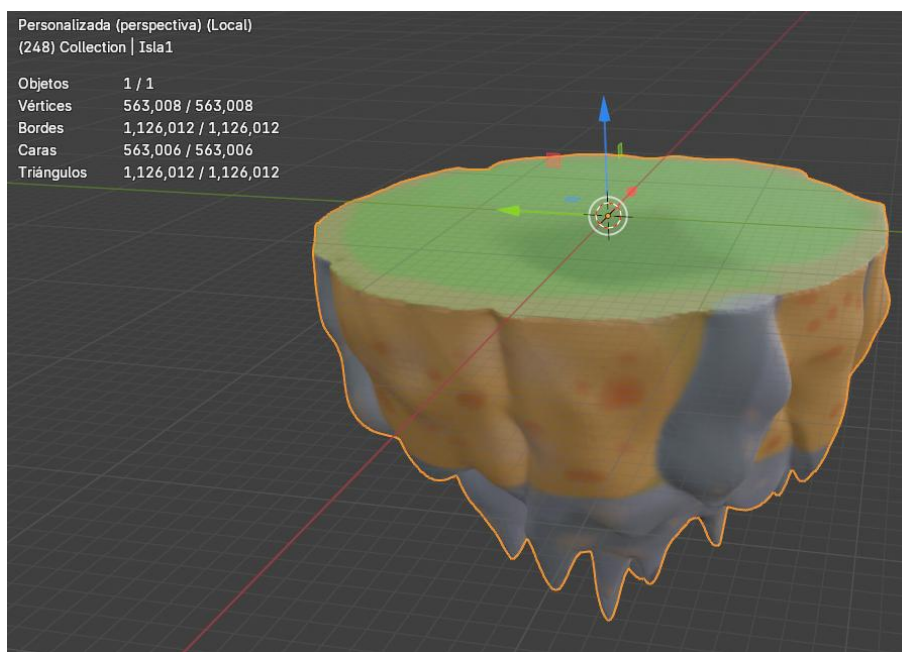


Figura 53. Isla con la textura aplicada

Finalmente, una consecuencia directa del uso de **topología dinámica**¹¹ durante el proceso de esculpido es que la cantidad de polígonos que este modelo tenía se elevó de 16 base a ~1,000,000 polígonos, sin embargo, dada esta gran cantidad de polígonos, el modelo no sería útil dentro del entorno, por lo que utilizaron técnicas de captura de texturas para que un modelo de una mucho menor cantidad de polígonos mantuviera la misma calidad:

Primero, el modelo *Low Poly* “heredará” las características del modelo original. Por ende, se duplico el modelo para poder tener la versión de alta calidad y la de baja calidad (en adelante denominado **Low Poly** por practicidad) en la misma escena y en la misma posición. Posteriormente se le aplico un modificador de **diezmar** configurado con una proporción de 0.005 para reducir la cantidad de polígonos que contenía, y un modificador de **Envolver** al modelo *Low Poly* configurando como objetivo el objeto original. Esto permitió asegurar que su geometría y volumen sea lo más similares al modelo original. la configuración de los modificadores se puede observar en la Figura 54.

¹¹ La topología dinámica es una herramienta de esculpido en Blender que ajusta automáticamente la densidad de la malla durante el modelado, añadiendo polígonos solo en las áreas donde se requiere mayor detalle. Su uso facilita la creación de formas orgánicas, aunque incrementando considerablemente la cantidad de polígonos del modelo en el proceso.

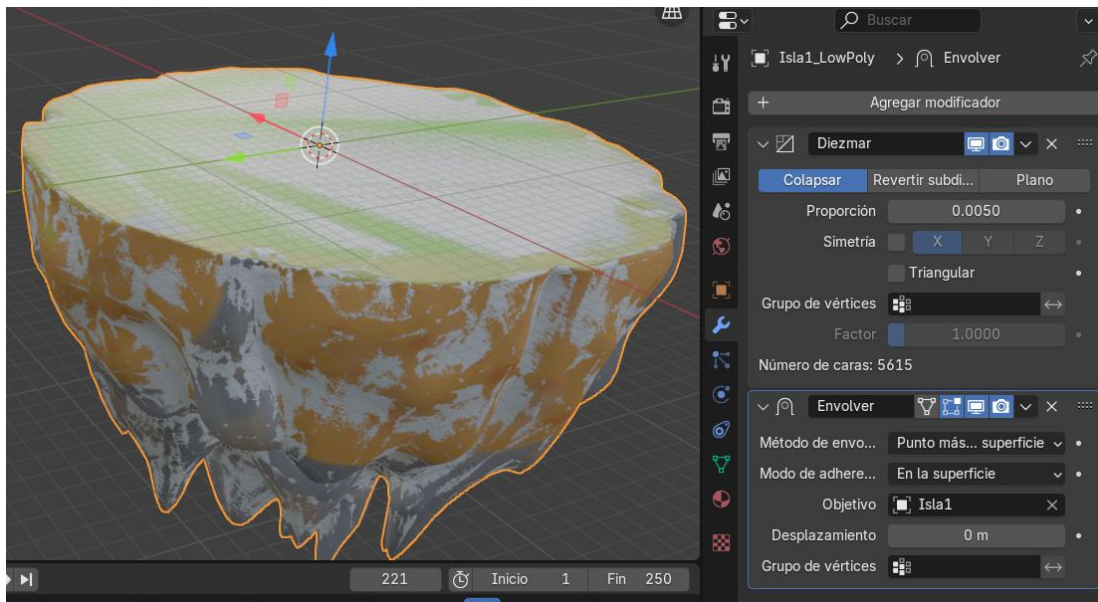


Figura 54. A la izquierda, los 2 modelos superpuestos, a la derecha, los modificadores agregados al modelo Low Poly y sus parámetros.

Una vez igualadas las características geométricas, es necesario pasar las características visuales de la versión original a la versión *Low Poly*, por lo que seleccionando el objeto *Low Poly*, se procede a usar la herramienta de **shading**.

Para comenzar, se agregaron 2 nodos de **textura por imagen**, el primer nodo mantendrá la configuración por defecto y se utilizará para almacenar la información de color del modelo original; Al segundo nodo se le cambió el espacio de color a “Datos”, pues este se utilizará para almacenar la información del mapa de normales del modelo; A continuación, se agrega un nodo de **mapa de normales**, el cual se encarga de modificar las normales de un modelo mediante los datos de una textura.

Prosiguiendo, se realizan las conexiones al nodo de BDSF Principista para que las texturas finales se puedan observar en el modelo *Low Poly*, realizando las conexiones como se muestra en la Figura 55.

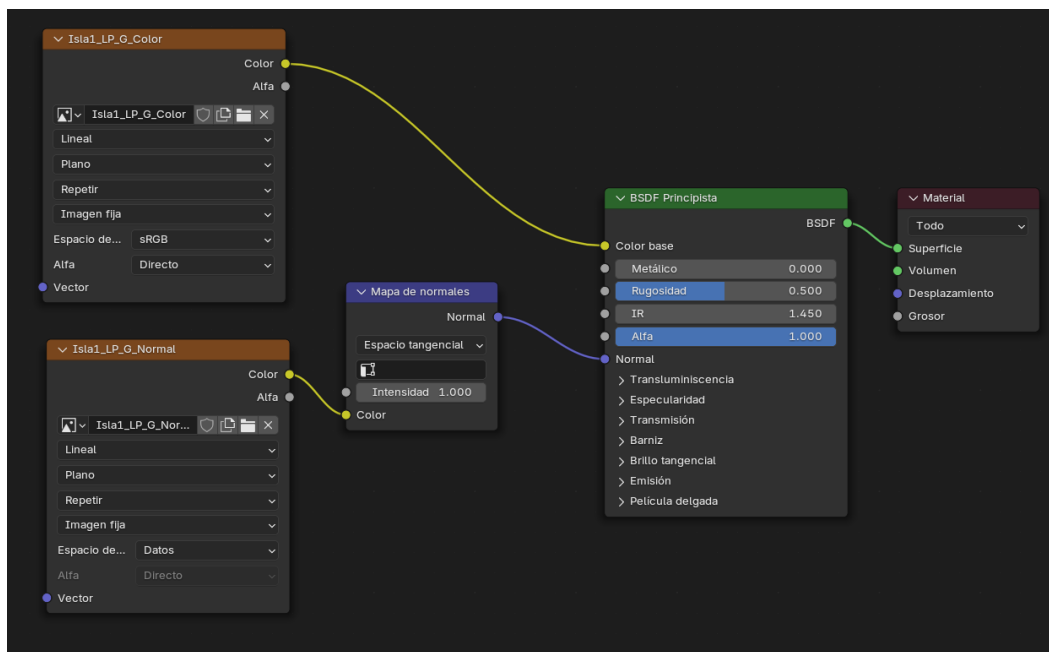


Figura 55. Conexiones en la pestaña de shading del objeto Low Poly

Una vez configurado el material, se procede a un proceso de **horneado de texturas** (*texture baking*) dentro de Blender. Para esto, en la escena se selecciona el objeto original y el objeto *Low Poly* en orden, en el que los objetos se seleccionan es crucial, puesto que este último será el objeto al que las texturas serán aplicadas. A continuación, se selecciona el nodo de textura por imagen con el espacio de color sRGB, y en la pestaña de propiedades, se selecciona la escena y se cambia la opción de **motor de procesamiento** a *Cycles*, debido a que es el único motor nativo de Blender que nos permite generar el horneado de texturas.

El **procesamiento** en Blender (también llamado **renderizado**) es un proceso que nos permite “convertir una escena 3D en una imagen 2D” [16] mediante la aplicación de iluminación y materiales, en este caso, utilizado para capturar la información del modelo.

Para esto, se selecciona el menú de “Capturar”, dado que se busca capturar los datos de color del objeto, se selecciona la opción de “**Difusión**” en tipo de captura, finalmente se selecciona la opción “**seleccionados a activo**”, opción que permite traspasar los datos de color de los mapas de textura de los objetos seleccionados al último objeto seleccionado (en este caso, permite pasar los datos del objeto original al *Low Poly*) y se presiona el botón **Capturar** para efectuar la operación.

Una vez obtenidos los datos de color, se repiten el procedimiento modificando la opción de “Difusión” por “Normal” y seleccionando el nodo de textura por imagen asociado a el nodo de mapa de normales.

De esta forma, el modelo *Low Poly* mantiene la apariencia detallada del modelo original, con la ventaja de tener una maya con un inferior número de polígonos, la comparativa entre el modelo original y el modelo *LowPoly* respecto a la cantidad de polígonos y la complejidad de mallas se puede ver en la Figura 56.

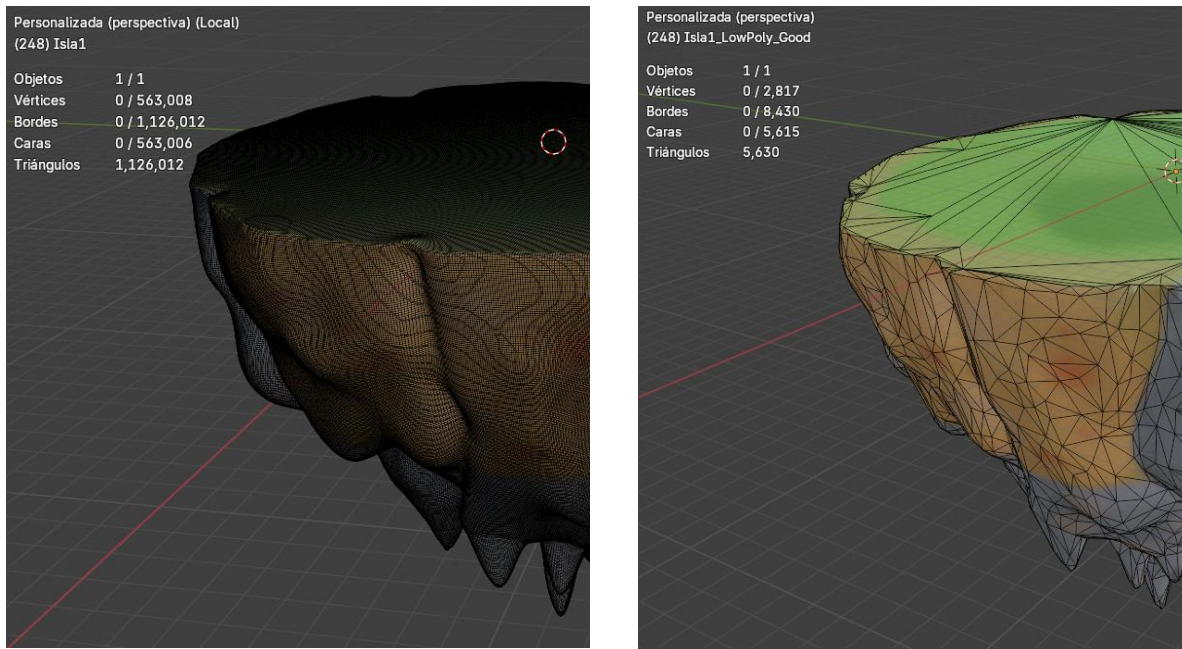


Figura 56. Comparativa de modelo original y de modelo final

Desbastadora / Pulidora

Dentro del laboratorio real de metalografía, el equipo de desbaste y el equipo de pulido son básicamente el mismo modelo, simplemente cambia material del objeto montado en el rotor (lija para desbaste, paño para pulido), gracias a esto se puede diseñar un solo modelo 3D y realizar pequeñas modificaciones según corresponda.

Para modelar la desbastadora¹², se partió de una foto tomada del laboratorio de ingeniería de materiales de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, la fotografía en cuestión se muestra en la Figura 57. A partir de esta imagen se comenzó un proceso de modelado en Blender.

¹² De ahora en adelante y hasta terminar esta sección de “Diseño y optimización de Modelos 3D”, cada que se mencione desbastadora queda implícito que también se hace referencia a la pulidora.



Figura 57. Fotografía de una desbastadora disponible en el laboratorio de Ingeniería de Materiales de la Facultad de Ingeniería - UNAM

Es posible profundizar y ofrecer una explicación detallada del proceso de diseño y modelado 3D, sin embargo, este modelo y la mayoría de los modelos de esta tesis siguieron una estrategia de **modelado poligonal**; Dicha consiste en manipular vértices, caras y aristas de una **mallá primitiva** para dar forma a modelos más complejos. Las mallas primitivas disponibles en Blender se muestran en la Figura 58.

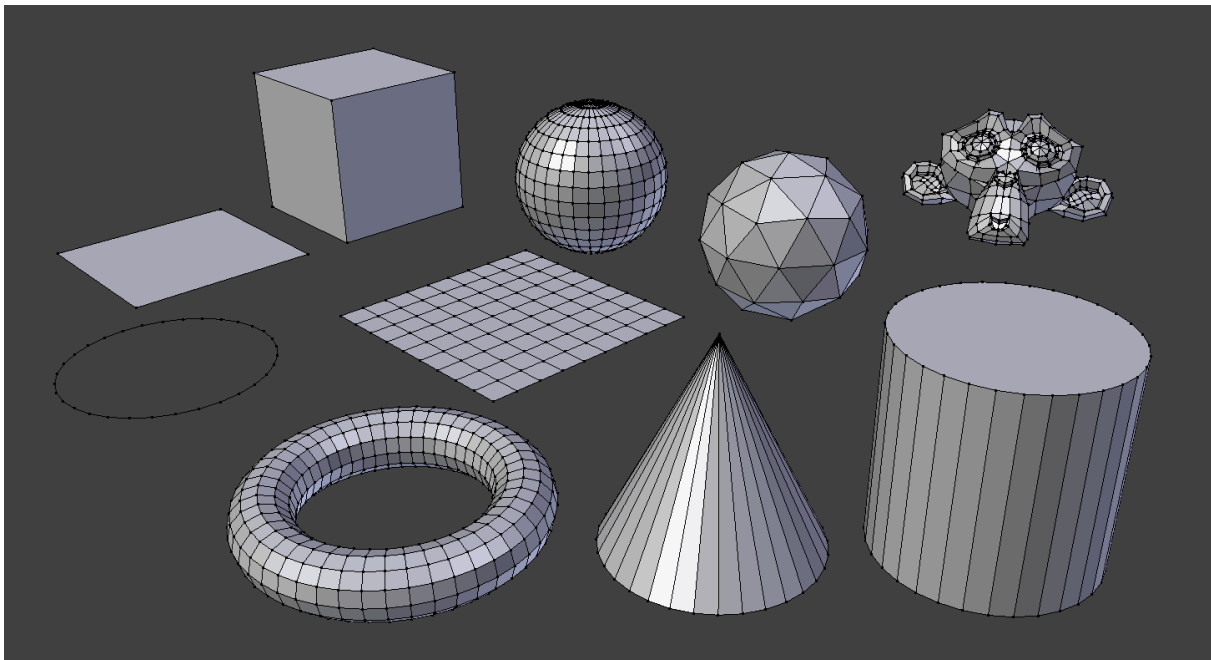


Figura 58. Primitivas estándar de Blender. Fuente [23]

El uso de mallas primitivas y modelado poligonal es ampliamente utilizado por artistas 3D, ya que su uso ofrece un punto de partida estándar con el cual es posible construir casi cualquier objeto y permite tener un control de **topología**¹³ desde el inicio, lo cual favorece tener una malla limpia y optimizada.

Antes de continuar, es importante señalar que los modelos 3D se realizaron con un enfoque **lowpoly**, el modelado *lowpoly* consiste en crear modelos 3D con una cantidad relativamente baja de polígonos y es ampliamente aplicado en la industria de los videojuegos y aplicaciones de ejecución en tiempo real; Por el contrario, el modelado **highpoly** busca una alta cantidad de polígonos y se aplica principalmente en la industria de la animación o efectos especiales, donde no se renderiza nada en tiempo real.

La razón de esto es simple, en una malla poligonal de un modelo 3D, cada polígono puede tener cualquier cantidad de lados, sin embargo, estos polígonos se dividen en triángulos para su visualización. De manera general, mientras más triángulos tenga una malla, más detalles tendrá, pero demandará mayores recursos computacionales. [24]

El modelo 3D de la desbastadora se presenta en la Figura 59, en este punto ya tiene los materiales aplicados, a diferencia de la probeta (visualmente más compleja) aquí se aplicaron materiales sencillos (donde únicamente se varía el color) a cada objeto. Visualmente es bastante similar a la desbastadora usada de referencia, no obstante, la malla de modelo está formada por una alta cantidad de triángulos.

¹³ En el ámbito de modelado 3D se refiere a la manera en que los vértices, aristas y caras están organizados para formar un modelo. [22]

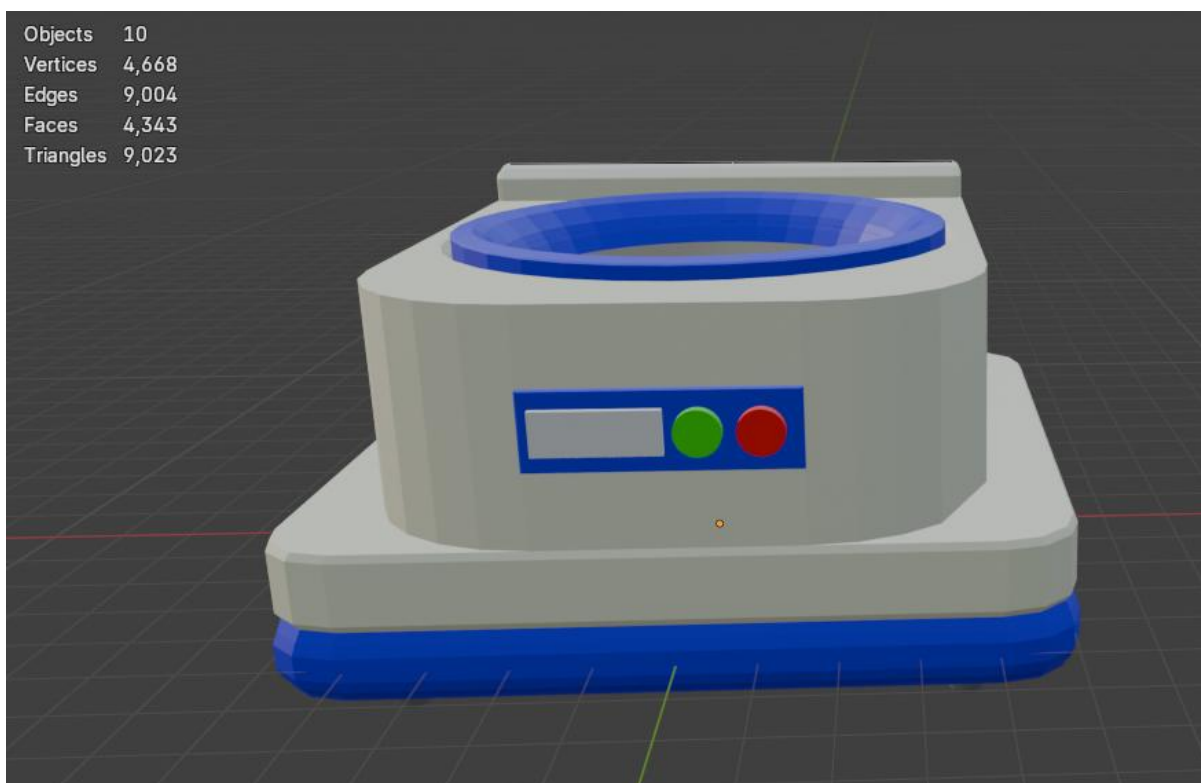


Figura 59. Modelo 3D inicial de la desbastadora con materiales aplicados.

Realmente no existe un parámetro definido que permita establecer si un modelo 3D es **lowpoly** o no lo es, de hecho, es un concepto que varía entre hardware e incluso época. Por ejemplo, un modelo considerado *highpoly* en un videojuego para *smartphone*, al implementarlo en una computadora pasaría a ser *lowpoly*, esto por las diferentes capacidades graficas de los dispositivos.

El desarrollo del entorno virtual de metalografía se apoyó en VRChat Creator Companion (VCC), una herramienta desarrollada por VRChat que proporciona los paquetes necesarios para gestionar proyectos de VRChat dentro de Unity. La documentación de VRChat recomienda menos de 250,000 triángulos totales para los mundos¹⁴ cuya plataforma de destino sea Android. [25]

Tal como se mencionó al inicio de este capítulo, los sistemas de salida objetivo serán Windows y Android, generalmente los dispositivos que utilizan sistemas operativos Windows cuentan con una mayor capacidad computacional en comparación de los dispositivos que utilizan Android.

Es por lo anterior que, se estableció un máximo de 5,000 triángulos para los modelos 3D desarrollados.

¹⁴ Los entornos virtuales publicados a través de la plataforma de VRChat reciben el nombre de mundos.

La primera iteración del modelo de la desbastadora excede este límite, dentro de Blender existen múltiples herramientas y modificadores¹⁵ que permiten reducir automáticamente la cantidad de polígonos, si bien estos modificadores ofrecen una solución rápida y efectiva, no se conserva un control total de la malla del objeto.

Para mantener un control total de la malla se realizó una **retopología**. En Blender la retopología se refiere al proceso de simplificar la topología de una malla para hacerla más limpia y fácil de trabajar, se puede realizar a mano manipulando la geometría en el modo de edición o mediante métodos automatizados. [27]

Si bien es más común realizar estos procesos de retopología en topologías esculpidas o generadas, por ejemplo, a partir de un escaneo 3D, esta técnica también es aplicable en modelos que requieren una limpieza y optimización de malla.

En el modelo de la desbastadora se llevó a cabo una retopología manual, removiendo los vértices, aristas y caras con menor peso en la geometría, es decir, que no sean indispensables dentro de la forma original del modelo.

En la Figura 60 se muestra la malla original de la base principal del modelo de la desbastadora, en la parte superior izquierda de la imagen aparecen las estadísticas o datos referentes a la malla del objeto. Esta parte de la desbastadora ya tiene 5,715 triángulos, lo cual ya es más del límite propuesto para los modelos.

La amplia cantidad de polígonos innecesarios en el modelo es resultado de todas las modificaciones que sufrió la malla durante el proceso de modelado, ya sea mediante los modificadores incluidos en Blender o por ajustes manuales. Este tipo de geometrías poco optimizadas genera dificultades durante el texturizado y, además, incrementa el peso del modelo, afectando negativamente el rendimiento en aplicaciones de ejecución en tiempo real.

¹⁵ En Blender, los modificadores son operaciones automáticas y no destructivas que alteran la geometría de un objeto. Se aplican en una “pila de modificadores” y permiten generar, deformar u optimizar modelos sin modificar directamente la malla base. [26]

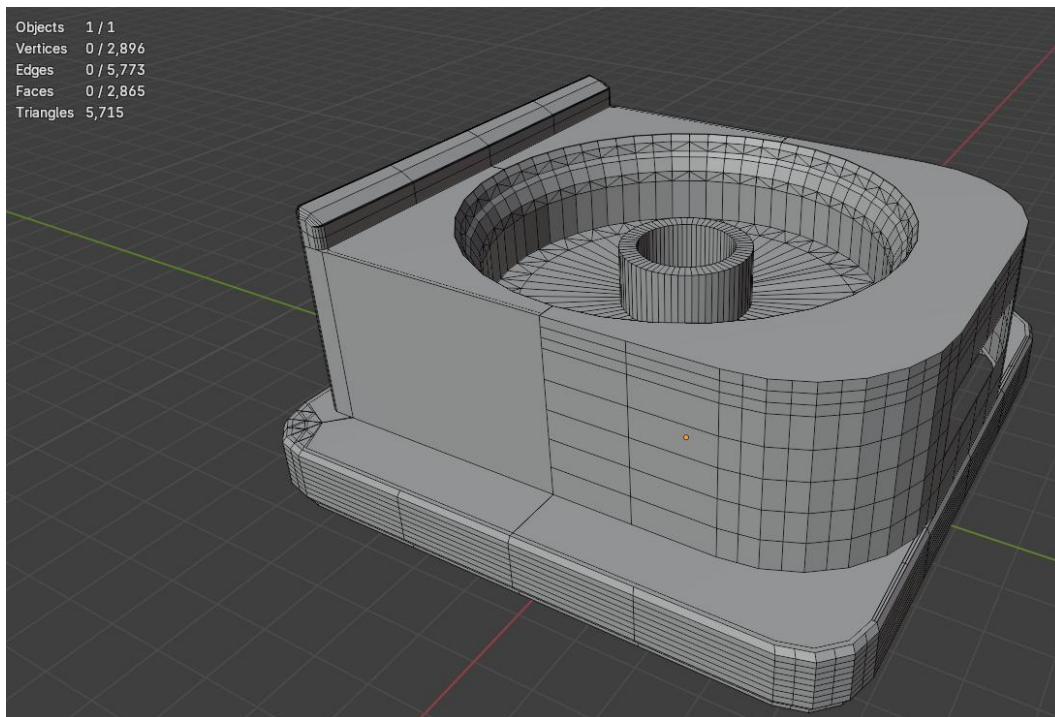


Figura 60. Malla de la base del modelo de la desbastadora.

Para optimizar la malla y reducir la cantidad de polígonos se realizó una retopología manual, eliminando los polígonos que poco aportaran a la forma original del modelo. Después de realizar esta limpieza de malla se logró reducir 538 triángulos para la malla base de la desbastadora, tal como se muestra en la Figura 61.

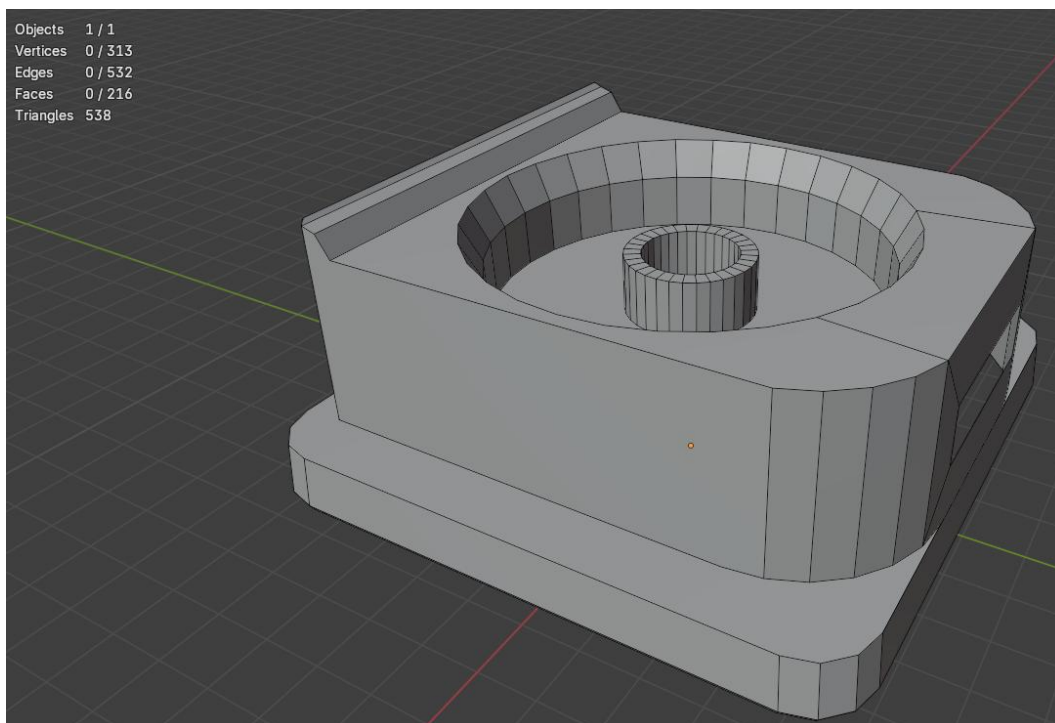


Figura 61. Malla de la base del modelo de la desbastadora. Después de la retopología.

El modelo completo inicial de la desbastadora se muestra en la Figura 62, aquí es observable la malla resultante que forman los 10 objetos que integran a la desbastadora.

En total el conteo de polígonos triangulares asciende 9,023.

En la Figura 63 se tiene la versión final del modelo, donde se alcanzó una reducción del 76%, es decir, se redujo a 2,238 la cantidad total de triángulos.

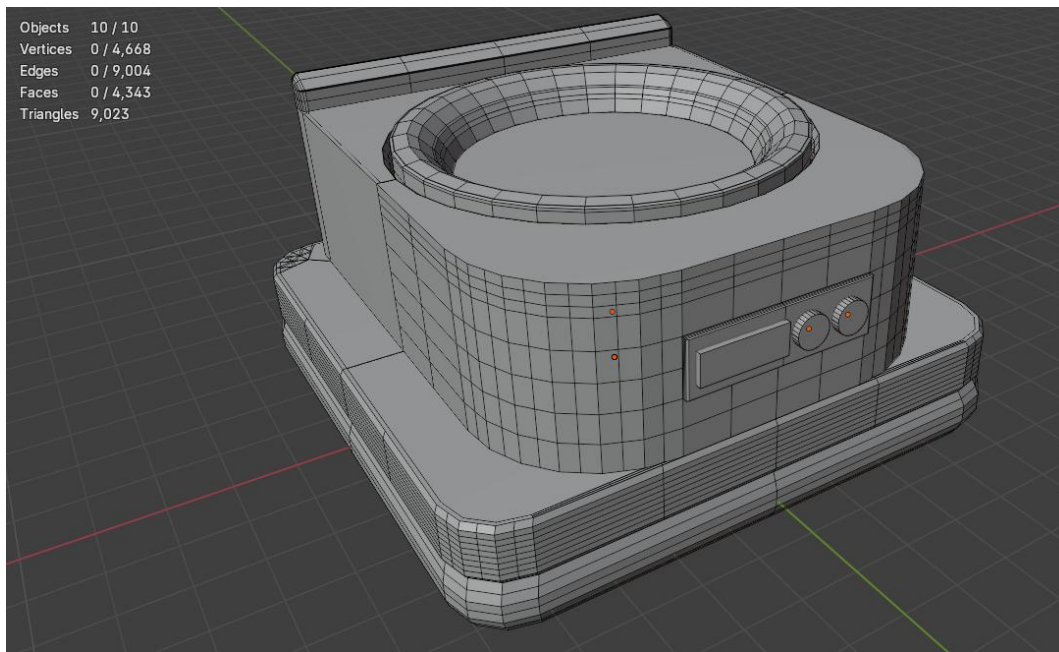


Figura 62. Malla completa del modelo de la desbastadora.

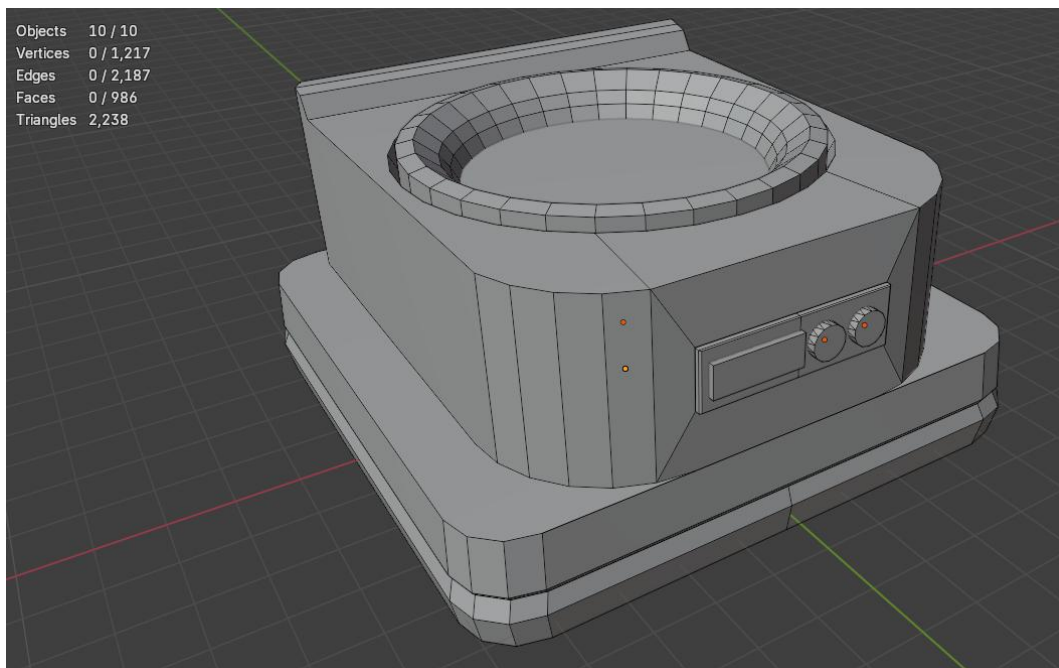


Figura 63. Malla completa del modelo de la desbastadora después de la retopología.

Después de terminar el modelo de la desbastadora se realizaron las mismas actividades que en los anteriores modelos, es decir, verificar una correcta orientación de normales y hacer una corrección en caso de ser necesario, además de arreglar el mapeo de UV para cada parte del modelo. El modelo final se muestra en la Figura 64.

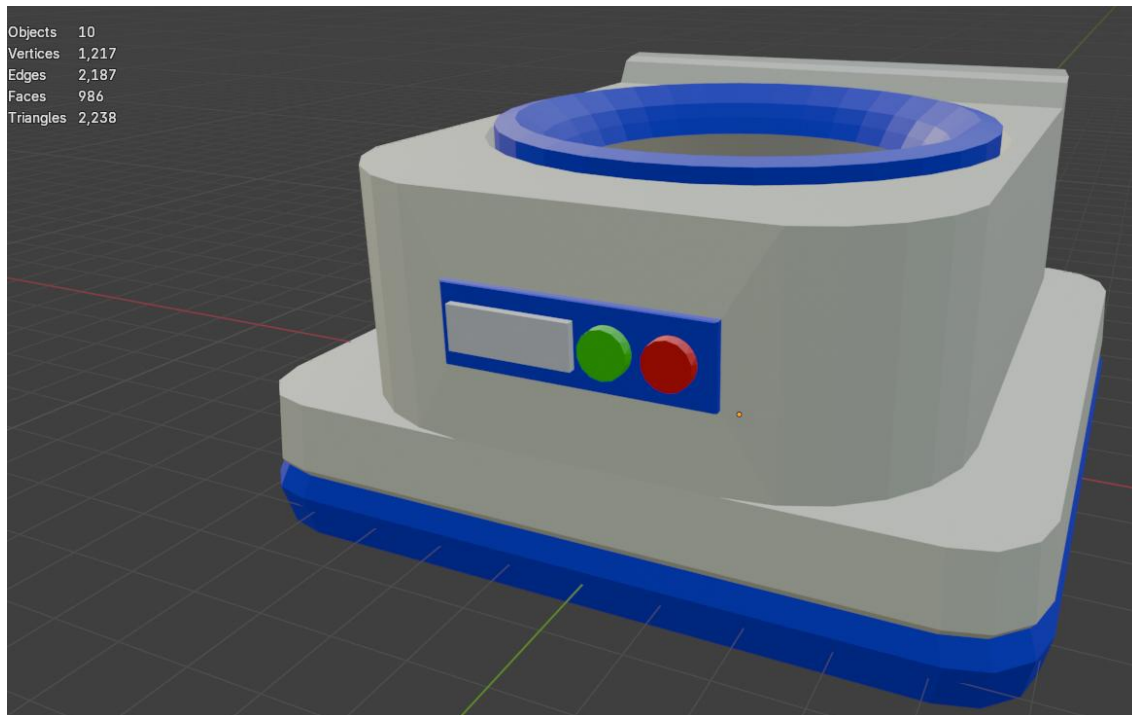


Figura 64. Modelo final de la desbastadora visto en Blender.

Por último, hay que mencionar que la desbastadora cuenta con algunas partes dinámicas en el mundo real como lo son el rotor, los botones, la pantalla o *display* y el Anillo de protección¹⁶, estos elementos se muestran en la Figura 65 y su funcionalidad será implementada posteriormente dentro de Unity.

¹⁶ Objeto que ayuda a asegurar la lija y evitar que sea eyectada por el movimiento rotatorio, y evita que objetos externos interfieran con el funcionamiento del rotor. El funcionamiento de este objeto está repartido en 2 objetos en la vida real, pero por simplicidad se optó por darle las 2 características a este objeto.

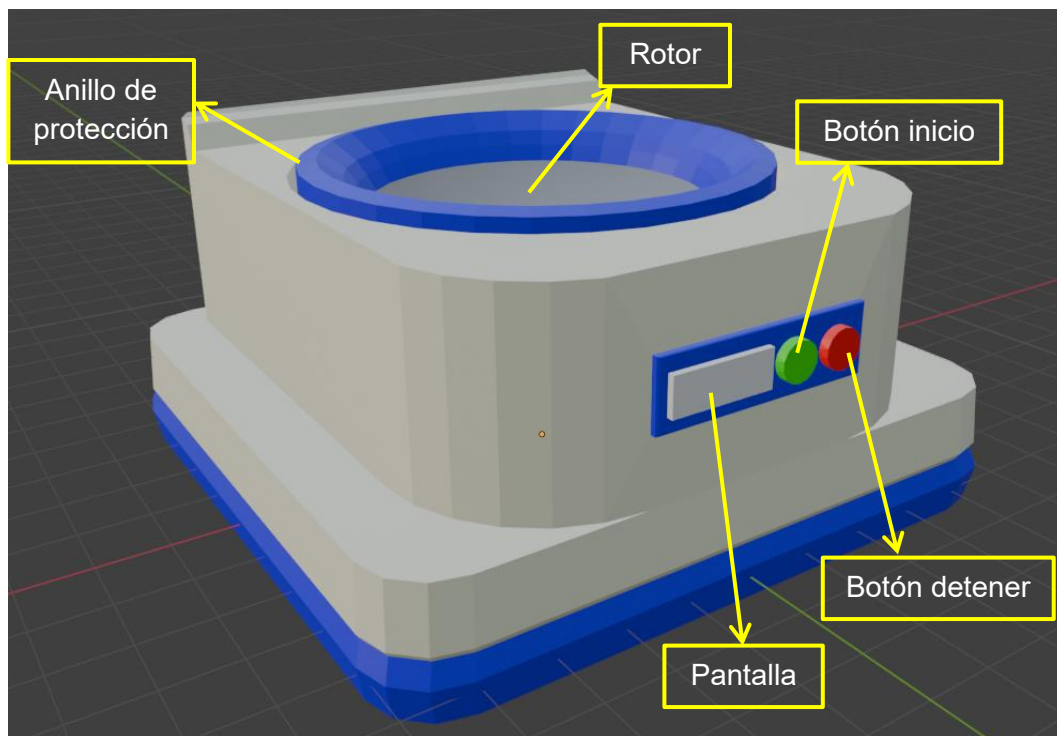


Figura 65. Elementos dinámicos de la desbastadora.

Microscopio

El microscopio del laboratorio forma parte de la etapa final, correspondiente con la observación microscópica. Para crear este modelo, al igual que sucedió con la desbastadora, se modeló a partir de una fotografía tomada del microscopio empleado en la práctica real de metalografía, la imagen usada de referencia se muestra en la Figura 66.



Figura 66. Fotografía del microscopio usado como referencia durante el modelado 3D.

El resultado del modelado poligonal se muestra en la Figura 67, un detalle importante del modelo son los **oculares**, a diferencia del microscopio real que tiene un ocular para cada ojo, el microscopio virtual integra un ocular rectangular para ambos ojos. Esta decisión se tomó después de ver el desempeño del microscopio usando los dos oculares clásicos en realidad virtual.

Después de realizar unas pruebas iniciales manteniendo los dos oculares, se concluyó que representa un reto para los usuarios sacar provecho de ambos oculares, es decir, posicionar correctamente los ojos para ver a través de los oculares, además, aunque el usuario estuviera en la posición correcta, aun se debía trabajar la imagen mostrada al usuario para asemejar el resultado visto a través de un microscopio real.

Los motivos anteriores llevaron a la decisión de modificar la forma de los oculares, esto posteriormente favoreció la ergonomía en los usuarios y facilitó la implementación en Unity de la observación metalográfica a través del ocular.



Figura 67. Modelo 3D del microscopio highpoly sin optimizar.¹⁷

¹⁷ Los materiales (colores y aspecto) asociados al microscopio se asignaron de forma manual para cada parte del modelo.

Otro detalle importante que se nota del modelo anterior es su cantidad de polígonos, superando los 30,000 triángulos. Si entramos a la vista **wireframe**¹⁸ en Blender, se notan geometrías aberrantes y saturadas en varias partes, una muestra de esto se observa en la Figura 68.

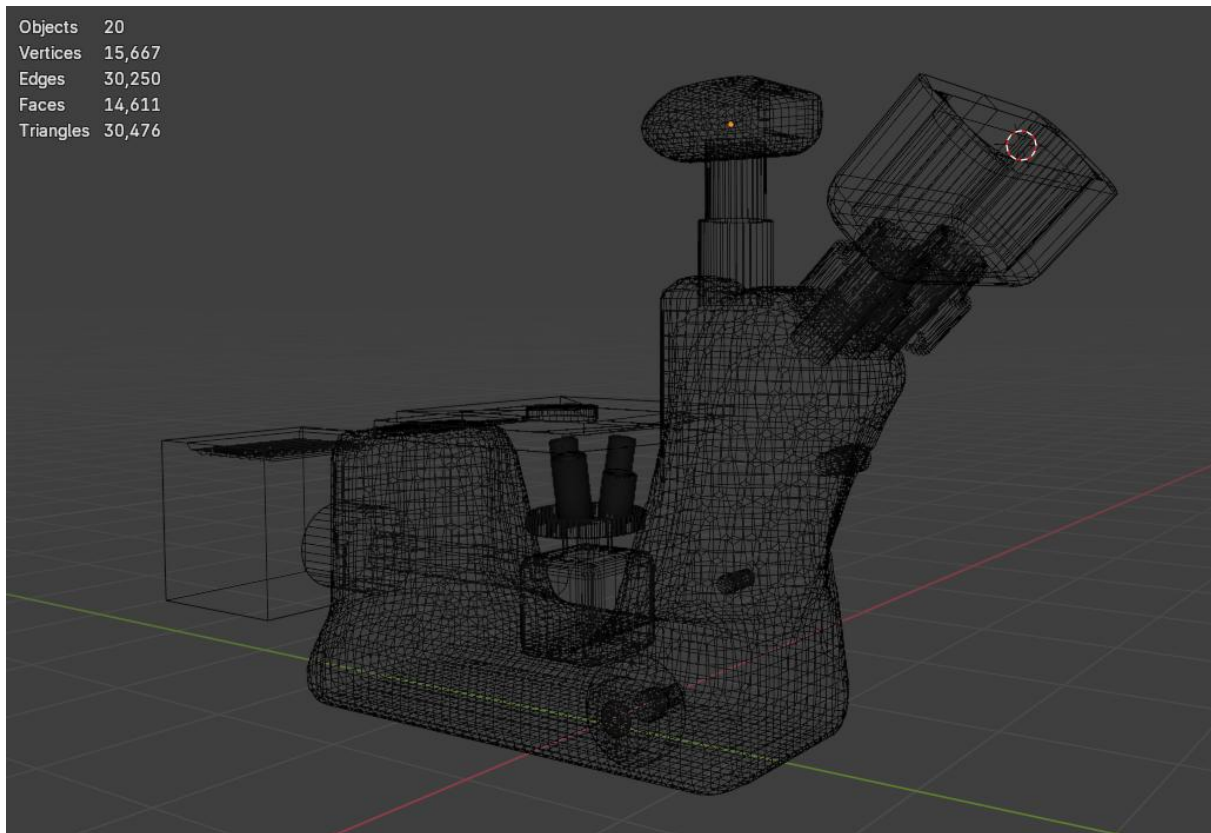


Figura 68. Modelo 3D del microscopio high poly sin optimizar y con la vista wireframe activada.

El modelo anterior paso por un proceso de limpieza y optimización de malla. El resultado se puede visualizar en la Figura 69, se alcanzó una reducción poligonal del 70%, teniendo finalmente 9,048 triángulos y a través de la vista del **wireframe** en la Figura 70, se verifica que la malla del modelo se encuentra limpia y optimizada.

El modelo actual aún cuenta con más polígonos de los deseados¹⁹, sobrepasa un 40% la meta propuesta. Es posible reducir aún más la cantidad de polígonos, sin embargo, podría empezar a perderse la forma del microscopio y ese tampoco es el objetivo.

En lugar de seguir diezmando²⁰ el microscopio, se implementará una técnica de optimización que es muy empleada en la industria. El **Level Of Detail** (LOD), traducido

¹⁸ La vista **Wireframe** en Blender permite visualizar únicamente las aristas de los objetos, facilitando la inspección de la topología sin interferencias de sombreado o materiales. [30]

¹⁹ Se estableció un máximo de 5,000 triángulos para cada modelo.

²⁰ Realizar una reducción poligonal.

al español como “Nivel De Detalle” permite cambiar la malla que se renderizan durante la ejecución del juego. Este cambio de malla se hace de manera automática dependiendo de la distancia a la que se encuentre la cámara del usuario.



Figura 69. Modelo 3D del microscopio high poly optimizado.

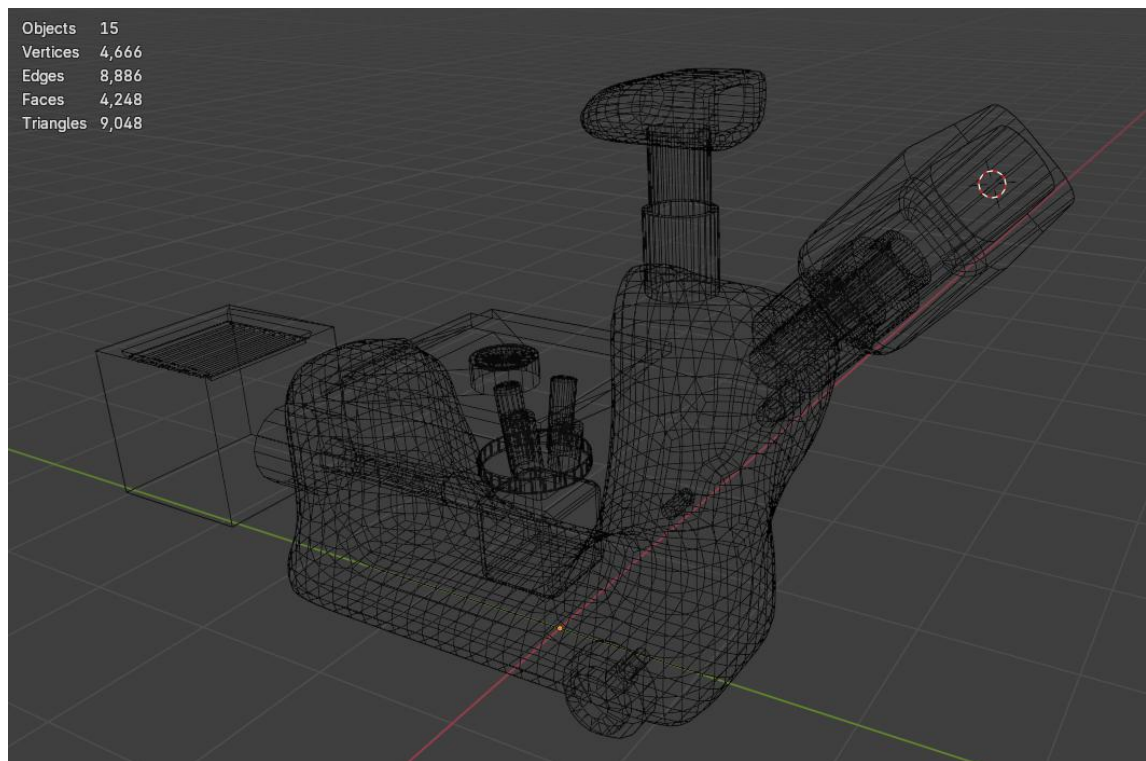


Figura 70. Modelo 3D del microscopio high poly optimizado y con la vista wireframe activada

La manera correcta de usar el LOD es renderizar mallas con menor densidad poligonal mientras más alejado este el usuario del objeto que tiene el LOD, es decir, si se quiere que un objeto o modelo en Unity tenga LOD, cada objeto que compone el modelo debe tener su malla original y variantes con menos polígonos. Habrá tantas versiones de una malla como niveles de detalle se deseen implementar.

Para implementar de manera más sencilla el LOD se redujo la cantidad de objetos que componen al modelo, de las 18 partes originales, varias fueron agrupadas y finalmente se redujeron a 3 objetos fundamentales (lente, la base completa y el revólver). Estos objetos se muestran en la Figura 71, Figura 72 y Figura 73 respectivamente.

La ventaja de reducir la cantidad de objetos que componen el modelo es que también se redujo el número de mallas que se deben generar para los niveles de detalle.

En el caso del lente no es necesario crear versiones reducidas de la malla, puesto que ya de por sí tiene muy pocos polígonos.

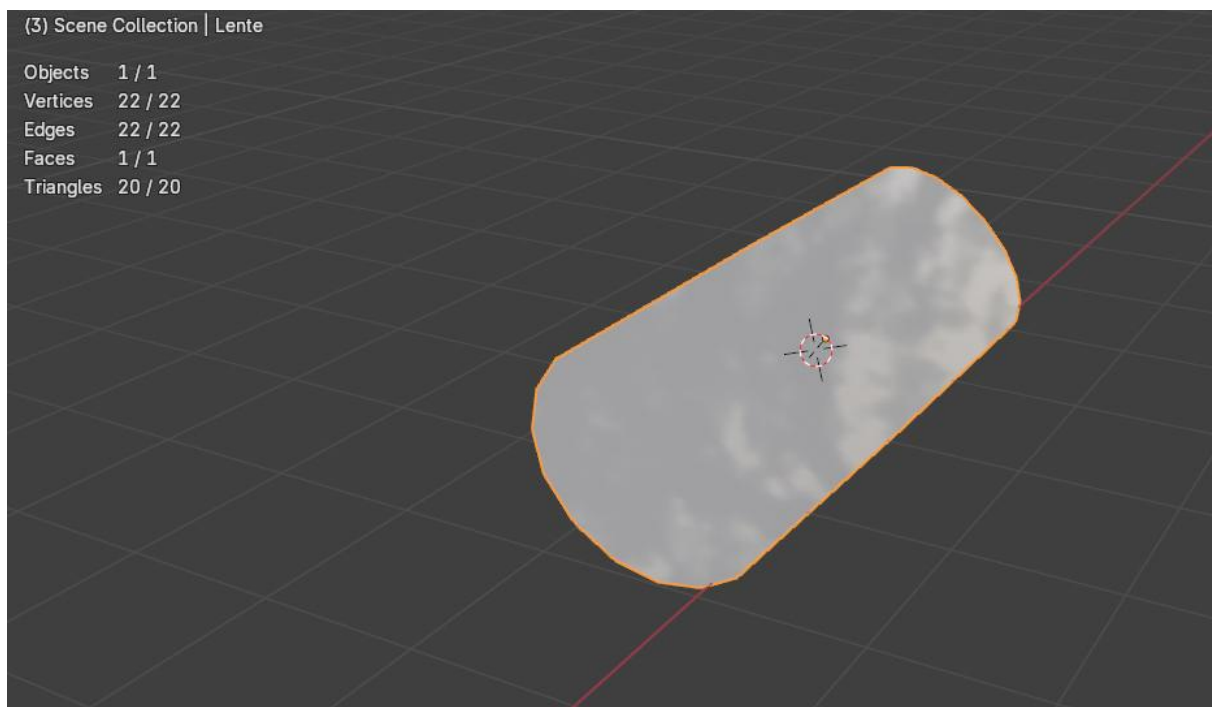


Figura 71. Objeto lente del modelo 3D del microscopio.

Antes de continuar es necesario mencionar no se agrupó todo el modelo del microscopio en un solo objeto para mantener el revólver (un objeto móvil) separado de los elementos estáticos (el resto del microscopio). Esto porque de estar todo el microscopio integrado en un objeto, no sería posible mover individualmente el revólver.

La base completa del microscopio y el revólver son los objetos con mayor densidad poligonal, de estos elementos se harán 2 mallas adicionales para cada uno (2 niveles de detalle para cada objeto) y sus respectivas texturas.



Figura 72. Objeto base completa del modelo 3D del microscopio.

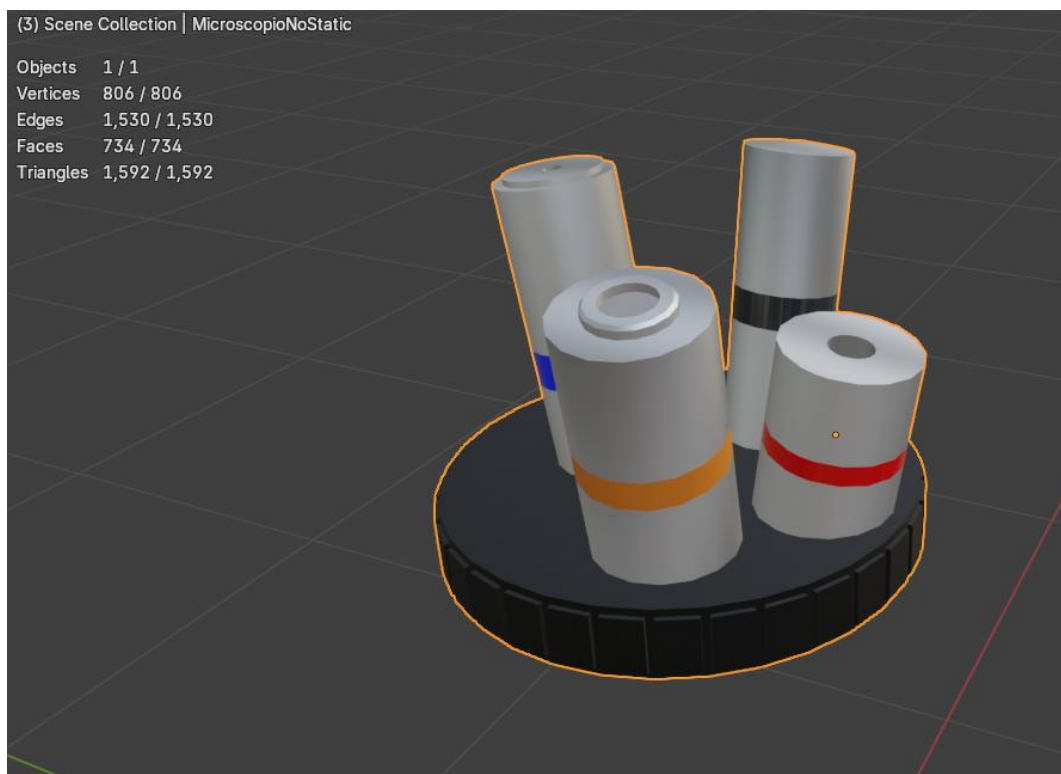


Figura 73. Objeto revólver del modelo 3D del microscopio.

Enseguida se muestra el ejemplo de cómo se generan las mallas y texturas para el revólver.

Primero se generan las mallas de los objetos reducidas, a la malla con más polígonos se le denomina LOD 0, a la subsecuente con mayor cantidad de polígonos se le denomina LOD 1 y así sucesivamente. Nuestro modelo solo llegara hasta LOD 2, los objetos que serán usados para cada LOD se muestran en la Figura 74, Figura 75 y Figura 76.

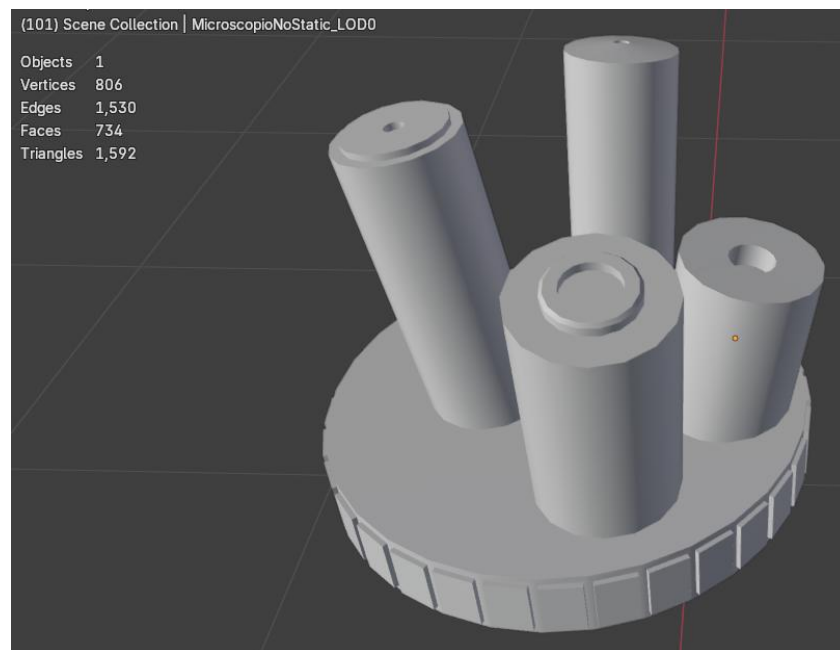


Figura 74. LOD 0 Revólver, 1,592 triángulos.

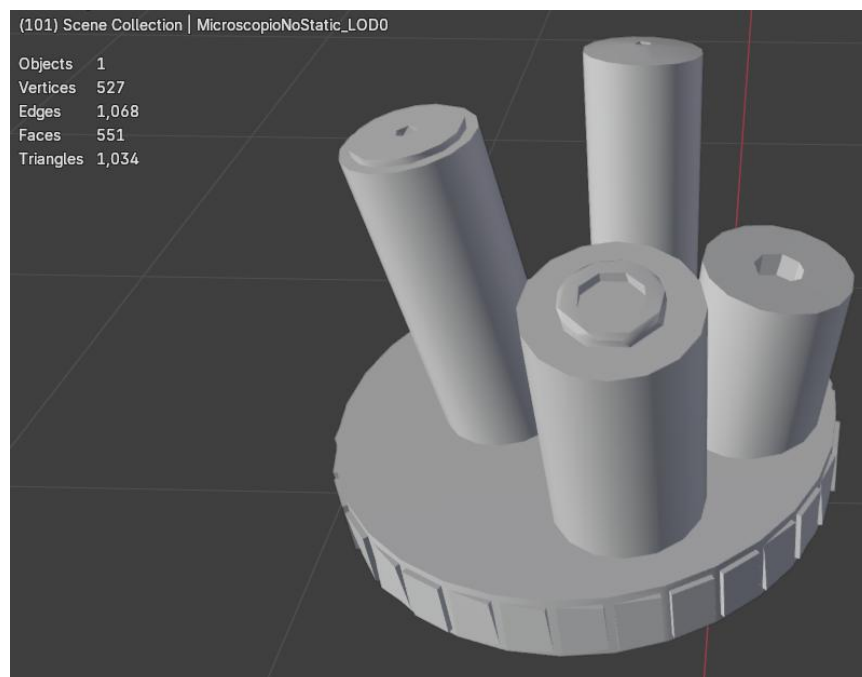


Figura 75. LOD 1 Revólver, 1,034 triángulos.

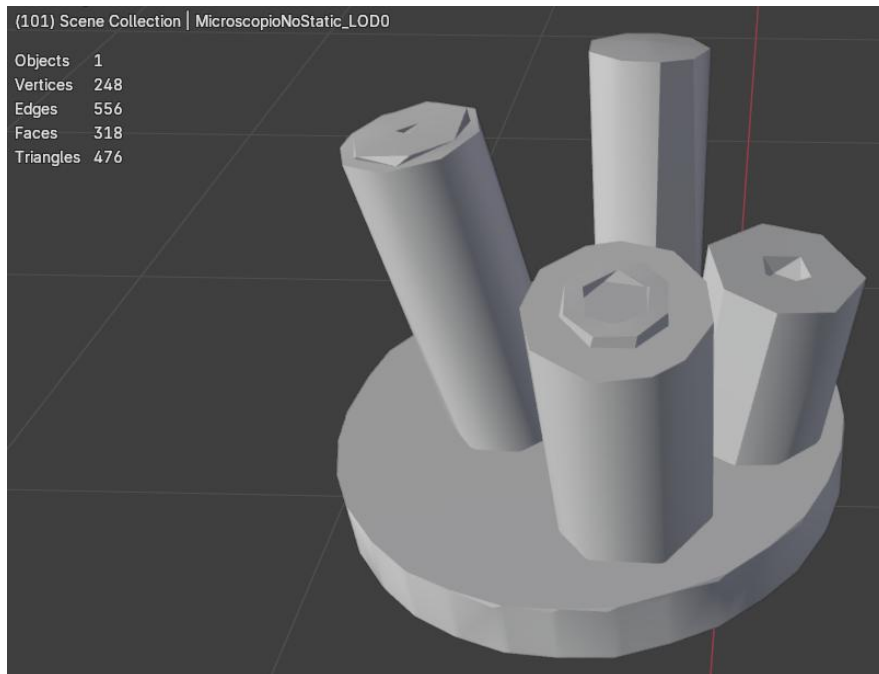


Figura 76. LOD 2 Revólver, 476 triángulos.

El proceso de texturizado se realiza de manera similar al mostrado en la Isla. Las texturas aplicadas a las diferentes mallas del revólver se muestran en la Figura 77, Figura 78 y Figura 79. Estas texturas se configuraron con una profundidad de 8 bits, 4 canales y 4096 x 4096 píxeles.

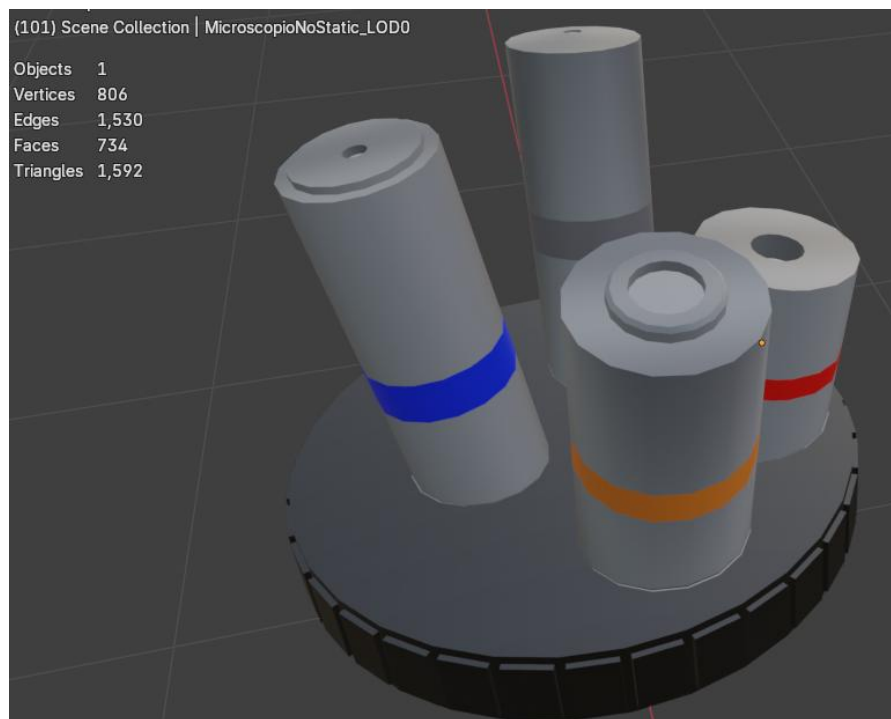


Figura 77. LOD 0 Revólver con textura aplicada.

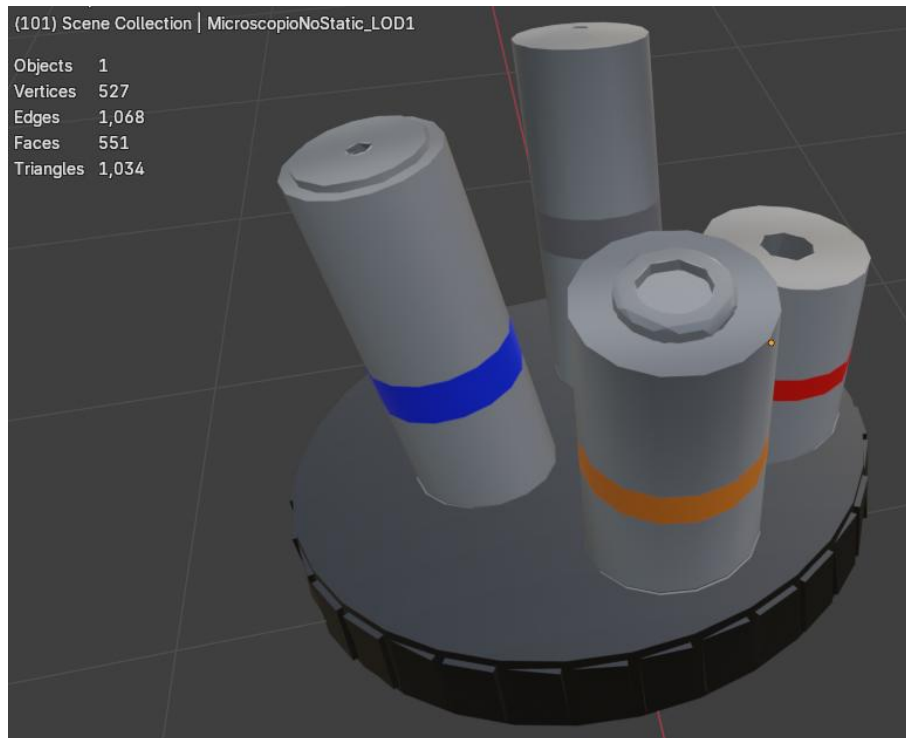


Figura 78. LOD 1 Revólver con textura aplicada.

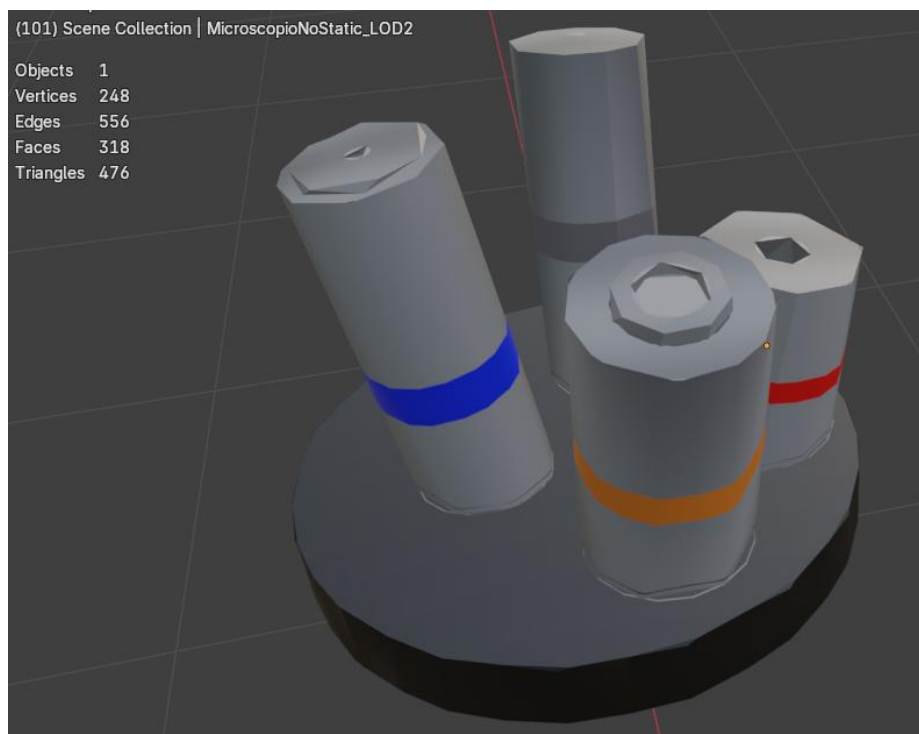


Figura 79. LOD 2 Revólver con textura aplicada.

Se realizó el mismo procedimiento descrito con anterioridad para generar los niveles de detalle del objeto base del microscopio.

De acuerdo con la documentación de VRChat los mundos compilados para dispositivos Android no pueden tener un peso superior a 100 MB. El peso de un mapa de textura (imagen) depende de la resolución (ppi²¹), número de canales²² (RGB, RGBA, etc.) y la profundidad de bits por canal.

La profundidad de bits por canal determina cuánta información puede almacenar cada componente de color (rojo, verde, azul y alfa) en una textura. Por ejemplo, una imagen en formato RGBA con 8 bits por canal puede representar hasta 256 niveles de intensidad por componente, lo que equivale a 32 bits por píxel (8 × 4). Este valor se traduce directamente en el peso de la textura. [29]

Para calcular el espacio que ocupa una textura se puede usar la siguiente fórmula:

$$Tamaño_{Textura}[KB] = \frac{Píxeles\ por\ textura[1] \cdot bytes\ por\ píxel[B]}{1,024[1]}$$

Donde:

Píxeles por textura[1] es la cantidad total de píxeles que tendrá la imagen, este valor es adimensional, por ejemplo, para una imagen de 1024 x 1024 píxeles:

$$Píxeles\ por\ textura = 1024 \cdot 1024 = 1,048,576$$

bytes por píxel[B] es la cantidad de bytes de memoria que almacenará la información para cada píxel, este valor está en unidades de bytes. Para calcularlo es necesario saber la cantidad de bits por canal y la cantidad de canales, por ejemplo, para 8 bits por canal y 4 canales:

$$bytes\ por\ píxel[B] = 8[bits] \cdot 4[1] = 32[bits] \cdot \left(\frac{1[byte]}{8[bits]} \right) = 4[bytes]$$

1,024[1] es el factor para convertir Bytes a Kilobytes.

Entonces, una imagen de 1024 × 1024 píxeles, 8 bits por canal y 4 canales (RGBA) ocupa aproximadamente 4 MB de almacenamiento en disco.

$$Tamaño_{Textura}[KB] = \frac{1,048,576 \cdot 4}{1,024} = 4096[KB] \cdot \left(\frac{1[MB]}{1024[KB]} \right) = 4[MB]$$

²¹ El término ppi (pixels per inch) se refiere a la densidad de píxeles en una imagen digital, indicando cuántos píxeles hay por cada pulgada. [28]

²² Cada textura está compuesta por canales que almacenan información específica, por ejemplo, en una textura de 3 canales (RGB) cada canal codifica un color (R-Rojo, G-Verde, B-Blue). En una textura de 4 canales (RGBA) los tres primeros canales funcionan igual que el ejemplo anterior, y el cuarto canal codifica la Transparencia (A).

En Blender la mayoría de las texturas se hornean usando 8 bits por canal y únicamente se recomienda usar 32 bits para texturas normales, esto por la gran cantidad de información que se necesita almacenar en estas texturas. [20]

A medida que se incrementa la profundidad de bits, el tamaño de la textura se multiplica proporcionalmente, lo que puede comprometer el rendimiento en entornos de ejecución en tiempo real como VRChat

Para evitar este tipo de problemas, una vez que las texturas están listas para su exportación, es posible configurar los parámetros correspondientes y aplicar compresión para reducir su peso final. Este procedimiento se realiza accediendo a la pestaña de imagen y seleccionando la opción “Guardar como” (ver Figura 80). Al hacerlo, se despliega un panel de configuración (ver Figura 81) que incluye diversas opciones de exportación. El parámetro que debe ajustarse en este contexto es el de “compresión”, el cual permite disminuir la cantidad de información almacenada sin comprometer significativamente la calidad visual de la textura.

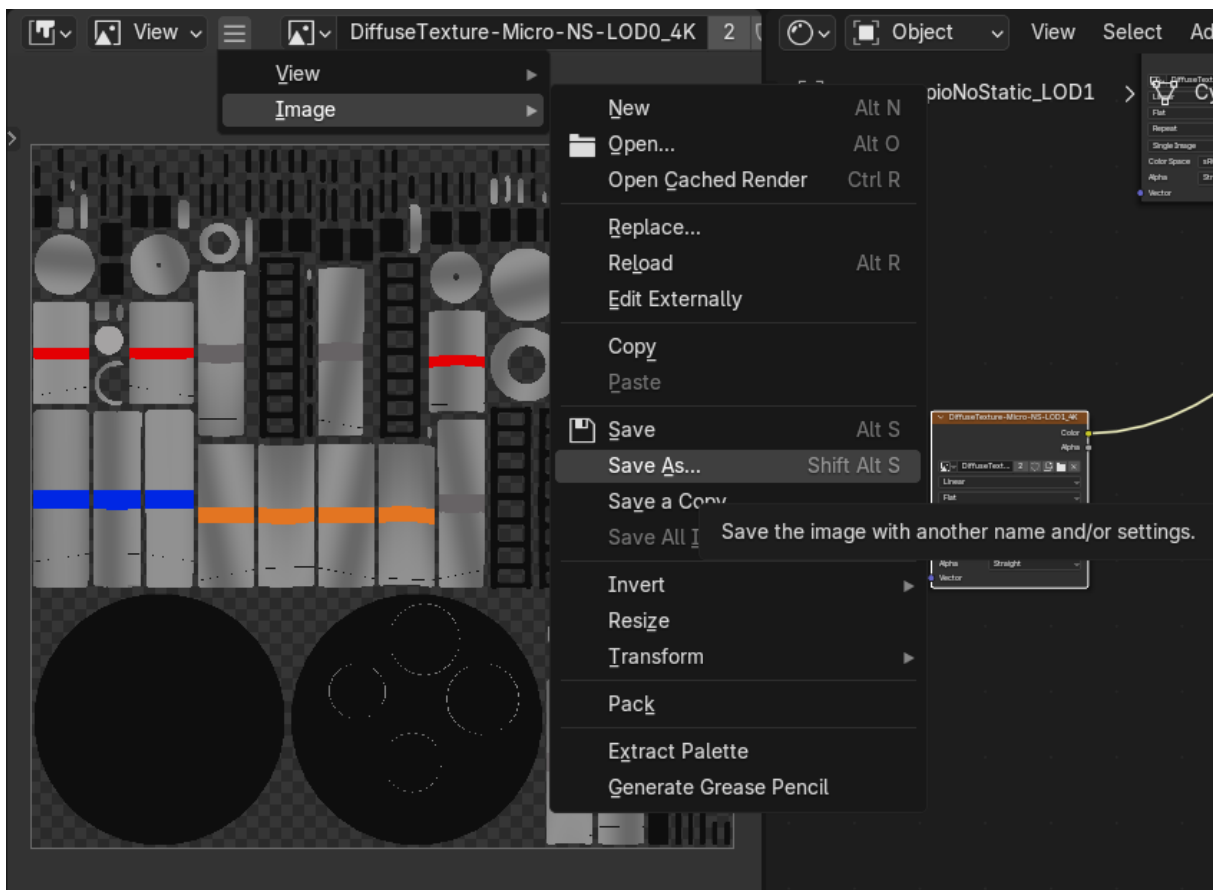


Figura 80. Acceso al panel para exportar imágenes de Blender.

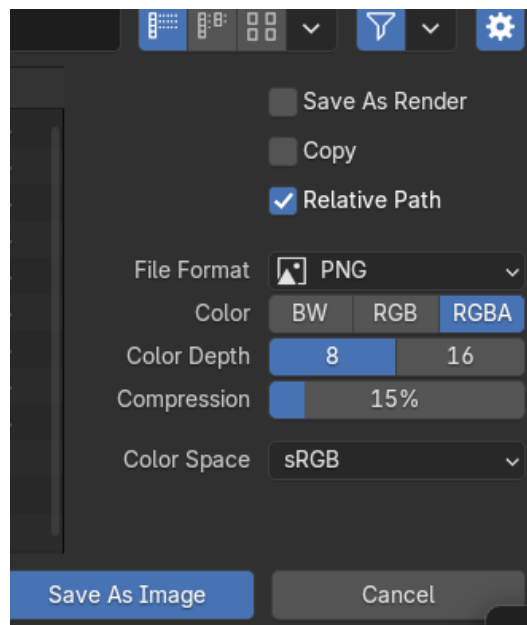


Figura 81. Opciones para exportación de imágenes de Blender.

En la Figura 82 tenemos una de las texturas generadas para el revólver, a esta imagen no se le aplicó compresión y tiene un peso de 65 MB. En la Figura 83 está la misma textura con una compresión del 15%, su peso es de 0.97 MB. La reducción es significativa y se aplicó la misma compresión para todas las texturas.

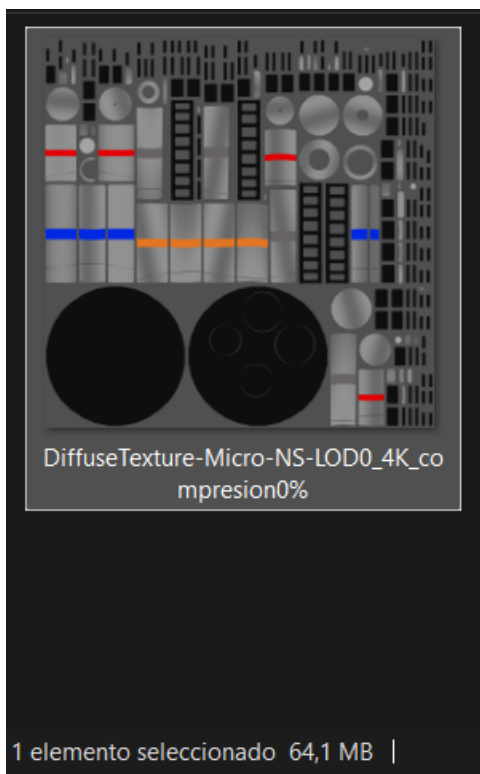


Figura 82. Diffuse texture del revólver del microscopio a un nivel de detalle 0. Sin compresión al exportar.

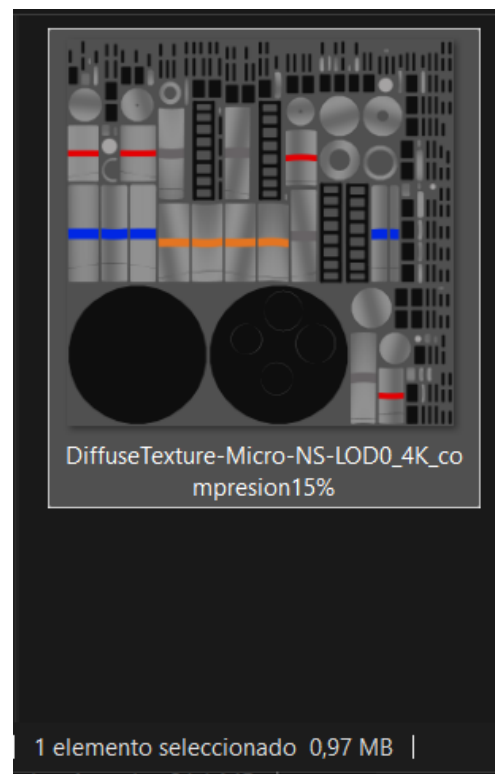


Figura 83. Diffuse texture del revólver del microscopio a un nivel de detalle 0. Compresión del 15%.

Además de los modelos presentados hasta este momento, se diseñaron más que cumplen diferentes roles dentro del laboratorio virtual, estos modelos se muestran a continuación y fueron modelados usando las herramientas y técnicas ya descritas.

Piseta de laboratorio (Botella de laboratorio)

Dentro del equipo de laboratorio presente en la práctica, se nos proporcionaron diversos contenedores con líquidos para las distintas etapas. Estos correspondían a agua, alúmina gris, alúmina blanca, alcohol y nital. Debido a esto, se decidió hacer un mismo modelo para todas las pisetas en conjunto, lo que permitió reducir la cantidad de modelos a realizar, mientras que la homogeneización de las pisetas permite mantener su expectativa funcional y flexibilidad a la hora de la programación. Por ende, se comenzó por modelar los objetos tomando como referencia la Figura 84.



Figura 84. Pisetas de laboratorio de alúmina gris y blanca

Dados los distintos líquidos que la piseta podría contener, se optó por dividir el modelo en 3 objetos distintos, el primero sería el contenedor del líquido, y correspondería al envase en el que el líquido estaría contenido y tendría una textura similar al plástico, el segundo correspondería a la etiqueta y tendría un color sólido blanco, en esta posteriormente se indicaría que tipo de líquido contiene, y por último el propio líquido, cuya malla estaría contenida dentro del contenedor, y su material se modificaría dentro del editor Unity, obteniendo así, un modelo versátil y ligero, el resultado se puede observar en la Figura 85.

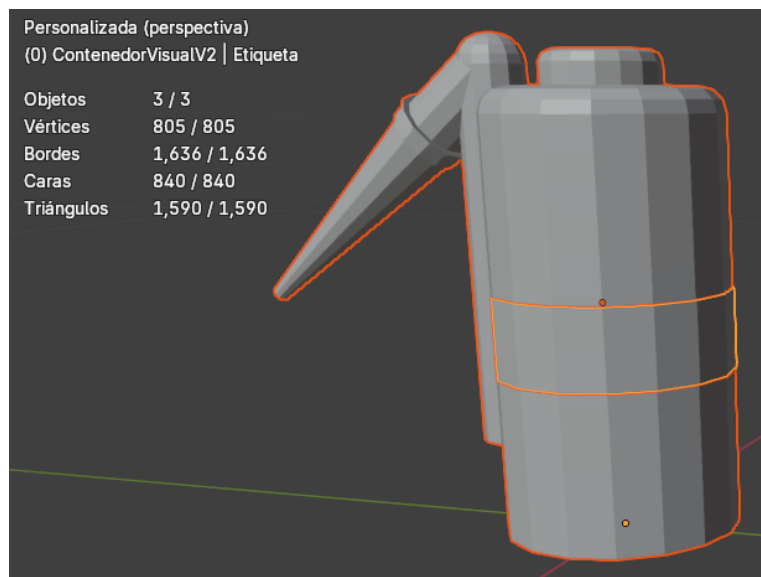


Figura 85. Modelo 3D de la piseta.

Una de las características cruciales para el funcionamiento visual de este modelo lo tiene el contenedor del líquido, para este objeto, se optó por colocar su origen en la base del modelo, esto es importante, puesto que dentro del motor nos permitiría realizar las animaciones de solar el líquido solamente rotando el modelo principal.

Lija circular

Este modelo se verá durante la etapa de lijado, funciona como una base para las lijas, una de las caras se cambiará mediante Código para mostrar la densidad específica de cada lija, por lo que contiene 2 elementos, la cara que se cambiara dentro del editor y la cara posterior, la cual indicara el tamaño de manera numérica (observable en la Figura 86).

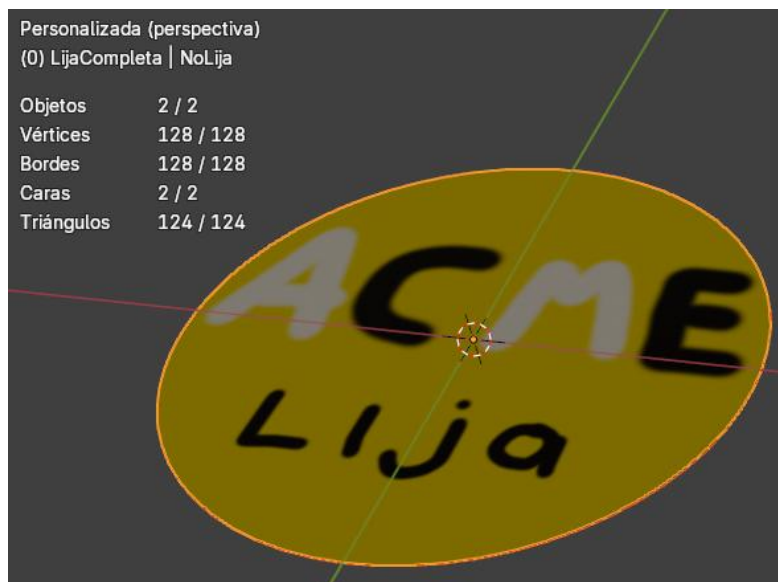


Figura 86. Cara posterior del modelo de lija circular

Lija cuadrada

Este modelo se utilizará en conjunto con las tijeras para generar las lijas circulares, sin embargo, dado que esta es cuadrada, no es necesario generar un modelo 3D, solamente juntar 2 planos dentro del motor gráfico y asignar los materiales correspondientes.

Pistola de calor

Durante la sección de limpieza y ataque químico, es necesario utilizar una pistola de calor para secar la probeta, este modelo se generó por esa necesidad, está construido con 2 LOD y un objeto que simula un switch de encendido, y en total cuentan con 1,962 triángulos y una textura para el cuerpo principal y un material rojo para el botón (observable en la Figura 87).



Figura 87. Modelo 3D de la pistola de calor

Tijeras

Estas tijeras son utilizadas junto con las lijas cuadradas para generar las lijas circulares, por lo que el modelo es pequeño, contando con 4 piezas, siendo estos los mangos (cada uno 66 triángulos) y el filo (cada uno con 50 triángulos), teniendo 2 texturas distintas para cada modelo, y su origen en la bisagra para permitir una animar la apertura y cierre de las tijeras de manera sencilla, esto se puede ver en la Figura 88.

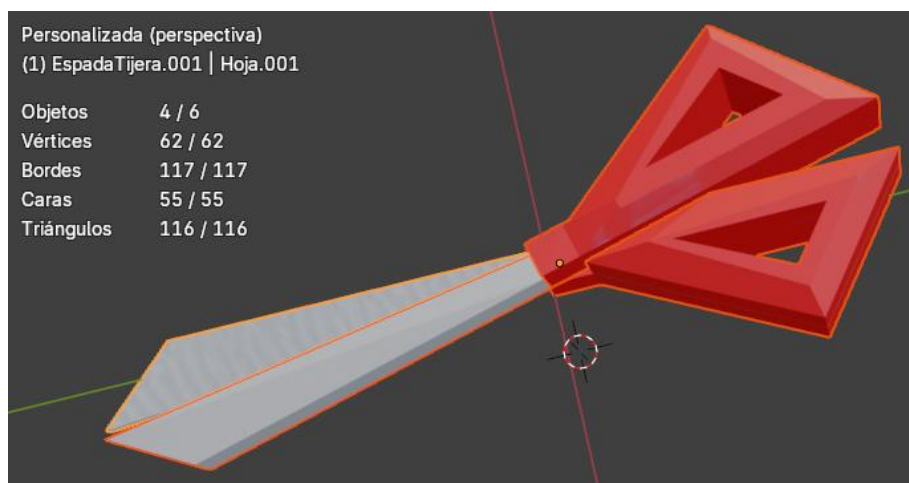


Figura 88. Modelo 3D de las tijeras

Ventilador

Este modelo aporta ambientación al laboratorio virtual y está formado por 860 triángulos, solo tiene un material negro con un acabado ligeramente metálico, por lo que, no cuenta con texturas (como se observa en la Figura 89).

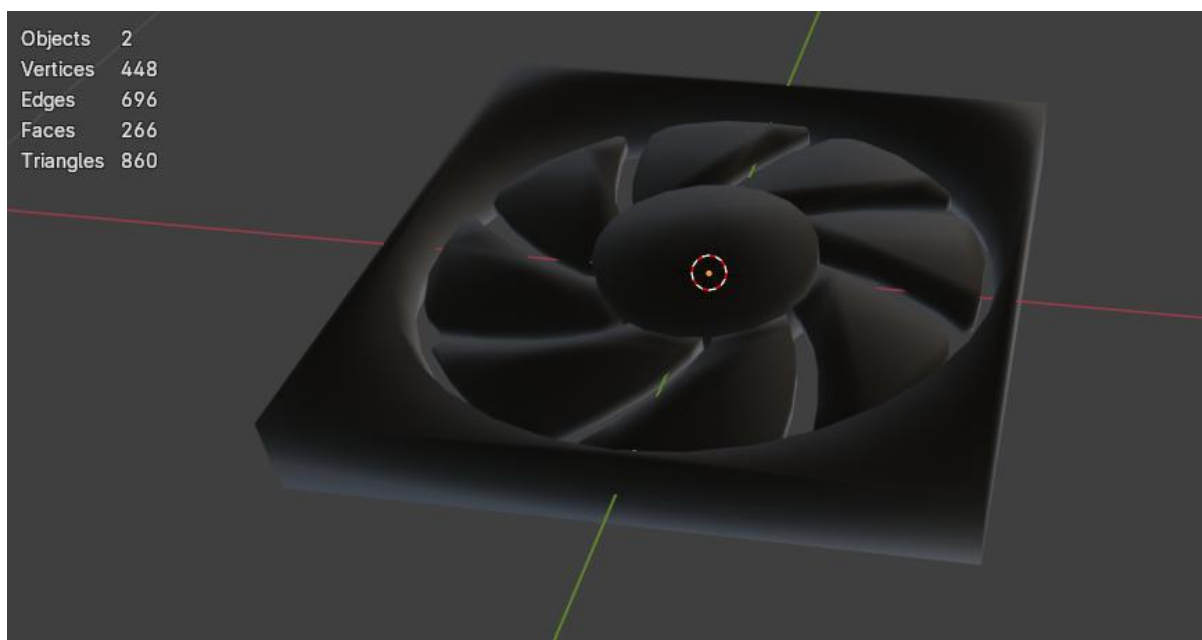


Figura 89. Modelo 3D del ventilador.

Algodón

Durante la etapa de limpieza de la probeta se requiere algodón para secar el alcohol de la probeta. Se modela una torunda de algodón a partir de la icoesferas que forman parte de las mallas primitivas de Blender (véase Figura 90). El texturizado se agregó dentro de Unity para manipular las propiedades visuales (humedad).

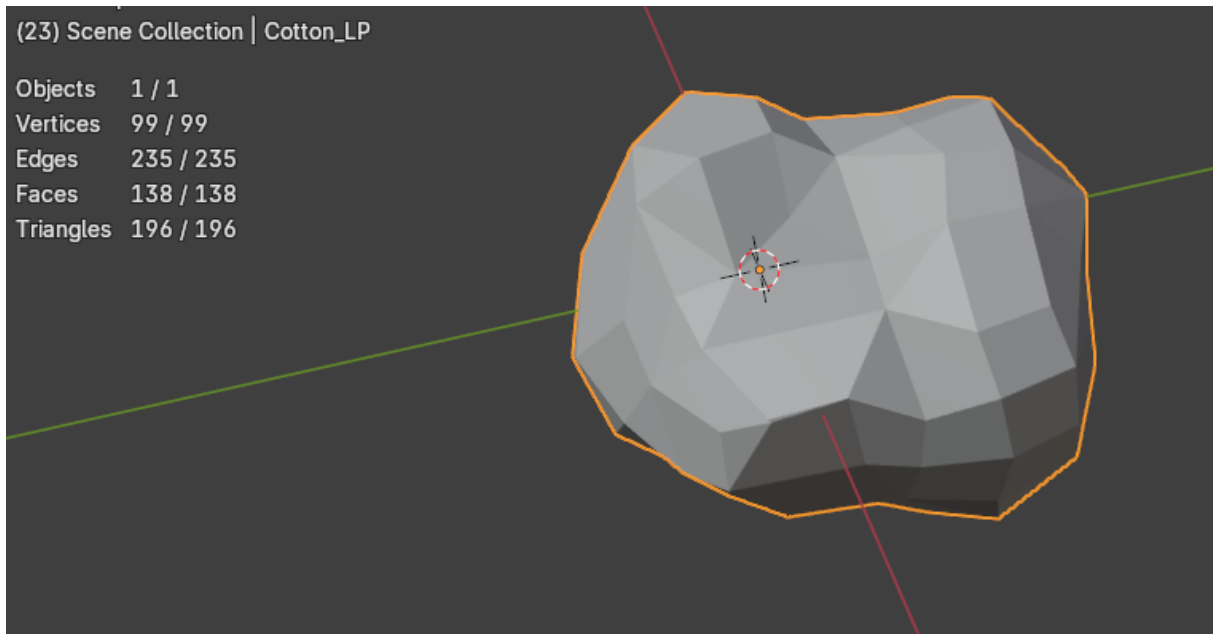


Figura 90. Modelo 3D de una torunda de algodón.

Mueble

Fue necesario hacer un modelo para poder almacenar y colocar todos los objetos generados, este objeto cuenta con un cuerpo principal, 4 puertas y 4 manijas, cada uno con un material distinto, 418 triángulos, y contando con sus centros modificados para permitir un movimiento similar al de las tijeras (véase Figura 91).

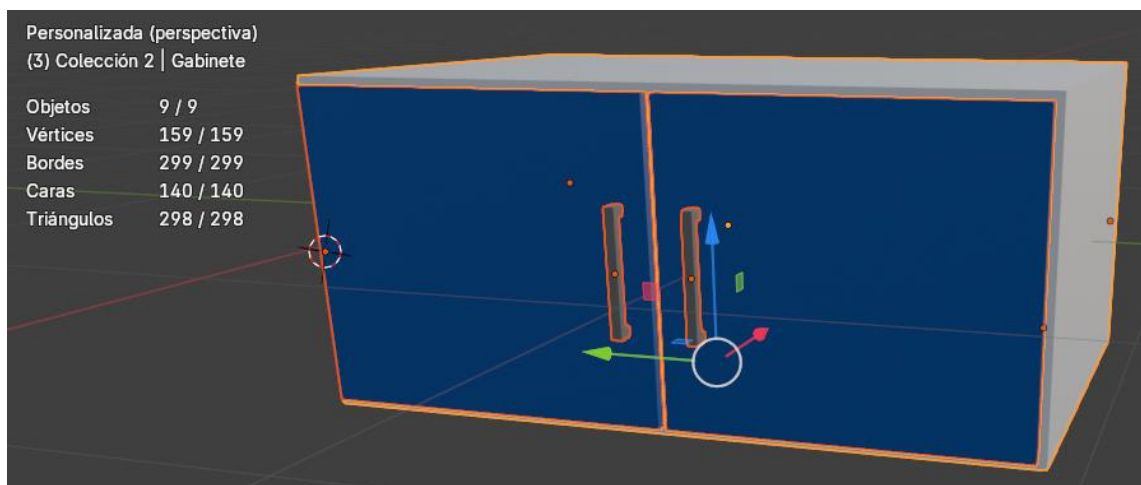


Figura 91. Modelo 3D de gabinete de 4 puertas

Edificio Principal

Las herramientas y el equipo empleados en la práctica de metalografía virtual requieren esta colocadas y posicionadas en un lugar para que estén organizadas y sean de fácil acceso y manejo para los usuarios, para ello, además del mueble principal, se modeló un espacio destinado para que ahí se efectúe el ensayo metalográfico (véase Figura 92).

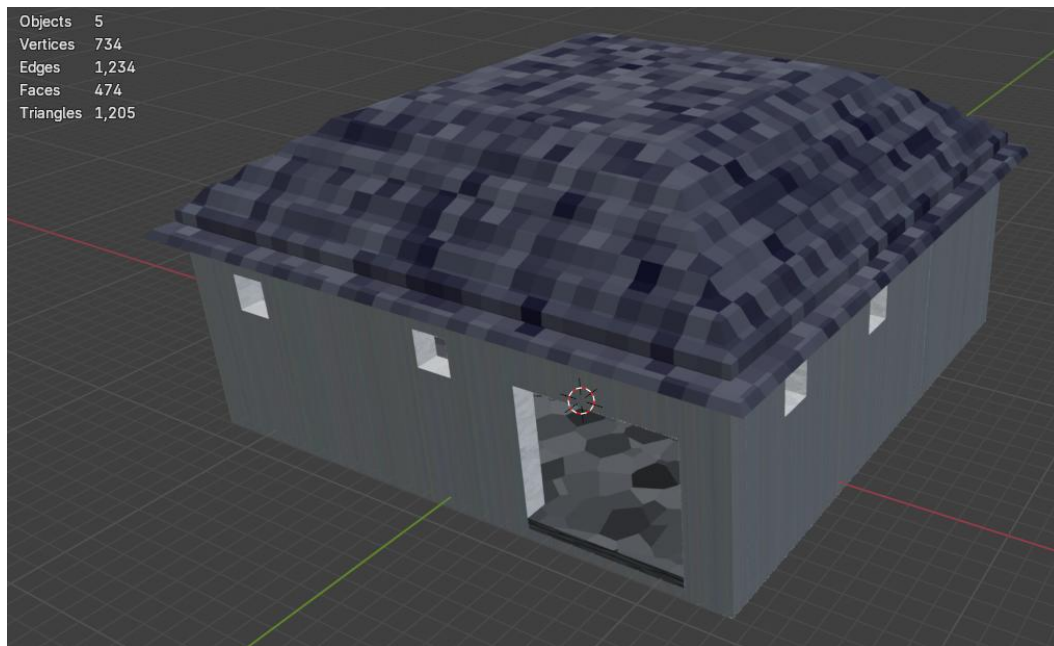


Figura 92. Modelo 3D del edificio principal.

Puerta de acceso

Diseñada para que los usuarios puedan entrar y salir del laboratorio virtual de manera sencilla y convencional (Véase Figura 93).

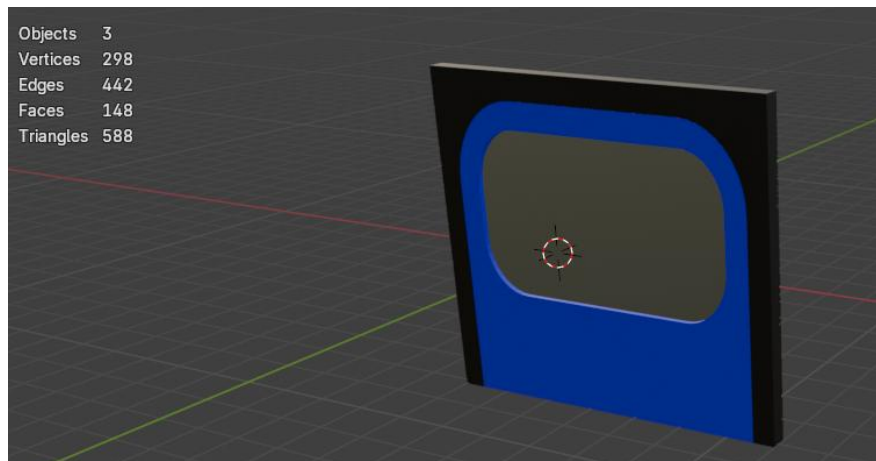


Figura 93. Modelo 3D de la puerta de acceso al laboratorio virtual.

Lampara de techo

Esta pieza fue diseñada para simular la iluminación de un laboratorio, con 3 elementos, 1 material metálico y 1 blanco (véase Figura 94)

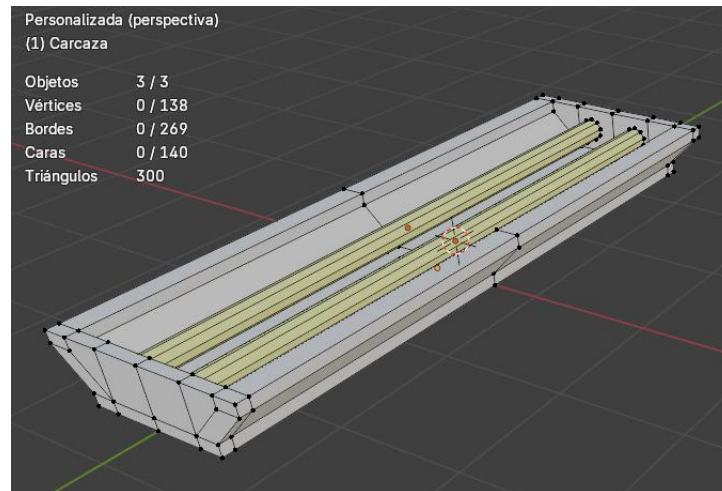


Figura 94. Modelo 3D de lampara de techo.

Bote de basura

Durante el desarrollo del laboratorio se requirió un elemento para reducir la cantidad de objetos generados en la escena, este objeto cumplió dicha función, generado con una textura y 540 polígonos (véase Figura 95).

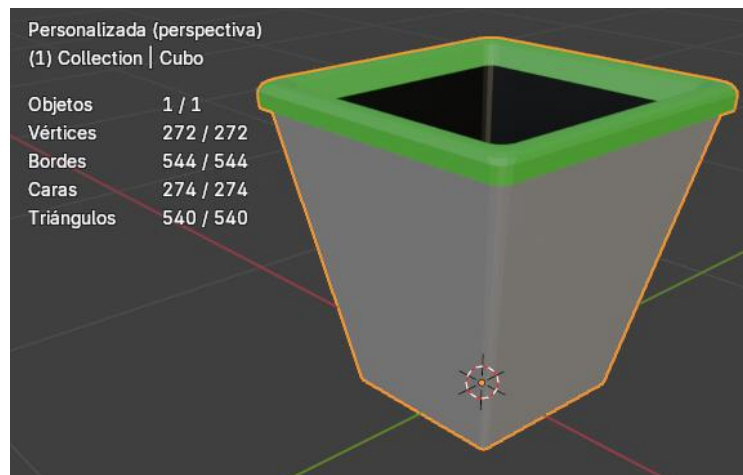


Figura 95. Modelo 3D de bote de basura

Tarja

Los usuarios dispondrán de una tarja para rellenar las pisetas de agua del laboratorio y para enjuagar la probeta cuando se requiera (véase Figura 96).

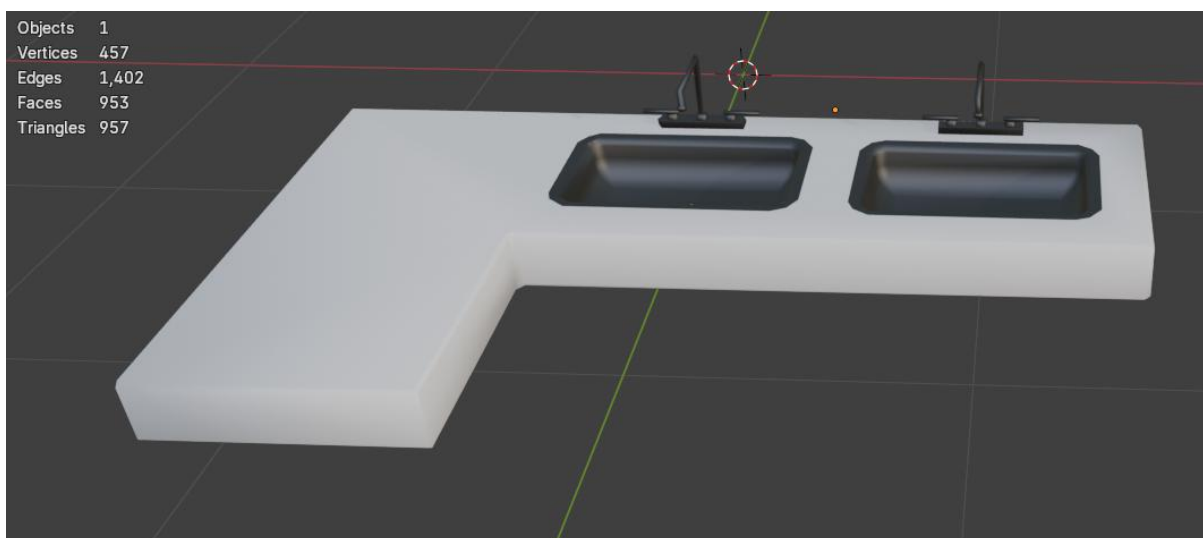


Figura 96. Modelo 3D de tarja

Arboles Lowpoly

Como parte de la ambientación del exterior del laboratorio virtual se creó un modelo 3D de un árbol (Figura 97), posteriormente se crearon variantes a partir de este dentro del motor grafico Unity.

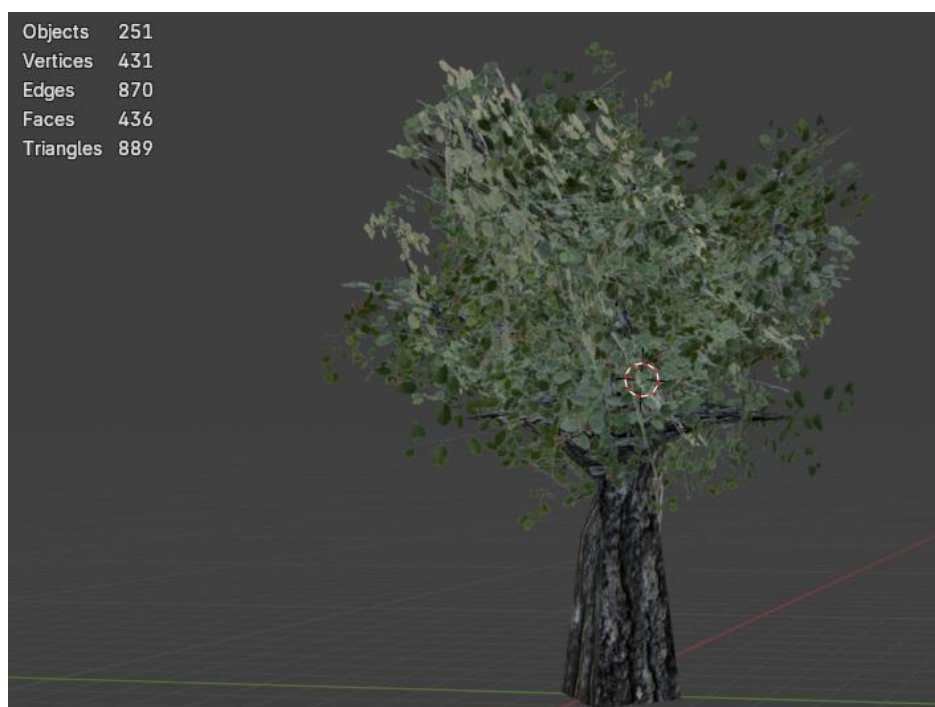


Figura 97. Modelo 3D del árbol lowpoly implementado en el exterior del laboratorio.

Puente/Cartel

Estos modelos fueron generados originalmente para generar puentes entre diversas islas, sin embargo, al final se decidió por acortar partes del desarrollo y reutilizar parte de los elementos generados en otros sectores, en este caso, fueron reutilizados para hacer un cartel de créditos del mundo, contando con 4 elementos, y cada uno contando con texturas independientes (observable en la Figura 98).

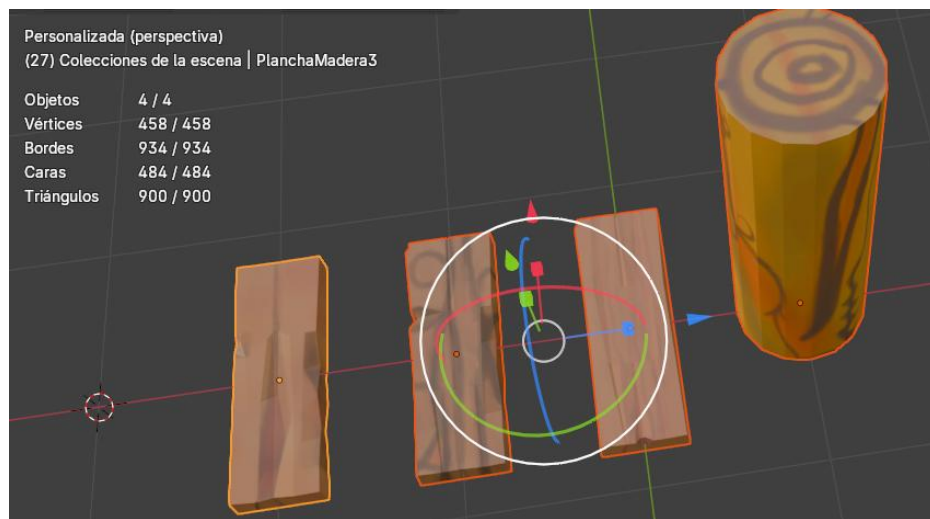


Figura 98. Modelos 3D simulando madera

Los siguientes modelos forman parte de la red eléctrica de ambientación interna del laboratorio:

Caja de Fusibles

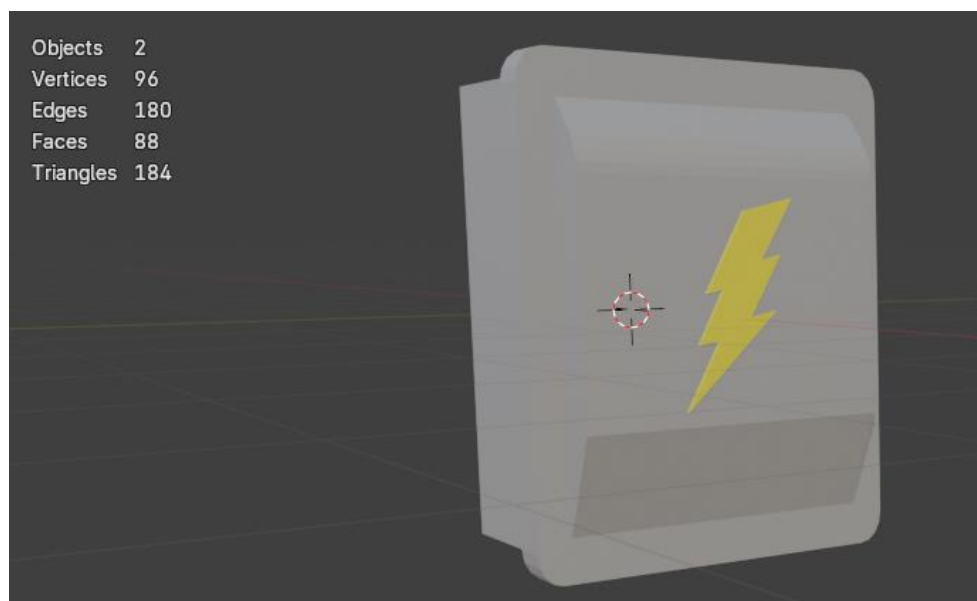


Figura 99. Modelo 3D lowpoly de una caja de fusibles.

Tomacorriente



Figura 100. Modelo 3D lowpoly de un tomacorriente.

Tomacorriente trifásico

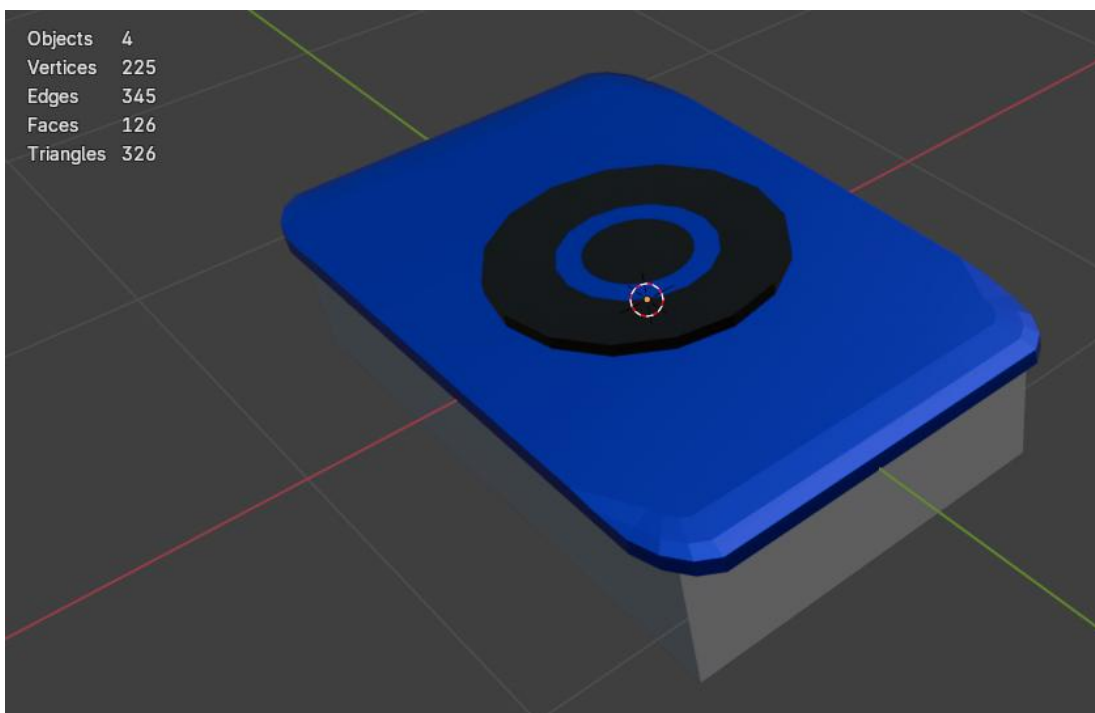


Figura 101. Modelo 3D lowpoly de un tomacorriente trifásico.

Tubos

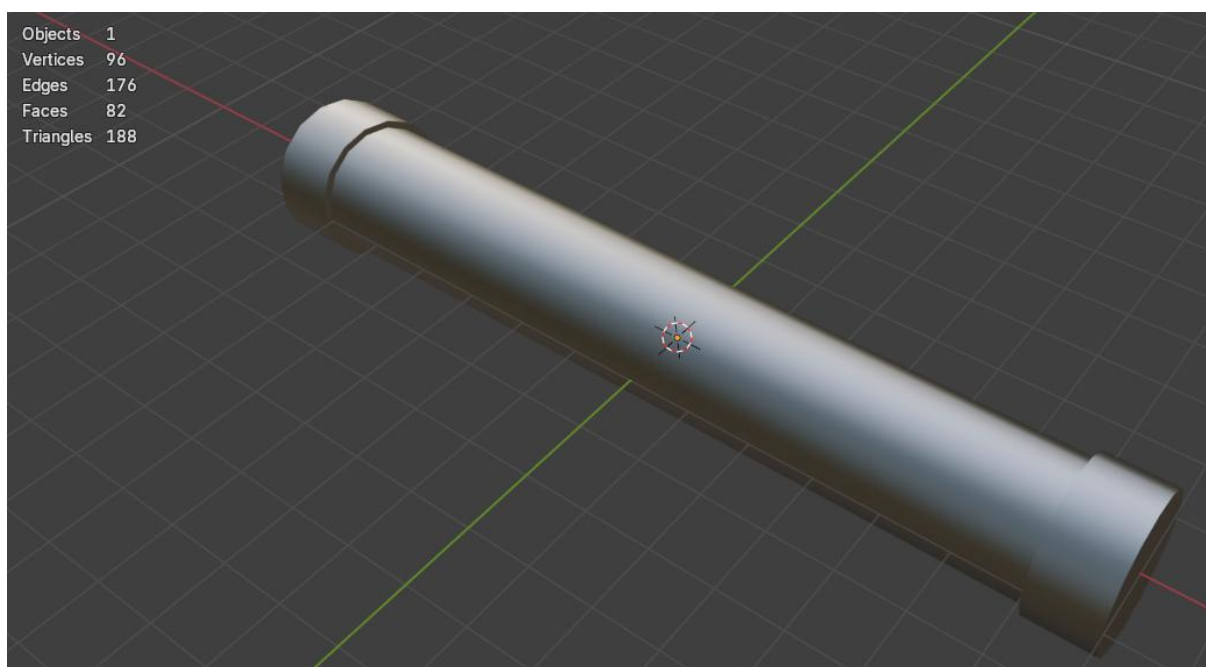


Figura 102. Modelo 3D lowpoly de un tubo para simular la red de cables.

Creación del entorno virtual

Una vez definido el programa a utilizar y hechos los modelos que se utilizaran dentro del programa, fue necesario construir el espacio donde se llevarían a cabo las prácticas, así pues, la creación del entorno virtual implicó no solo la disposición visual y espacial de los elementos, sino también la organización técnica del proyecto dentro del motor gráfico.

A continuación, se describirá como se realizó la instalación de los paquetes utilizados, la disposición de los modelos, y la estructura del proyecto, no sin antes dar una breve explicación de los conceptos más importantes dentro del motor gráfico de Unity.

Exportación e importación de Objetos.

Previo a explicar al desarrollo del entorno virtual, es necesario abordar las implicaciones para trasladar los elementos entre ambos entornos de desarrollo, comenzando por las consideraciones tomadas para la exportación de modelos desde Blender, y continuando por la importación de modelos a Unity y las opciones que se requirieron para lograr su integración.

Exportación desde Blender

Para la exportación de los modelos se optó por el uso del formato **FBX**, el cual ofrece la ventaja de la exportación conjunta de materiales y texturas, permitiendo empaquetar la información necesaria para que Unity pueda reconstruir el material utilizando las texturas exportadas.

Una de las configuraciones principales para garantizar que cada modelo conservara su apariencia visual fue la habilitación de la opción 'Modo de ruta: Copiar' en la ventana de exportación, junto con el botón 'Incorporar texturas', permitiendo que el archivo FBX incluyera la referencia interna a las texturas asociadas, sin requerir la reasignación de texturas manualmente (como se puede ver en la Figura 103).

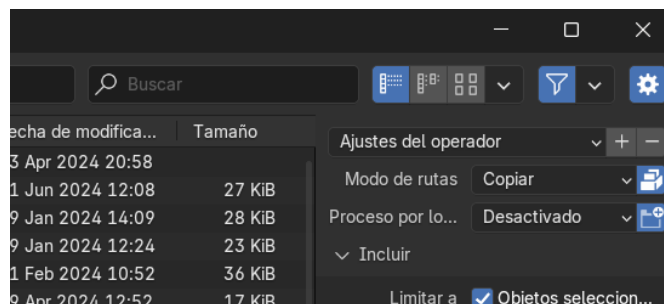


Figura 103. Configuración básica de exportación para modelos de Blender

Otro punto importante durante la exportación fue asegurar que la orientación del modelo fuese compatible con el sistema de coordenadas de Unity, ya que Blender utiliza un sistema donde el eje Z es vertical, mientras que en Unity se asigna el eje Y, por lo que, para evitar errores en la orientación del modelo, dentro de la ventana de exportación, se

seleccionaron las opciones 'Avance: -Z hacia adelante' y 'Arriba: +Y hacia arriba' (como se observa en la Figura 104).

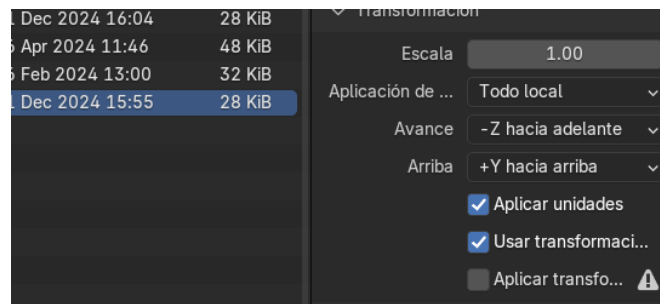


Figura 104. Configuración de orientación de modelos de Blender

Importación en Unity

Una vez exportados los modelos, Unity ofrece un conjunto de configuraciones dentro del panel de Inspector para cada archivo FBX importado, dentro del panel, algunas de las configuraciones más relevantes para este proyecto son el Factor de escala, el cual nos permite pre-modificar la escala del modelo desde las unidades de Blender a unidades de Unity, y la habilitación de la opción “*Generate Lightmap UVs*”.

Esta función crea un segundo conjunto de coordenadas UV específicamente diseñado para la generación de los mapas de iluminación (*light baking*), sin embargo, el proceso completo de horneado, configuración de luces, y aspectos similares se abordarán con mayor detalle en capítulos posteriores.

Conceptos básicos de Unity

Antes de presentar la interfaz principal del motor Unity, y para facilitar futuras explicaciones, se definirán brevemente algunos conceptos básicos que se usarán ampliamente en las siguientes secciones.

El **GameObject** (o GO de manera abreviada) es la estructura base de todo desarrollo dentro de Unity, estos objetos representan cualquier elemento dentro de la escena, ya sean modelos 3D, fuentes de luz, personajes, punto de referencia o contenedores de otros *GameObjects* y funcionan como contenedores a los que se les puede asignar distintas características mediante *components*. [31]

Los **Components** son las piezas funcionales de todos los *GameObjects*, los componentes dotan de propiedades que definen el comportamiento de los GO's, por ejemplo, un componente puede definir la posición de un GO en el espacio, agregarlo al motor de físicas, o ejecutar scripts.

Los **scripts** son archivos de código en lenguaje C# que permiten al desarrollador generar comportamientos complejos para el programa, mediante el uso de las herramientas que da el lenguaje y los elementos que incorpora el motor, útil tanto en la generación de clases como en la incorporación de los scripts a forma de componente dentro del *GameObject*.

Es posible guardar un *GameObject* y sus propiedades como un activo del proyecto, este tipo de elementos se les conoce como **Prefabs**, y dentro de sus características está el de almacenar el estado de un GO, mantener la referencia de un mismo objeto en las diversas escenas, permitiendo realizar modificaciones a múltiples *GameObjects*, además de permitir el generar instancias de dichos objetos mediante código, volviéndolos una herramienta versátil.

Para desarrollar software dentro de Unity, cada característica específica del motor está separada en **Paneles**, esto le permite al motor separar la lógica de diversos elementos y permitir la creación de paneles personalizados, cabe recalcar que dentro de la documentación y tutoriales, es posible que se mencione estos paneles con el nombre de “Ventanas”, por lo que en este escrito se utilizaran ambos nombres de manera indiscriminada, algunos de los paneles principales a la hora de desarrollar software en Unity son:

- **Scene:** El panel de vista de escena permite visualizar e interactuar con el mundo mediante el editor, permitiendo seleccionar, manipular y modificar los diversos *GameObjects* que actúan como escenografía, objetos interactivables, iluminación, cámaras, entre otros.
- **Game:** El panel de vista de juego es la imagen de las cámaras, muestra la forma en la que la aplicación se mostrará al usuario final, juntando elementos como la interfaz gráfica, los GO de la escena y efectos de Post-procesado (de los cuales se hablará en el siguiente capítulo).
- **Hierarchy:** El panel de jerarquía muestra todos los *GameObjects* en una escena, incluyendo modelos, cámaras y prefabs.
- **Inspector:** El panel de inspector despliega las propiedades de él (o los) *GameObject(s)* seleccionado(s), es utilizado para ver y editar las propiedades y componentes de dichos objetos.
- **Project:** El panel de proyecto muestra todos los archivos relacionados al proyecto.
- **Console:** El panel de consola muestra mensajes de error, advertencias y mensajes que se generen en el editor, ayudando a encontrar problemas del proyecto, un ejemplo de esto son errores de compilación

Para este proyecto, uno de los paneles de mayor relevancia fue un panel personalizado proporcionado por VRChat, el cual permite visualizar información relacionada con los mundos del usuario y acceder a diversas herramientas del SDK (véase Figura 105). Entre sus funciones principales se encuentra la posibilidad de subir directamente los mundos

al servidor de VRChat, así como generar compilaciones de prueba del entorno en desarrollo, permitiendo evaluar y verificar las funcionalidades implementadas de forma inmediata dentro de la plataforma.

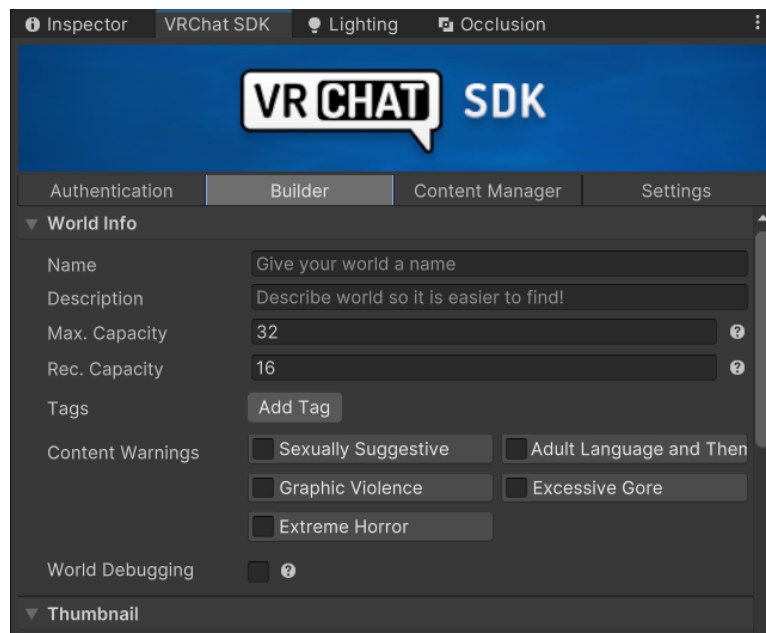


Figura 105. Panel de configuración del mundo del SDK de VRChat

Paquetes utilizados

Otro aspecto importante que hace a Unity un motor gráfico poderoso es la capacidad de crear y cargar paquetes de contenido extras, los paquetes de Unity son un método que permite distribuir contenido entre desarrolladores, ya sea oficial o realizado por la comunidad, por lo que los paquetes pueden contener modelos, scripts, utilidades u otros elementos que pueden ser de utilidad dentro del desarrollo en este software.

Se realizaron investigaciones de paquetes que podrían ser de ayuda a la hora de generar el entorno, ya sea para delegar el trabajo a las secciones de mayor importancia, o para poder brindar una mayor sensación de inmersión a este proyecto, por lo que a continuación, mencionare los paquetes más relevantes e importantes que se utilizaron, así como su utilidad en este proyecto.

VRChat SDK – Base + Worlds

Estos 2 paquetes integran los kits de desarrollo que VRChat proporciona a los desarrolladores, el paquete “Base” permiten interactuar con el servidor y utilizar scripts prediseñados que funcionan dentro del entorno de VRChat, mientras que el paquete “Worlds” contiene scripts específicos relacionados al desarrollo de entornos virtuales.

Estos paquetes vienen instalados por defecto si se genera un proyecto de VRChat mediante el programa de VRChat Creator Companion, además, es posible actualizar la versión de estos paquetes dentro del mismo programa.

La versión de estos paquetes con la que se comenzó a trabajar este proyecto fue la 3.5.0, durante el desarrollo se tomó la decisión de actualizar el paquete utilizado a la versión 3.7.1 para obtener más características y arreglar bugs, sin embargo, no se actualizo a la versión más actual por problemas de compatibilidad entre algunos paquetes.

Estos paquetes contienen una gran cantidad de scripts con implementaciones especializadas de algunos sistemas comunes en VR/AR y en el desarrollo de software, los más utilizados dentro de este proyecto son los componentes VRC_Pickup y VRC_Object_Sync:

- VRC_Pickup: este componente permite a un objeto en la escena el ser sostenido y usado por los jugadores. [38]
- VRC_Object_Sync: este componente sincroniza automáticamente la posición, rotación, escala y físicas del GameObject al que se agregue entre todos los miembros de la instancia del mundo. [39]

Otra adición de estos paquetes son los “*Udon Events*”, los cuales son funciones que se activan automáticamente según las acciones del jugador, algunos de los utilizados, así como su método de activación se identifican en la Tabla 3 y se visualizan en la Figura 106. Diagrama etiquetado para referencia de Inputs de un mouse y un meta quest controller izquierdo.

Tabla 3. Tabla de eventos proporcionados por VRChat y su activador

Evento de VRChat	Botón de acción (Meta Quest)	Botón de acción (PC)
Interact()	Trigger	Click Primario
OnPickup()	Grip	Click Primario
OnDrop()	Grip (Soltar)	Click Secundario
OnPickupUseDown()	Grip + Trigger	Click Primario (Con objeto en mano)
OnPickupUseUp()	Grip + Trigger (Soltar)	Click Primario (Soltar, Con objeto en mano)

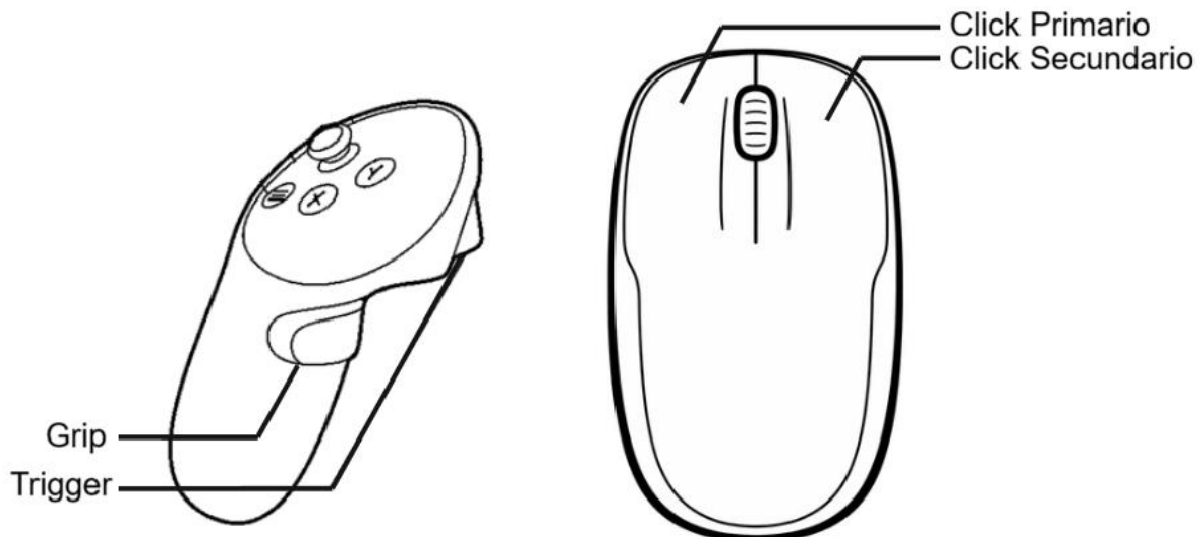


Figura 106. Diagrama etiquetado para referencia de Inputs de un mouse y un meta quest controller izquierdo

Shadergraph

El paquete Shader Graph añade una herramienta de edición visual de shaders a Unity, permitiendo crear shaders con una interfaz visual en lugar de escribir código, con la posibilidad de ver el resultado en tiempo real.

Para poder utilizar este paquete, es necesario buscarlo en el panel de Package Manager de Unity e instalar el paquete, una vez instalado el paquete, es posible generar un shader con ShaderGraph al abrir el menú contextual en el panel de Proyecto, y después navegar por el menú Create > Shader graph > blank shader graph, este generara un objeto de shader graph que conservara la información del shader.

Una vez tenido el objeto de ShaderGraph, es necesario abrirlo con el editor de Shaders (incluido en el paquete), dentro del editor, es posible agregar nodos mediante el menú contextual que aparece al dar clic derecho sobre el lienzo de trabajo. Estos nodos representan operaciones, propiedades o funciones que pueden aplicarse dentro del shader. Para utilizarlos, se deben arrastrar los nodos deseados al lienzo y configurar sus parámetros según sea necesario.

Posteriormente, los nodos pueden conectarse entre sí arrastrando un enlace desde la salida de un nodo hacia la entrada de otro. La conexión entre nodos define el flujo de datos y permite construir de manera visual la lógica que determinará el comportamiento del shader. A medida que se conectan diferentes nodos, es posible combinar texturas, colores, valores numéricos y operaciones matemáticas para dar forma al resultado final.

Finalmente, para que el shader genere una salida visible, es necesario conectar el resultado de la red de nodos hacia el nodo principal del gráfico, comúnmente denominado “Master” o “Master Stack”, el cual actúa como punto de compilación del shader. Al conectar los nodos al Master, se define cómo se renderizará el material en el motor gráfico, permitiendo visualizar los efectos creados tanto en el editor como en el objeto que utilice dicho shader.

Sin embargo, al realizar pruebas entre ShaderGraph y VRChat, notamos que, aunque VRChat haya sido generado con el Build-in Render Pipeline²³ y ShaderGraph sea compatible con este Pipeline, la implementación de los Shaders en VR tenía errores visuales, por lo que fue necesario utilizar otro paquete que permitiera una correcta comunicación entre ShaderGraph y VRChat.

Shadergraph Target

El paquete ShaderGraph Target (z3y) añade compatibilidad entre Shader Graph y el Built-in Render Pipeline de Unity, específicamente orientado a proyectos desarrollados para VRChat. A diferencia del Shader Graph estándar, este paquete actúa como un puente que permite que los shaders creados mediante la interfaz visual funcionen correctamente dentro de mundos compilados en VRChat, evitando errores de renderizado que se presentan al usar únicamente Shader Graph. [40]

²³ El Build-in Render Pipeline es el pipeline de renderizado antiguo de Unity.

Para poder utilizar este paquete, es necesario instalarlo desde el VRChat Creator Companion, agregando el listado de paquetes correspondiente. Una vez importado, el usuario puede crear shaders mediante el menú contextual en el panel de Proyecto y seleccionar la opción Create > Shader Graph > BuiltIn z3y. Esto genera un objeto de Shader Graph adaptado al entorno de VRChat, el cual conserva la información del shader y asegura su correcta interpretación en el motor gráfico.

Dentro del editor de Shader Graph, los nodos se utilizan de la misma manera que en el paquete estándar: se arrastran al espacio de trabajo, se configuran sus parámetros y se conectan entre sí para definir el flujo de información. Sin embargo, el paquete ShaderGraph Target (z3y) incorpora ajustes específicos para VRChat, como mejoras de visualización de texturas.

Finalmente, al conectar los nodos al Master Stack, el shader se compila con las configuraciones necesarias para VRChat, garantizando que los efectos visuales creados se rendericen de manera correcta tanto en el editor como en el entorno de realidad virtual, el entorno se puede observar en la Figura 107.

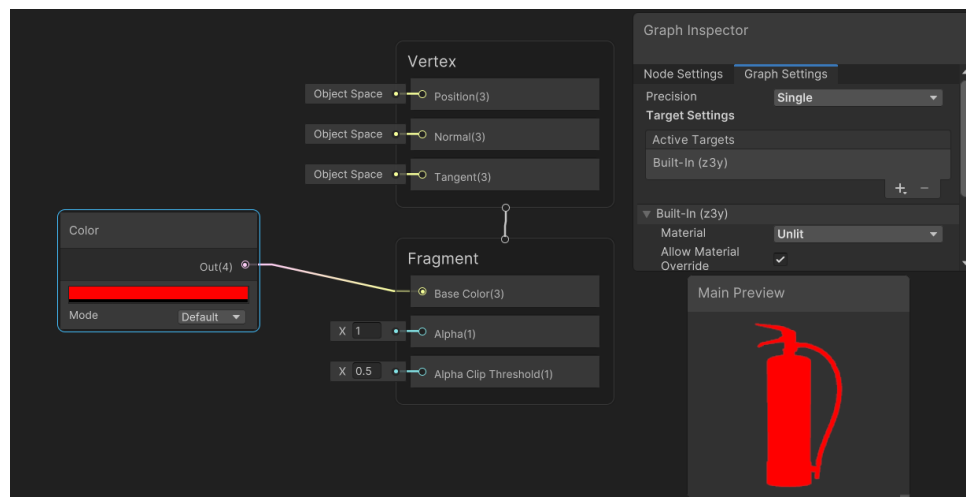


Figura 107. Espacio de trabajo ejemplo del editor de ShaderGraph con el objetivo z3y

Immersive interactions

El paquete Immersive Interactions añade un sistema de botones, interruptores y palancas físicamente precisos dentro de Unity para proyectos de VRChat. Su objetivo es proporcionar interacciones realistas que respondan al movimiento de las manos del usuario, integrando elementos como botones presionables, interruptores con retroalimentación física y palancas que pueden ser manipuladas directamente en entornos virtuales. [41]

Para poder utilizar este paquete, es necesario instalarlo mediante el VRChat Creator Companion (VCC), agregando la dirección del repositorio en el gestor de paquetes. Una vez importado, el usuario puede acceder a los prefabs incluidos en la carpeta Immersive Interactions/Runtime, donde se encuentran componentes como *Pressable_Button*,

Flippable_Switch y *Lever*. Estos prefabs pueden arrastrarse directamente a la escena y configurarse según las necesidades del proyecto.

Dentro del paquete, los scripts de funcionamiento principal son el “*Pressable Button*” y el “*Flippable Switch*”, ambos cuentan con parámetros ajustables que permiten definir su comportamiento físico y sus eventos asociados. Por ejemplo, al seleccionar un botón, es posible configurar la lista de colisiones que deben ignorarse para evitar errores de interacción, así como asignar eventos que se disparen al ser presionado.

De manera similar, los interruptores y palancas pueden vincularse a scripts personalizados mediante el sistema de eventos de **UdonSharp**, lo que facilita la integración con la lógica del laboratorio virtual, algunos botones con distintas configuraciones se observan en la Figura 108.

Finalmente, este paquete se incluyó para integrar botones que tuvieran funcionalidad realista, e implementación rápida para interacciones específicas en modelos como la desbastadora o microscopio.

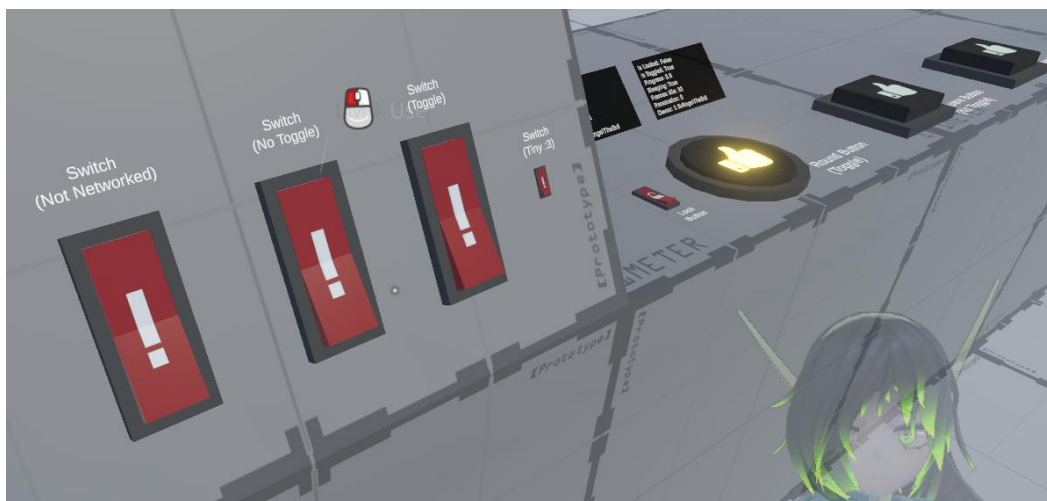


Figura 108. Distintos tipos de botones físicos

Easy quest Switch

El paquete EasyQuestSwitch es una herramienta de edición para Unity diseñada específicamente para creadores de mundos en VRChat. Su función principal es automatizar los cambios en los componentes de una escena cuando se modifica la plataforma de compilación entre PC y Android (Oculus Quest). De esta manera, se evita la necesidad de realizar ajustes manuales en cada objeto al preparar un mundo para diferentes dispositivos, lo que agiliza el flujo de trabajo y reduce errores de compatibilidad. [42]

Para poder utilizar este paquete, es necesario instalarlo desde el VRChat Creator Companion (VCC) o mediante el gestor de paquetes de Unity, añadiendo el repositorio correspondiente. Una vez importado, el usuario puede acceder a las configuraciones de EasyQuestSwitch dentro del editor, donde se definen reglas de conversión para materiales, shaders y componentes específicos. Por ejemplo, un shader que no es

compatible con Quest puede ser reemplazado automáticamente por una versión optimizada, o un componente pesado puede ser deshabilitado en la compilación para Android.

El sistema funciona mediante la creación de perfiles y tipos personalizados que permiten adaptar los recursos de la escena según la plataforma objetivo. Estos perfiles se configuran en el editor y se aplican cada vez que se cambia el *Build Target* de Unity, garantizando que el proyecto se mantenga optimizado tanto para PC como para Quest sin necesidad de duplicar escenas o realizar ajustes manuales extensivos, en la Figura 109 se pueden observar la configuración de árboles y Fog para distintos *Build Targets*.

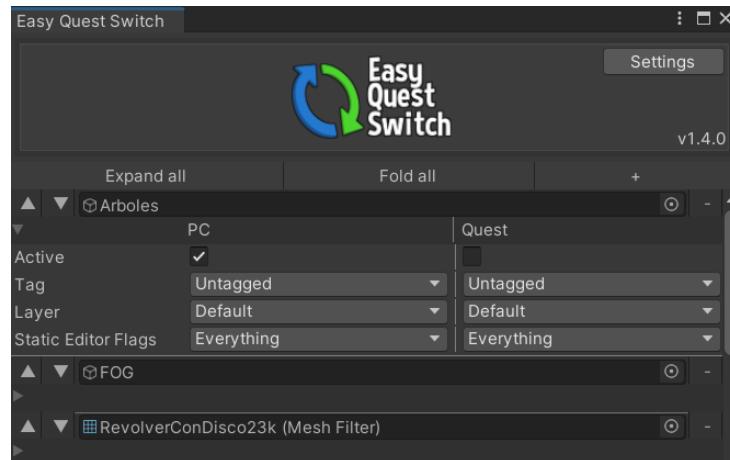


Figura 109. Panel de paquete Easy Quest Switch

Layout del laboratorio

El laboratorio virtual está estructurado en cuatro zonas funcionales, cada una con un propósito específico dentro del flujo de trabajo. Esta segmentación permite organizar las actividades de forma secuencial y lógica, facilitando la comprensión del entorno por parte del usuario. La estructura base planteada se observa en la Figura 110.

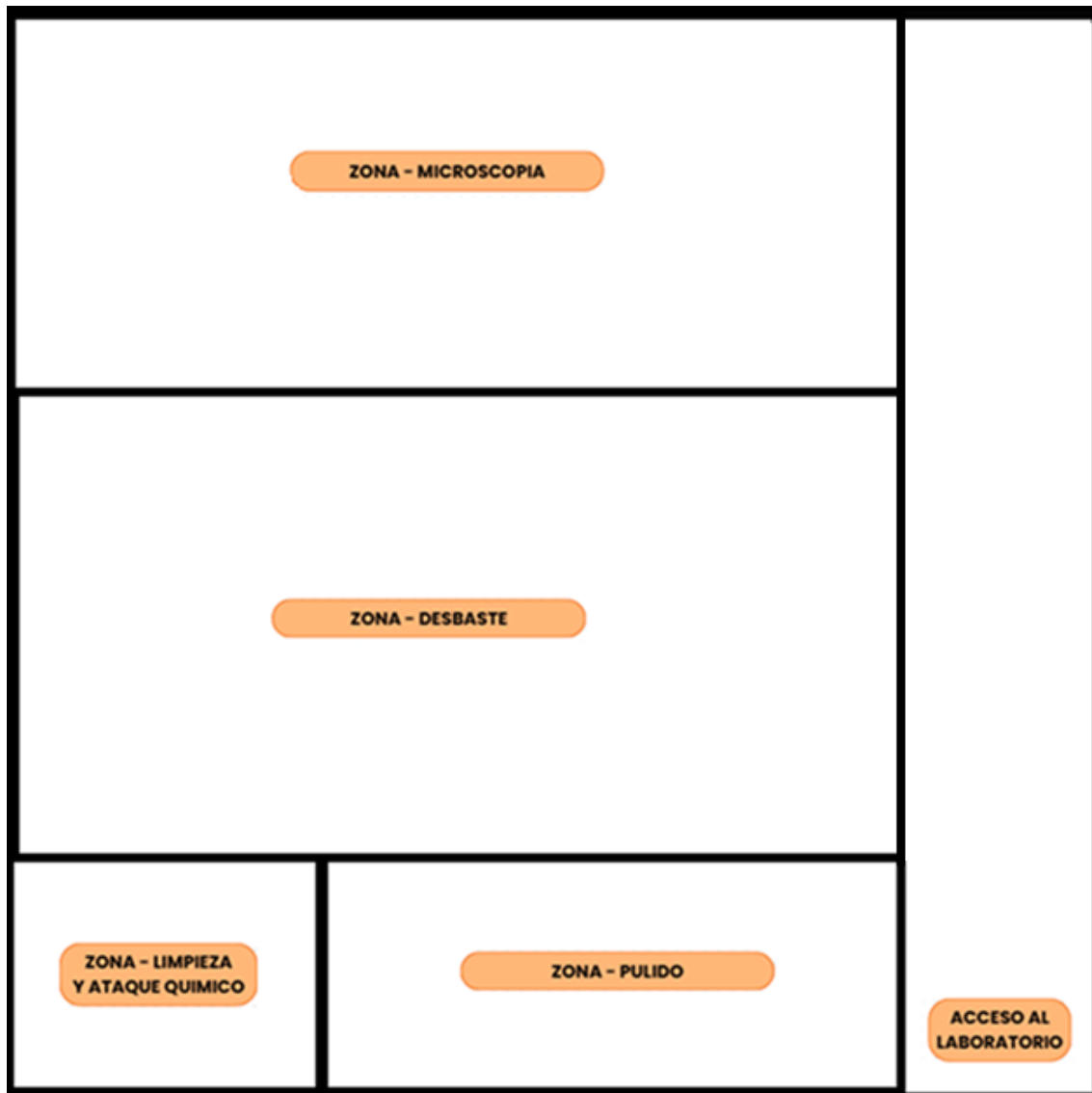


Figura 110. Layout básico de la zona del desarrollo de la práctica.

Algoritmos e Interacciones en el Mundo Virtual

Tras definir los conceptos básicos de Unity, importando al entorno los objetos generados y listando los paquetes utilizados, es imperativo tocar el tema de los *scripts*, los cuales le dan funcionalidad al laboratorio.

Los scripts dentro de Unity se agregan como *components*, algunos de los componentes más utilizados se enlistan en la Tabla 4.

Tabla 4. *Game components* generales.

Nombre	Descripción	Ícono
<i>Transform</i>	El componente Transform determina la Posición, Rotación y Escala de cada <i>GameObject</i> en la escena. Cada <i>GameObject</i> tiene una Transform .	
<i>Primitive collider shapes</i>	Son formas primitivas (ej. Box Collider y Sphere Collider) que delimitan un área dentro de la cual existirán colisiones con otro <i>GameObject</i> que también tenga un <i>collider</i> .	
<i>Mesh collider</i>	El <i>Mesh Collider</i> toma una malla y construye una malla de colisión que coincide con la geometría de esa malla seleccionada. Es más preciso para detectar colisiones que usar primitivas, y es una mejor opción para mallas complicadas.	
<i>Rigidbody</i>	Utiliza el componente <i>Rigidbody</i> para aplicar un cuerpo rígido a tu <i>GameObject</i> . Un cuerpo rígido proporciona una forma para controlar el movimiento y la posición de un <i>GameObject</i> basada en físicas. En lugar de las propiedades de <i>Transform</i> , es posible usar fuerzas físicas simuladas y torque para mover el <i>GameObject</i> , dejando que el Motor de físicas calcule los resultados.	
<i>Mesh filter</i>	El componente <i>Mesh Filter</i> almacena la referencia a una malla. Funciona junto con un <i>Mesh Renderer</i> del mismo <i>GameObject</i> ; El <i>Mesh Renderer</i> renderiza la malla a la que el <i>Mesh Filter</i> referencia.	
<i>Mesh renderer</i>	El componente <i>MeshRenderer</i> renderiza una malla. Funciona junto con un Componente <i>Mesh Filter</i> en el mismo <i>GameObject</i> . El <i>Mesh Renderer</i> renderiza la malla a la que el <i>Mesh Filter</i> referencia.	

<i>Audio source</i>	El AudioSource es un componente que reproduce un <i>AudioClip</i> en tu escena y ofrece opciones para personalizar su comportamiento de reproducción.	
<i>Particle system</i>	El componente <i>ParticleSystem</i> simula entidades fluidas como líquidos, nubes y llamas al generar y animar grandes números de pequeñas imágenes 2D en la escena.	
<i>dll / C# scripts</i>	Unity permite <i>scripting</i> en el lenguaje de programación C# extendiendo las capacidades de la aplicación, estos iconos indicaran que hay 1 o más <i>scripts</i> de comportamiento, ya sea proveniente de algún paquete (izquierda) o fue creado en el editor (derecha)	 

La implementación de los algoritmos dentro de *Unity* se realizó mediante *scripts* con código escrito en el lenguaje C#, sin embargo, como ya se mencionó, al estar utilizando *VRChat* como plataforma, es necesario utilizar la implementación de C# para su plataforma, y esto viene en forma de 2 elementos distintos:

- *Udon Node Graph*: Permite agregar comportamientos sin la necesidad de usar un lenguaje de programación, mediante el uso de una interfaz de programación visual que utiliza nodos para crear scripts, sin embargo, las funciones con las que cuenta son limitadas, por lo que es más útil para hacer comportamientos simples.
- *UdonSharp* (U#): Es un compilador integrado en el SDK de *VRChat* que permite utilizar C# para crear scripts de *Udon* que funcionen dentro de su plataforma; es mucho más completo que *Udon Node Graph*, sin embargo, no mantiene todas las funcionalidades de C#, contando con las funciones suficientes para generar comportamientos más complejos.

Para este trabajo, se utilizaron ambos métodos de generación de comportamientos, sin embargo, dada la simplicidad de *Udon Node Graph*, se optó por utilizar mayormente UdonSharp, dejando a *Node Graph* para elementos más simples, por lo que en la Tabla 5 se mencionaran únicamente los scripts generados mediante scripts de C# y el compilador de UdonSharp.

Tabla 5. *Scripts implementados.*

Script	Descripción
AtaqueQuimico.cs	Procesa la etapa de ataque químico de la cara.
AugmentsBehaviour.cs	Cambia el aumento del microscopio y permite la rotación del revólver.

BorderColor.cs	Maneja los indicadores visuales (parpadeo verde, rojo o amarillo en los bordes de la probeta) según el estado.
BoteBasura.cs	Elimina/reaparece objetos al caer en el bote.
BotellaLab.cs	Controla el llenado, vaciado, vertido y visuales de las pisetitas de laboratorio.
CottonBehaviour.cs	Contiene las referencias y lógica de modificación de las propiedades del material del algodón.
CottonTimer.cs	Maneja un temporizador para suavizar el cambio de las propiedades del material del algodón
CubreLijaBehaviour.cs	Bloquea o libera el anillo de protección según gire el rotor de la desbastadora y ajusta las colisiones.
CubreLijaSnap.cs	Fija y libera el anillo de protección automáticamente al entrar o salir del área de fijación.
DetectParticleCollisionFace.cs	Detecta colisiones de partículas y activa eventos según la cara de la probeta y tipo de líquido con el que tiene contacto.
DoorHandleInteraction.cs	Controla la apertura de la puerta según el agarre (VR/PC).
Ejectable.cs	Etiqueta para marcar objetos expulsables; no contiene lógica.
EjectObject.cs	Expulsa objetos con el script "Ejectable.cs", si no están siendo sostenidos y están sobre una máquina rotatoria (activa).
ElementType.cs	Descarga las imágenes del resultado metalográfico y las organiza según el aumento del microscopio y tipo de probeta.
EventCallerOnHoldOnDrop.cs	Permite llamar eventos en scripts sin estar definidos dentro del código.
FaceBehaviour.cs	Coordina el orden de funcionamiento de los scripts de pulido, limpieza y ataque químico.
HapticFeedback.cs	Genera vibraciones distintas en los controles hápticos según desbaste y pulido.
Heatable.cs	Activa o desactiva la variable 'newcalor' en todos los scripts del objeto al que se le asigne.
IdentifyFace.cs	Detecta el contacto que tiene la cara de la probeta con lijas/pulidoras y asigna las propiedades visuales y físicas correspondientes.
InteractProbe.cs	Alterna la visualización entre las caras de la probeta al interactuar.
IsLiquidSource.cs	Etiqueta para identificar objetos como fuente de líquido; no tiene lógica.
LimpiezaScript.cs	Procesa la etapa de limpieza de la cara.
LijaCircularBehaviour.cs	Gestiona la humedad, el material y la sincronización de la lija circular.
LijaCuadrada.cs	Convierte una lija cuadrada en circular al cortarla y gestiona su generación.

LijaDataholder.cs	Contiene los materiales y un pool de objetos para generar lijas según su tamaño de grano.
LijaRotation.cs	Controla la rotación, el estado de encendido y mantiene las referencias de una lija en la devastadora.
MicroscopeBehaviour.cs	Muestra las imágenes de la microscopía según tipo de probeta y nivel de aumento.
MicroscopeElements.cs	Activa el funcionamiento de los múltiples descargadores de imágenes.
ObjectSnapBehaviour.cs	Detecta objetos cercanos que contengan el script “placeable.cs” y alinea, posición, rotación y ejecuta eventos al ser fijados.
ObjectSnapVisual.cs	Muestra u oculta una malla visual para guiar el fijado de objetos.
OrientationChecker.cs	Detecta si un objeto está orientado hacia arriba, abajo o ninguna de las dos.
PistolaDeCalor.cs	Activa calor, animaciones y audio al usarse sobre objetos que contienen el script “Heatable.cs”.
placeable.cs	Etiqueta para detectar objetos como “Placeable.cs” para los scripts de Snap; no tiene lógica.
PlayerRespawnController.cs	Teletransporta al jugador al origen del mundo y activa un efecto de niebla cuando se sale de los límites.
ProbeBehaviour.cs	Gestiona el desgaste, las partículas, el audio y la lógica de la etapa de lijado de la probeta.
PulidoAlumina.cs	Procesa la etapa de Pulido de la cara.
PulidoraScript.cs	Controla la rotación y el estado de encendido de la pulidora, así como el líquido que acepta.
SetKinematicFalseOnPickup.cs	Desactiva la variable “isKinematic” al tomar el objeto y lo sincroniza entre los usuarios.
ShowInstructions.cs	Controla la visualización de las instrucciones y la navegación entre pasos.
SkyboxSetup.cs	Ajusta la intensidad de las estrellas del skybox según si el usuario está en VR o PC.
TijerasBehaviour.cs	Controla el funcionamiento de las tijeras.
UpdatePreview.cs	Actualiza la vista previa de la cara de la probeta trabajada, así como la rotación y orientación del panel visual.

Sistemas desarrollados

Como resultado de la evolución natural del proyecto, se generaron scripts que interactuarían con otros, creando funcionalidades más complejas y de mayor utilidad durante el desarrollo de la simulación. Estas interacciones propiciaron la consolidación de sistemas que, si bien no fueron concebidos explícitamente desde las etapas iniciales, fueron fundamentales en estructura y funcionamiento del proyecto.

A continuación, se presentan algunos de los sistemas más relevantes desarrollados en el marco de la simulación.

Placer

Con el propósito de garantizar una interacción precisa y controlada dentro del laboratorio virtual de metalografía, se desarrolló un sistema denominado “Placer”, que permite la colocación precisa de objetos con el componente *VRC Pickup* en una posición determinada. Su objetivo es simular de forma intuitiva el proceso de montaje, utilizando eventos de interacción basados en la acción de “tomar” (*GripPress*) <Figura 111> y “soltar” (*GripRelease*) el objeto. En la Figura 111 y Figura 112 se ejemplifica este procedimiento con la interacción entre la lija y el rotor de la desbastadora.

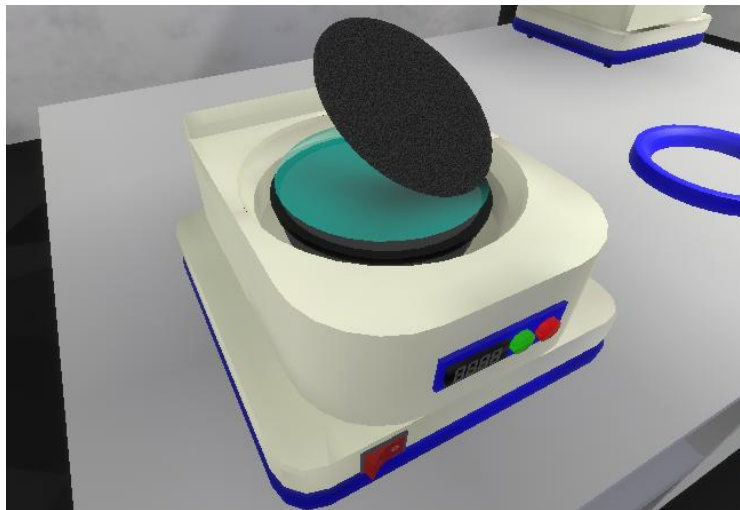


Figura 111. El usuario sostiene la lija (GripPress) y la aproxima al rotor; el sistema muestra la referencia visual de posicionamiento antes de ejecutar el snap.

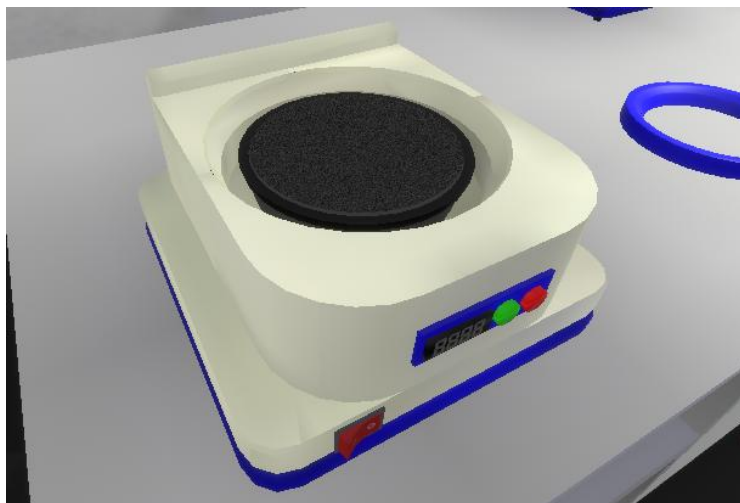


Figura 112. Tras liberar el botón de Grip (GripRelease), el sistema ejecuta el snap, alineando automáticamente la lija con el rotor.

El funcionamiento se apoya en un mecanismo de detección y ajuste automático (*snap*), que garantiza que la lija se alinee correctamente en posición y rotación cuando el usuario la aproxima al rotor y libera el control. De este modo, el sistema combina interacción manual con asistencia automática, mejorando la precisión y reduciendo errores de colocación.

La Figura 113 presenta el diagrama de clases de los scripts que conforman el sistema de interacción y posicionamiento automático. En él se observa la relación entre los componentes responsables de la captura de eventos, la visualización de ayuda y la ejecución del *snap*.

El flujo inicia con la clase *UserInput*, que detecta las acciones *GripPress* y *GripRelease*. Estas acciones activan los métodos *OnPickup()* y *OnDrop()* del script *EventCallerOnHoldOnDrop.cs*, la cual centraliza la gestión de eventos durante la manipulación del objeto.

Cuando el usuario toma la lija (*OnPickup*), se envía un evento de red hacia el script *ObjectSnapVisual.cs*, activando el método *Show()*. Esto permite mostrar una referencia visual (por ejemplo, el rotor) que indica dónde puede colocarse el objeto. Al soltar la lija (*OnDrop*), se ejecutan dos acciones:

1. Se oculta la guía visual mediante *Hide()*.
2. Se llama al método *SnapFunc()* de *ObjectSnapBehaviour.cs*.

El script *ObjectSnapBehaviour.cs* contiene los parámetros que regulan el ajuste automático, tales como *SnapPosition*, *SnapRotation*, *DetectionRadius* y *MinActivationDistance*. Si se cumplen las condiciones de proximidad, el sistema alinea la lija con el rotor.

Este sistema cuenta con una arquitectura modular basada en eventos, donde la entrada del usuario desencadena una secuencia de acciones visuales y funcionales que culminan en el posicionamiento automático del objeto.

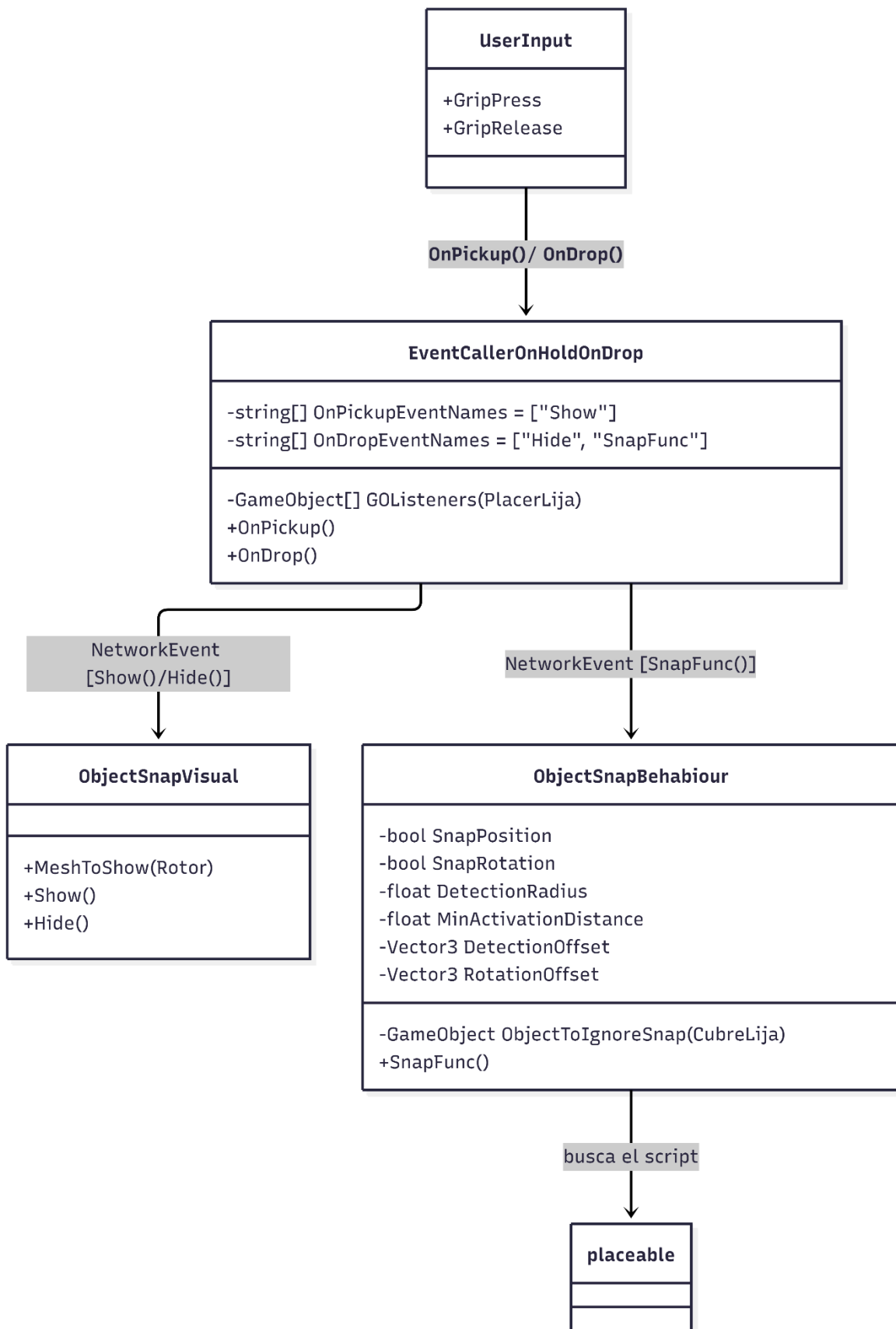


Figura 113. Diagrama de clases del sistema de placer y snap, mostrando la relación entre la entrada del usuario, la gestión de eventos y el ajuste automático del objeto.

Líquidos

El sistema de líquidos se basa principalmente en la generación de partículas con colisiones habilitadas para su detección en otros objetos, se compone principalmente de 2 *scripts* y un *UdonGraph*: el *BotellaLab.cs* y el *IsLiquidSource.cs* y el *ActivarFuenteDeLiquido.asset*

El *UdonGraph* *ActivarFuenteDeLiquido.asset* existe dentro del *prefab* “Fuente de líquido”, y mediante el evento *Interact()* activa y desactiva un sistema de partículas con la configuración de detección de colisiones activada, este comportamiento se utilizó en la tarja del laboratorio, (ver Figura 114).

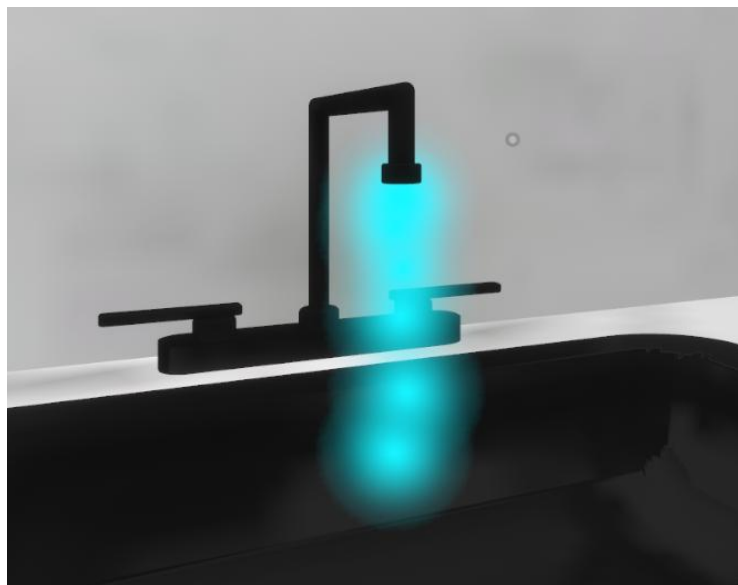


Figura 114. Tarja de laboratorio activa, soltando partículas de agua.

El *script* *IsLiquidSource.cs* existe dentro del *prefab* “Fuente de líquido” y “BotellaAguaLab” (y variantes), funciona únicamente para identificar el objeto al que está asignado en otras secciones de código.

El *script* *BotellaLab.cs* existe dentro del *prefab* “BotellaAguaLab” así como dentro de sus variantes “BotellaLabAlcohol”, “BotellaLabAluminaBlanca”, “BotellaLabAluminaGris” y “BotellaLabNital”, y mediante un evento *OnPickupUseDown()* y *OnPickupUseUp()* activa y desactiva el sistema de partículas, simulando la salida de líquido de las pisetas y aplicando animaciones para darle retroalimentación visual al usuario.

Además, dentro del método *update()* nativo de Unity, se simula el vaciado y llenado de las propias botellas al actualizar el material del *prefab*, estos comportamientos se muestran en la Figura 115

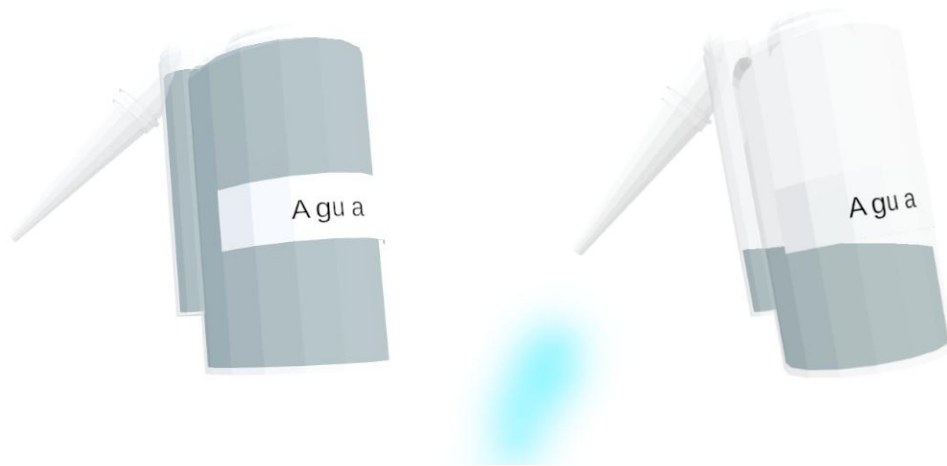


Figura 115. A la izquierda, el prefab "BotellaLab" lleno, a la derecha, el mismo prefab con menos contenido y en uso.

El flujo de datos e interacciones entre los *scripts* de este sistema se muestran en la Figura 116

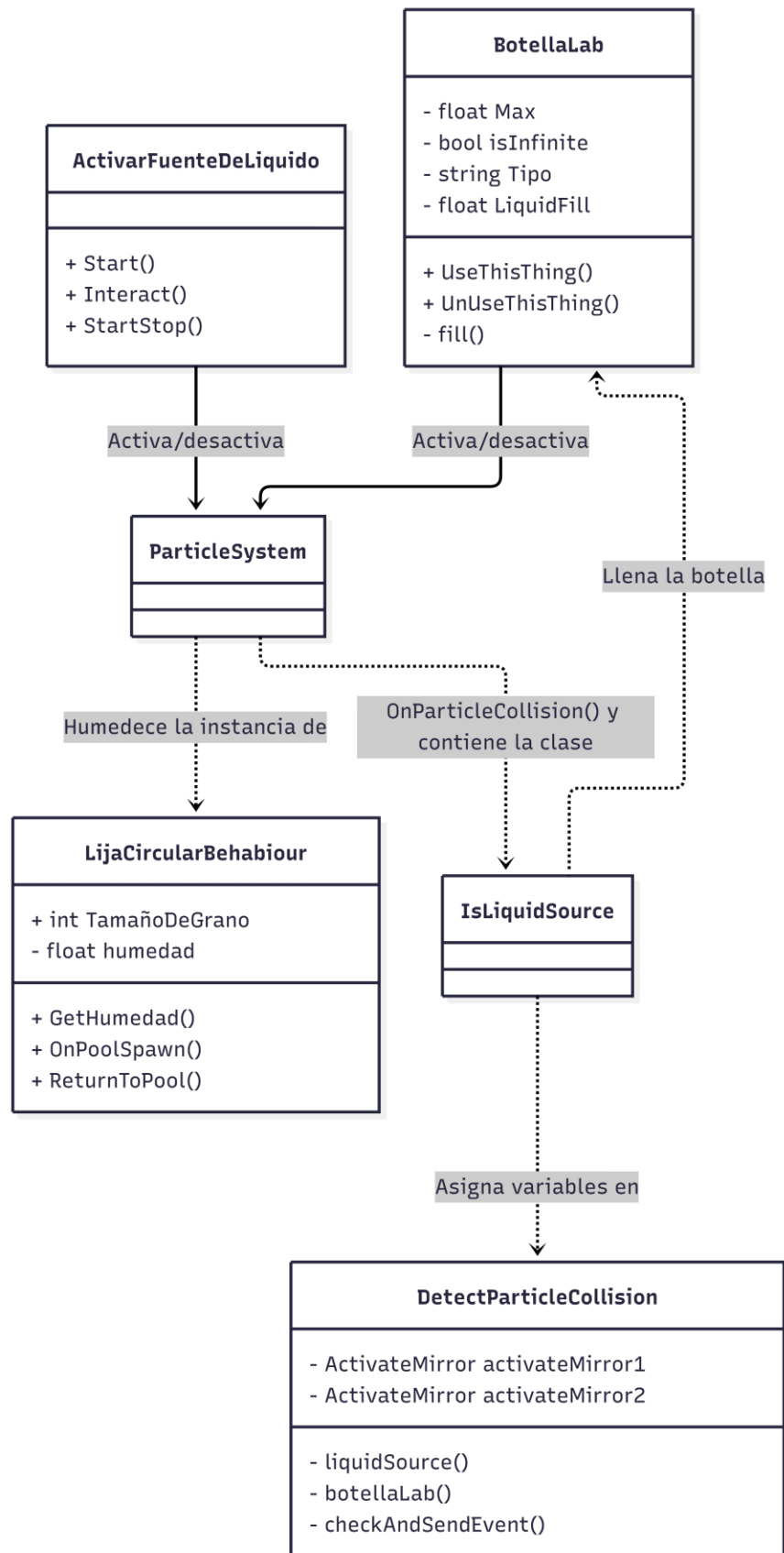


Figura 116. Flujo de trabajo entre los scripts del sistema de líquidos

Calor

El sistema de calor se basa en eventos de colisiones dentro de Unity y se compone de 2 *scripts*, el *PistolaDeCalor.cs* y el *Heatable.cs* (Figura 117).

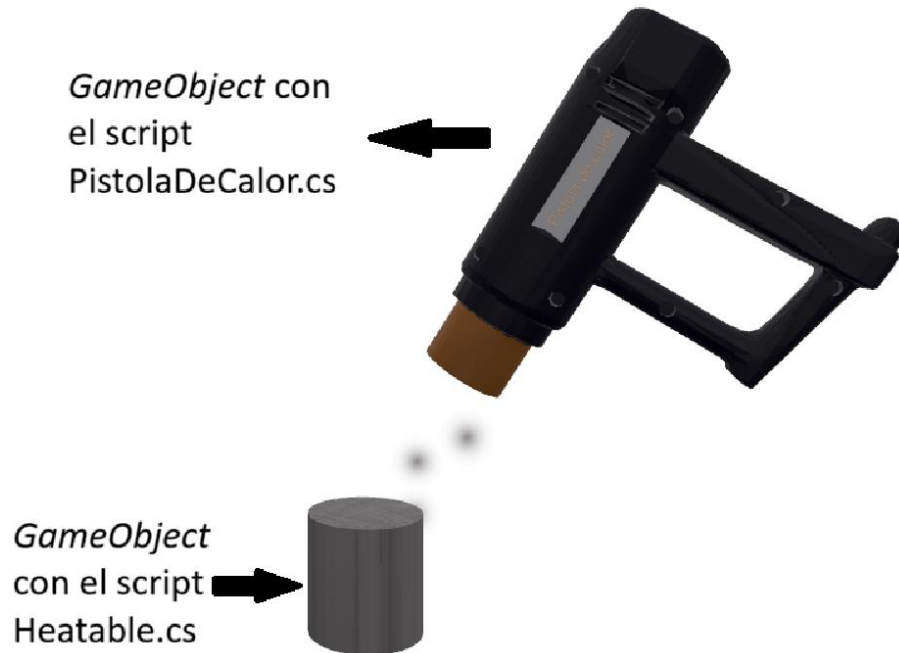


Figura 117. Objetos que interactúan en el sistema de calor.

El *script* *PistolaDeCalor* está colocado en el *prefab* “*PistolaDeCalor*”, los *game components* (GC) de este *prefab* se muestran en la Figura 118. Entre las cosas a destacar, tenemos que se usa un *GameObject* (GO) hijo llamado “*Colision*” con un *capsule collider*²⁴ para detectar aquellos objetos expuestos al calor generado por la pistola de calor, esta malla de colisión se puede visualizar en la Figura 119.

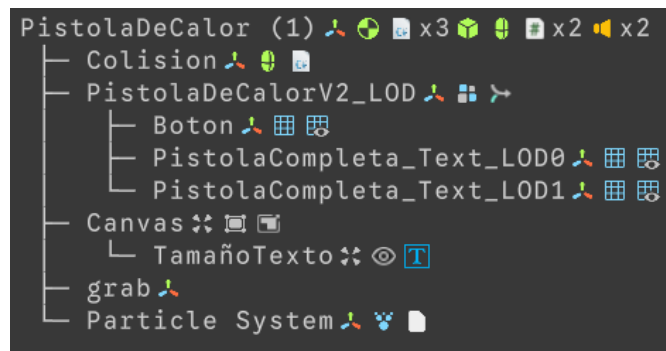


Figura 118. Jerarquía y componentes del prefab *PistolaDeCalor*

²⁴ El *GameComponent collider* puede configurarse para que no participe en las físicas de colisiones y en cambio, permita traspasar esta malla de colisión para detectar objetos.

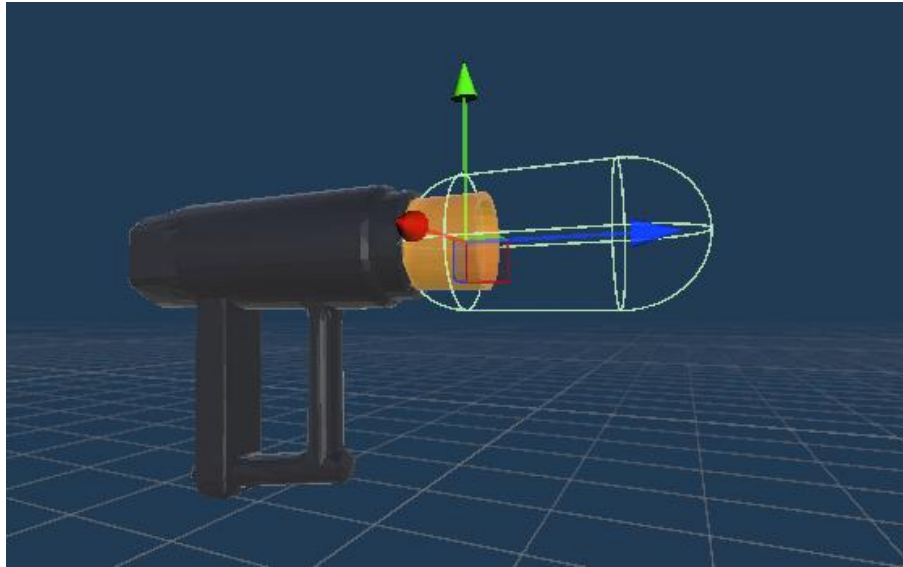


Figura 119. Pistola de calor y su malla de colisión para la zona calorífica.

La pistola de calor además cuenta con un GO llamado *grab* (ver Figura 120) que sirve para la sujeción de la pistola por el usuario, este GO solo tiene el componente *transform*, el cual se asigna a el componente **VRC Pickup** (Figura 121) que se encuentra en el *prefab* PistolaDeCalor.



Figura 120. Grab de la Pistola de calor.

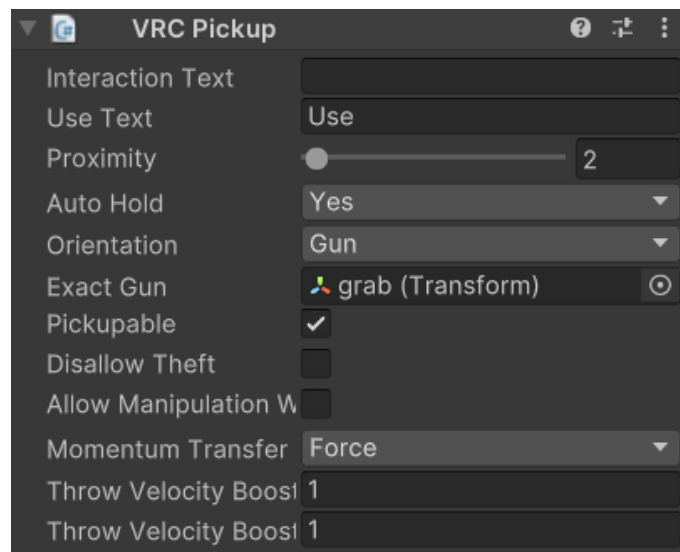


Figura 121. Configuración del componente VRC Pickup del a Pistola de calor.

El *script* PistolaDeCalor.cs detecta aquellos GameObjects (GO) que se encuentren dentro de la zona calorífica de la pistola de calor mediante el evento `OnTriggerEnter()`, una vez detectado un GO se hace la validación de si tiene el *script* Heatable.cs, si lo tiene, entonces diremos que ese objeto es “*heatable*”. La zona calorífica únicamente se activa cuando la variable “*Used*” es *True* y esto ocurre cuando el usuario presiona el botón *Trigger* mientras sujeta la pistola con el botón de *Grip*.

Sí el *script* Heatable.cs existe en el otro GO, entonces se dispara un evento desde el *script* PistolaDeCalor.cs para activar la función `ActivateCalor()` en el *script* Heatable.cs, este evento lo ejecuta el usuario *owner*²⁵ para todos los usuarios mediante el método `SendCustomNetworkEvent()`.

Dentro del *script* Heatable.cs se maneja el estado de la variable “*newcalor*”, que servirá para saber si a un objeto *Heatable* se le está aplicando energía térmica. Para ello, existe la función `ActivateCalor()`.

De manera similar al proceso descrito con anterioridad, se realiza la desactivación de la variable “*newcalor*”, con una detección mediante `OnTriggerExit()` y una sincronización de eventos mediante `SendCustomNetworkEvent()` llamando a la función `DeactivateCalor()`.

El flujo de datos e intercambio de información entre los *scripts* PistolaDeCalor.cs y Heatable.cs se muestra en la Figura 122.

²⁵ En el desarrollo de sistemas multijugador, el término “*owner*” hace referencia al cliente o instancia que posee la autoridad principal sobre un objeto o entidad dentro del entorno compartido. Dicho “*owner*” es responsable de generar y transmitir los estados válidos del objeto hacia el servidor o hacia otros clientes, garantizando la coherencia en la sincronización de eventos.

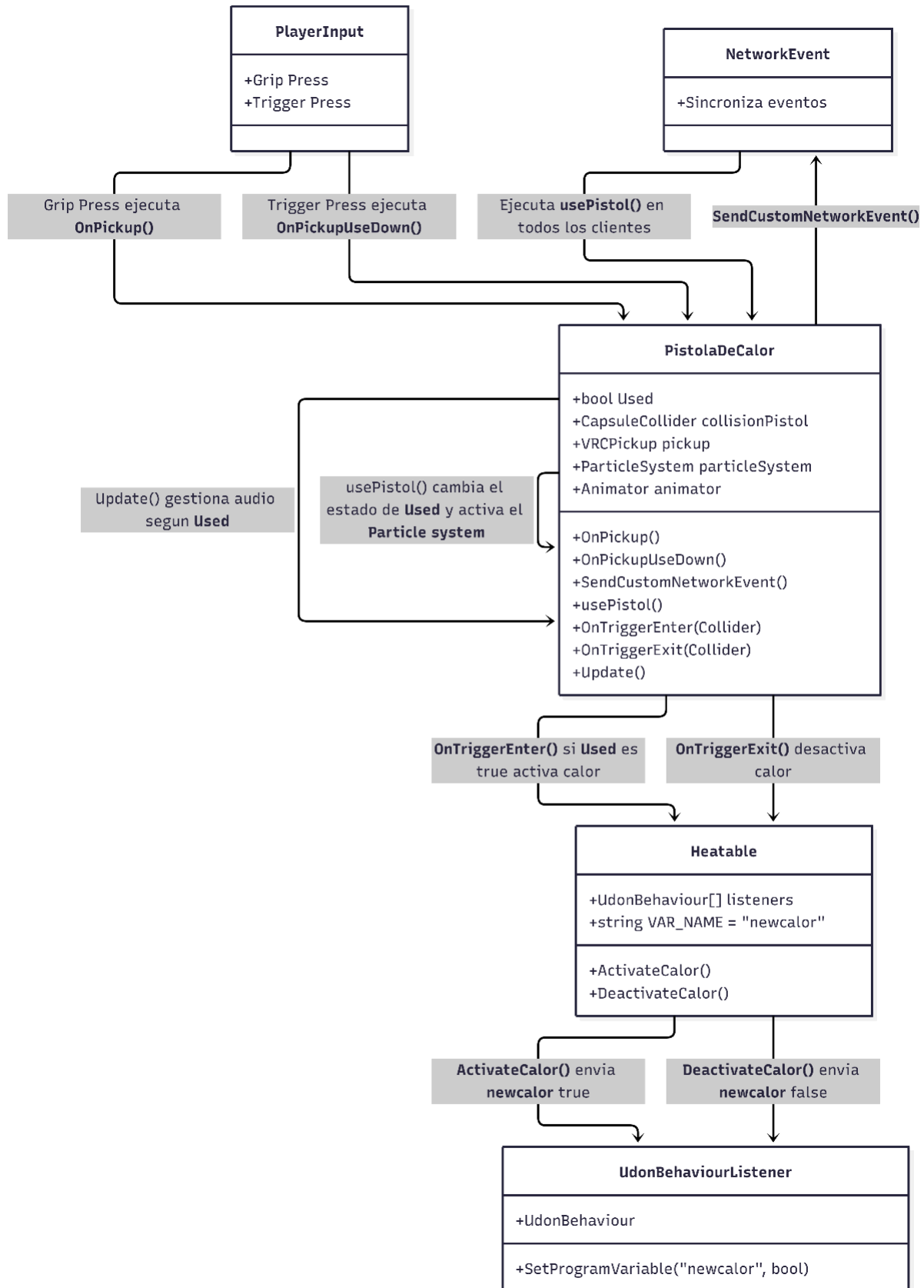


Figura 122. Flujo de datos entre el script *PistolaDeCalor.cs* y *Heatable.cs*

Sistema de lijado

El sistema de lijado se basa en detección de objetos y se compone de 5 scripts, `LijaCuadrada.cs`, `LijaCircularBehaviour.cs`, `LijaRotation.cs`, `LijaDataholder.cs` y `TijerasBehaviour.cs`

El script `TijerasBehaviour.cs` se encarga de actualizar el sistema de animación del objeto para simular el uso de las tijeras, esto lo hace mediante el uso de la función `OnPickupUseDown()` (método de VRChat que se manda a llamar cuando el usuario utiliza el objeto) e invocando una función `SetAnimTrue()` mediante la función `SendCustomNetworkEvent()` por sincronización.

La función `SetAnimTrue()` cambia la variable de la animación “*used*” a *TRUE*, actualizando la animación de las tijeras a las que este asignado y activando un componente *collider* con la opción de *IsTrigger* activa.

De manera similar, se cambia la variable de la animación “*used*” a *FALSE* y se desactiva el componente *collider* mediante la función `SetAnimFalse()`, y esta se manda a llamar mediante la función `SendCustomNetworkEvent()` mediante las funciones de `OnPickupUseUp()` y `OnDrop()`, heredadas del SDK de VRChat, dicho comportamiento se observa en la Figura 123.

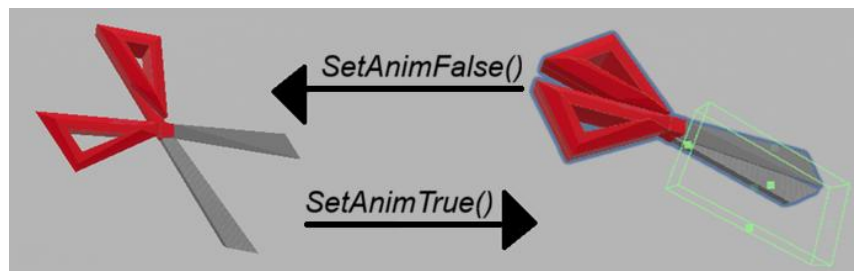


Figura 123. Cambio en las visuales y colisiones del prefab "Tijeras" según su variable de animación "used".

El script `LijaDataholder.cs` solamente contiene la información de los tamaños de lijas disponibles para la simulación de manera pública en un *DataDictionary*, así como los materiales que tendrán las lijas según el tamaño de lija correspondiente.

El script `LijaCuadrada.cs` está dentro del *prefab* “*LijaCuadrada*” y funciona junto con el script `TijerasBehaviour.cs`, y se encarga de manejar la generación de un *prefab* de ‘*LijaCircular*’, dicha generación se realiza dentro de la función `OnTriggerEnter()`, esta se encarga (en este caso) de verificar que el objeto con el que interactuó tuviera el componente “*TijerasBehaviour*”, y tras esto, obtiene una nueva lija de una

VRCObjectPool²⁶, inicializando sus variables (tamaño de grano, material, posición, etc.) según la información almacenada en el script LijaDataholder.cs, para finalmente desactivarse, esta última acción es especialmente importante, pues desactivar el *prefab* original de “*LijaCuadrada*” simula el corte que el usuario le hace a una lija real (como se observa en la Figura 124 y Figura 125).

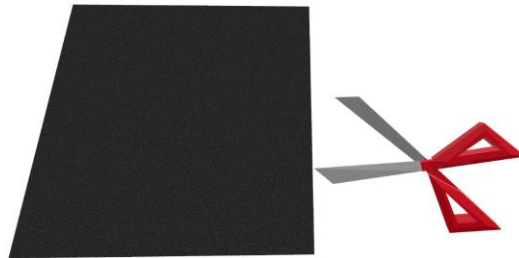


Figura 124. Prefab 'LijaCuadrada' antes de ser cortada.

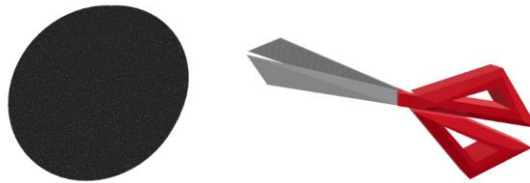


Figura 125. Prefab 'LijaCircular' generada después de desactivar la 'LijaCuadrada' con las tijeras.

Por su parte, el script LijaCircular.cs vive dentro del *prefab* “LijaCircular” y solamente almacena información de la humedad de la lija, así como de sus propiedades físicas.

El script LijaRotation.cs está contenido dentro del *prefab* “desbastadora”, este tiene la función de activar y desactivar el rotor de la desbastadora, para esto, se utilizan switches físicos (del paquete *Immersive Interactions*) que invocan a las funciones MachineEnergy_On() y MachineEnergy_Off(), activando y desactivando el “energizado” simulado de la máquina, así como botones físicos que invoquen las funciones StartMachine() y StopMachine(), las cuales activan y desactivan la rotación y funcionamiento del objeto “desbastadora”.

Además, al acercar un *prefab* de “LijaCircular”, la desbastadora obtiene su referencia mediante el uso de las funciones OnTrigger*() de Unity.

El funcionamiento del sistema completo tomando como base cada clase y como interactúan entre si (a grandes rasgos) se puede ver en la Figura 126.

²⁶ Componente del SDK de VRChat que maneja la activación de un array de GameObjects, permitiendo tener mejoras de rendimiento al tener los objetos instanciados previamente, y sincronizando su estado con cada usuario en la instancia del mundo.

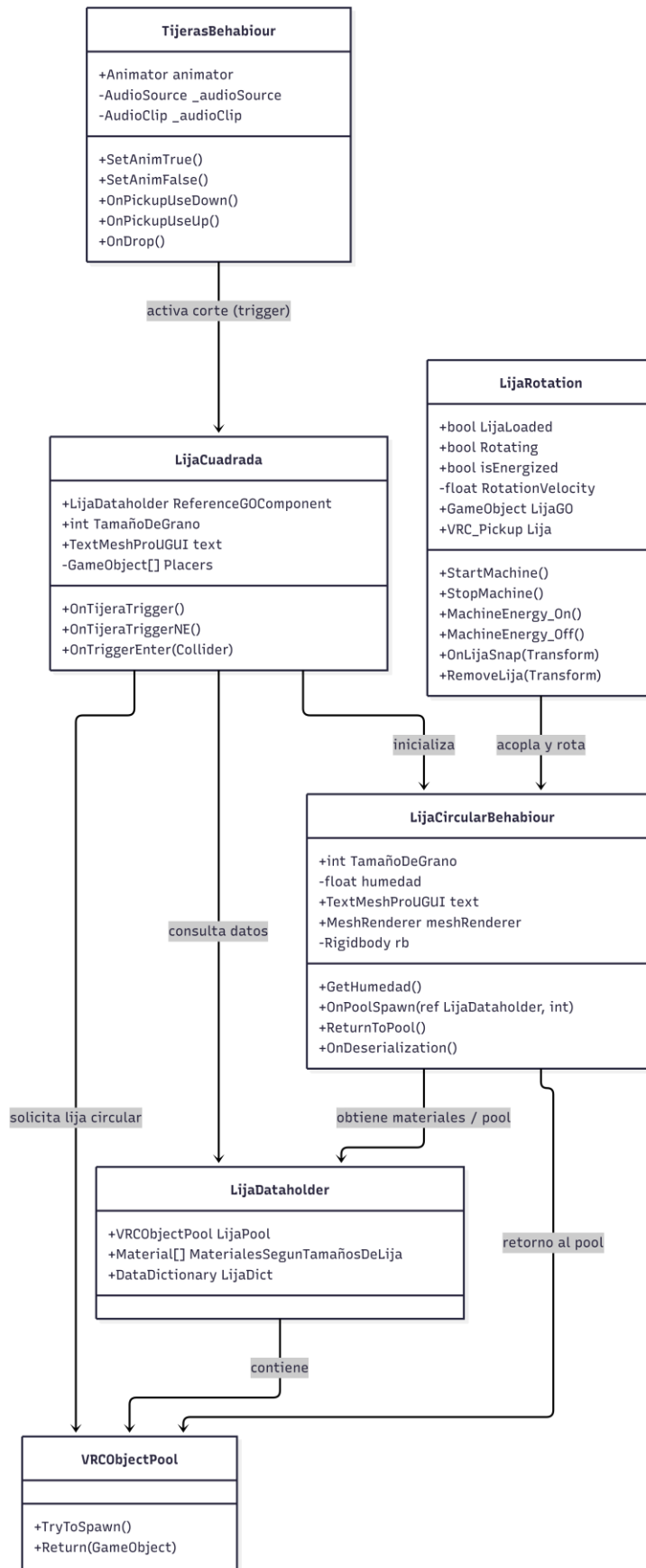


Figura 126. Flujo de datos entre los scripts del sistema de lijado

Prefabs

Mientras que los sistemas describen el comportamiento de los elementos de la simulación, el uso de *prefabs* nos da la facilidad de crear instancias de un *GameObject* (ya sea de forma manual en el editor o generándolos mediante código).

Para el proyecto se desarrollaron más de treinta *prefabs*; sin embargo, en esta sección se describen únicamente aquellos que presentaron una mayor complejidad técnica, que requirieron la aplicación de técnicas específicas para el correcto funcionamiento de sus utilidades, o cuyo desarrollo permitió una mejor visualización de los pasos del procedimiento.

Probeta

La Probeta es la pieza de trabajo que se manipula durante toda la práctica, por lo que se, tiene un alto nivel de complejidad y una gran cantidad de componentes que hacen posible su interacción con los sistemas y objetos del laboratorio virtual.

Para comprender mejor el funcionamiento de la Probeta, empezaremos por describir la estructura del PrefabProbeta, esta se organiza en los siguientes componentes principales. Figura 127

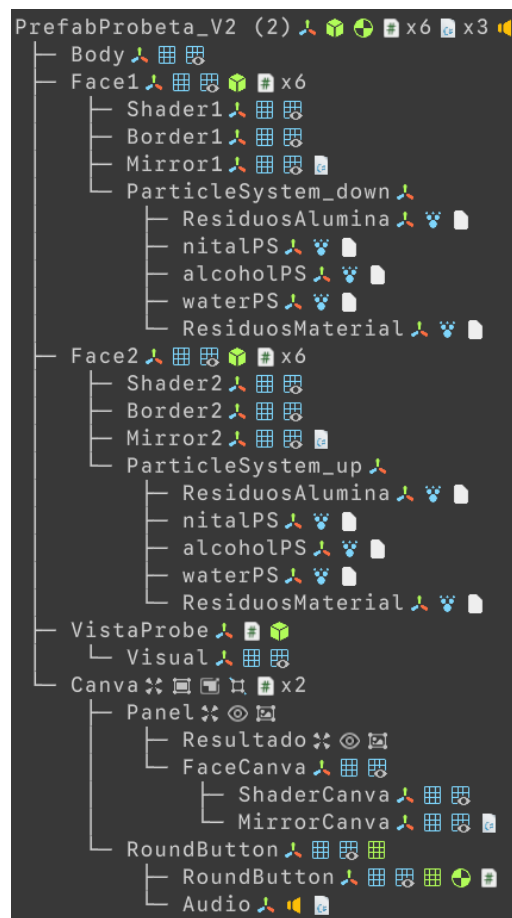


Figura 127. Jerarquía y componentes del PrefabProbeta_V2

Estructura jerárquica del PrefabProbeta_V2:

1 PrefabProbeta_V2 (Objeto raíz)

Este objeto encapsula todos los componentes necesarios para representar tanto el comportamiento físico como la evolución visual de una probeta durante las distintas etapas del proceso (desbaste, pulido, limpieza y ataque químico).

Este objeto se encarga de gestionar el proceso de desbaste en las caras de la probeta mediante **ProbeBehaviour.cs**, para saber que cara debe ser desbastada existe el script **IdentifyFace.cs** que se encuentra en los objetos “Face1” y “Face2”, este asigna las referencias de la cara que este en contacto con la lija montada sobre la desbastadora para distribuir los eventos a las caras activas.

También se encarga de la detección de interacciones físicas mediante colisiones y partículas mediante el script **DetectParticleCollisionFace.cs** y las asigna a la cara correspondiente detectando la orientación de la probeta mediante el script **OrientationChecker.cs**

Cuenta también con el script **HapticFeedback.cs** que permite a los usuarios VR sentir una retroalimentación háptica a través de los controles Meta Quest durante los procesos de desbaste y pulido. El script **BorderColor.cs** servirá para que los usuarios tengan una retroalimentación visual y sepan si están realizando el procedimiento de la práctica correctamente a través de un aura que aparece alrededor de la probeta.

El script **Ejectable.cs** es una clase etiqueta y trabaja en conjunto con el script **EjectObject.cs** (presente en la desbastadora y pulidora) para simular la mecánica de eyección de la probeta cuando esta se suelta en el proceso de lijado o pulido.

1.1 Body

El objeto Body representa la estructura física principal de la probeta y se encarga de definir la geometría cilíndrica de la probeta. También contiene el material que utiliza el script **BorderColor.cs** para la retroalimentación visual.

1.2 Face1 (y Face2)

La Face1 (que llamaremos “cara A” de la probeta) representa una de las caras funcionales de la probeta. Además de asignar las referencias para el desbaste de la probeta mediante el script **IdentifyFace.cs**, se encarga de manejar los procesos de pulido, limpieza y ataque químico (en la cara correspondiente).

Lo anterior se logra mediante el script **FaceBehaviour.cs** que actúa como mánager para gestionar la preparación metalográfica posterior al desbaste, esta preparación ocurre en los scripts **PulidoAlumina.cs**, **LimpiezaScript.cs** y **AtaqueQuimico.cs**

Este objeto también contiene al script **Heatable.cs** (clase etiqueta) que trabaja con el sistema de calor.

1.2.1 Shader

Para simular el proceso de desbaste se creó un ShaderGraph en Unity que permitiera modificar la profundidad de desbaste y la orientación de desbaste, el desbaste logrado con algunas lijas se muestra en la Figura 128, Figura 129 y Figura 130.



Figura 128. Desbaste en shader con lija 80

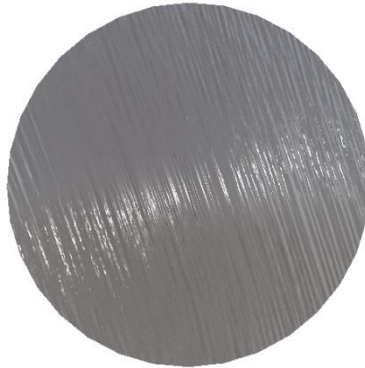


Figura 129. Desbaste en shader con lija 600



Figura 130. Desbaste en shader con lija 800

1.2.2 Mirror

Este objeto tiene el componente VRC Mirror Reflection y se activa en la etapa de pulido con alúmina blanca para simular el acabado espejo.

1.2.3. ParticleSystem

Para simular los efectos líquidos que interactúan en con la probeta se usaron *particle system* los cuales simularan efectos como agua, alcohol y nital sobre la superficie de la probeta.

Los objetos y componentes presentes en la Face1 también están presentes en la Face2 pero representan la “cara B” de la probeta.

1.3 VistaProbe

El objeto VistaProbe se trata de un cubo interactuable que permite habilitar o deshabilitar un panel de visualización de las caras de la probeta. Figura 131.

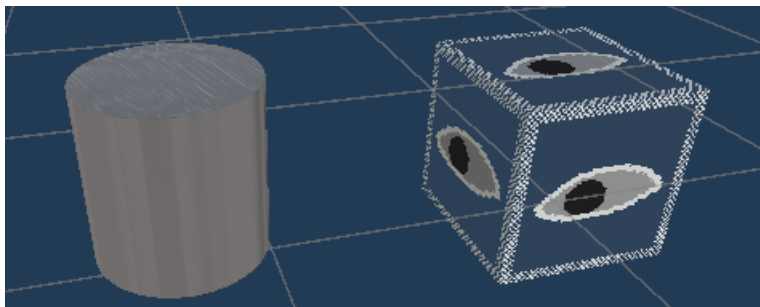


Figura 131. Probeta con el objeto VistaProbe activo

1.4 Canva

Objeto que contiene la representación visual de una cara de la probeta, para cambiar la cara de visualización simplemente se presiona el botón en para parte inferior izquierda del panel. Figura 132

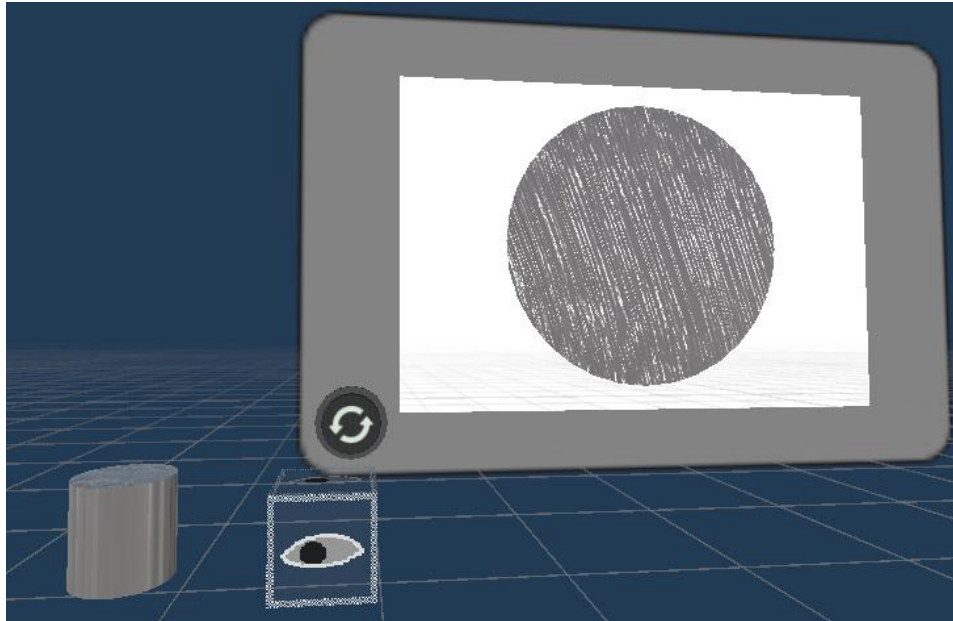


Figura 132. Probeta, VistaProbe y Canva

Arquitectura del PrefabProbeta_V2:

La arquitectura de la Probeta representa la organización funcional de los distintos subsistemas que intervienen en la simulación del proceso de preparación metalográfica. A diferencia de la estructura jerárquica, esta arquitectura describe la forma en que los componentes interactúan entre sí, ver Figura 133.

Capa interacción

Constituye el punto de contacto entre el usuario y el sistema, permitiendo la manipulación directa de la probeta y la activación de los distintos procesos de la práctica. En esta capa se concentran los elementos que traducen las acciones del usuario en eventos que son propagados hacia el resto del sistema. Estas interacciones se realizan principalmente mediante mecanismos físicos simulados, como colisiones, uso de herramientas y emisión de partículas.

Capa de máquinas

En esta capa se modelan los comportamientos de la desbastadora y pulidora, las cuales generan condiciones específicas necesarias para modificar el material de las caras de la probeta. Estas condiciones incluyen la operación de las máquinas rotatorias y la presencia de abrasivos (lijas) o compuestos de pulido (alúminas). La maquinaria no

modifica directamente el estado interno de la probeta, sino que crea el entorno necesario para que la probeta interprete los procesos que el usuario está realizando.

Sistema de caras

Permite que cada cara funcione de manera independiente para recibir eventos, procesar estados y ejecutar las distintas etapas del procedimiento metalográfico. Además, se encarga de determinar qué cara debe responder a las interacciones en función del contexto físico, como el contacto con herramientas o la orientación espacial.

Probeta *manager*

Su responsabilidad es mantener la coherencia del estado de la probeta, asegurando que las interacciones físicas y los eventos generados se asignen correctamente a la cara correspondiente. Asimismo, este núcleo permite integrar múltiples fuentes de información, como colisiones de partículas y orientación espacial, para tomar decisiones sobre el flujo del proceso.

Módulos de procesos

Representan las distintas etapas del procedimiento metalográfico que se simulan (después del desbaste) en el entorno virtual. Estos módulos se ejecutan de manera secuencial y dependen del cumplimiento de ciertos criterios para avanzar a la siguiente etapa, siguiendo un flujo lógico progresivo.

Capa de retroalimentación

Tiene como objetivo proporcionar al usuario información sobre el estado del proceso y contribuir a la experiencia inmersiva del usuario. Esta retroalimentación se presenta de forma visual indicando si las acciones realizadas son correctas o si es necesario ajustar el procedimiento y, de manera háptica durante los procesos de pulido y desbaste simulando los efectos de vibración mientras se apoya la probeta contra los abrasivos.

Elementos visuales de la probeta

La capa de visualización es responsable de representar el estado físico de la probeta simulando fenómenos como el desbaste, la rugosidad superficial y el acabado espejo, lo que permite observar de manera clara la evolución del material a lo largo del proceso.

Capa UI

Permite al usuario observar el estado de la probeta a través de una representación desacoplada del entorno principal. Esta capa actúa como un visor auxiliar que replica en tiempo real las propiedades visuales de la probeta y solo está disponible para los usuarios de PC

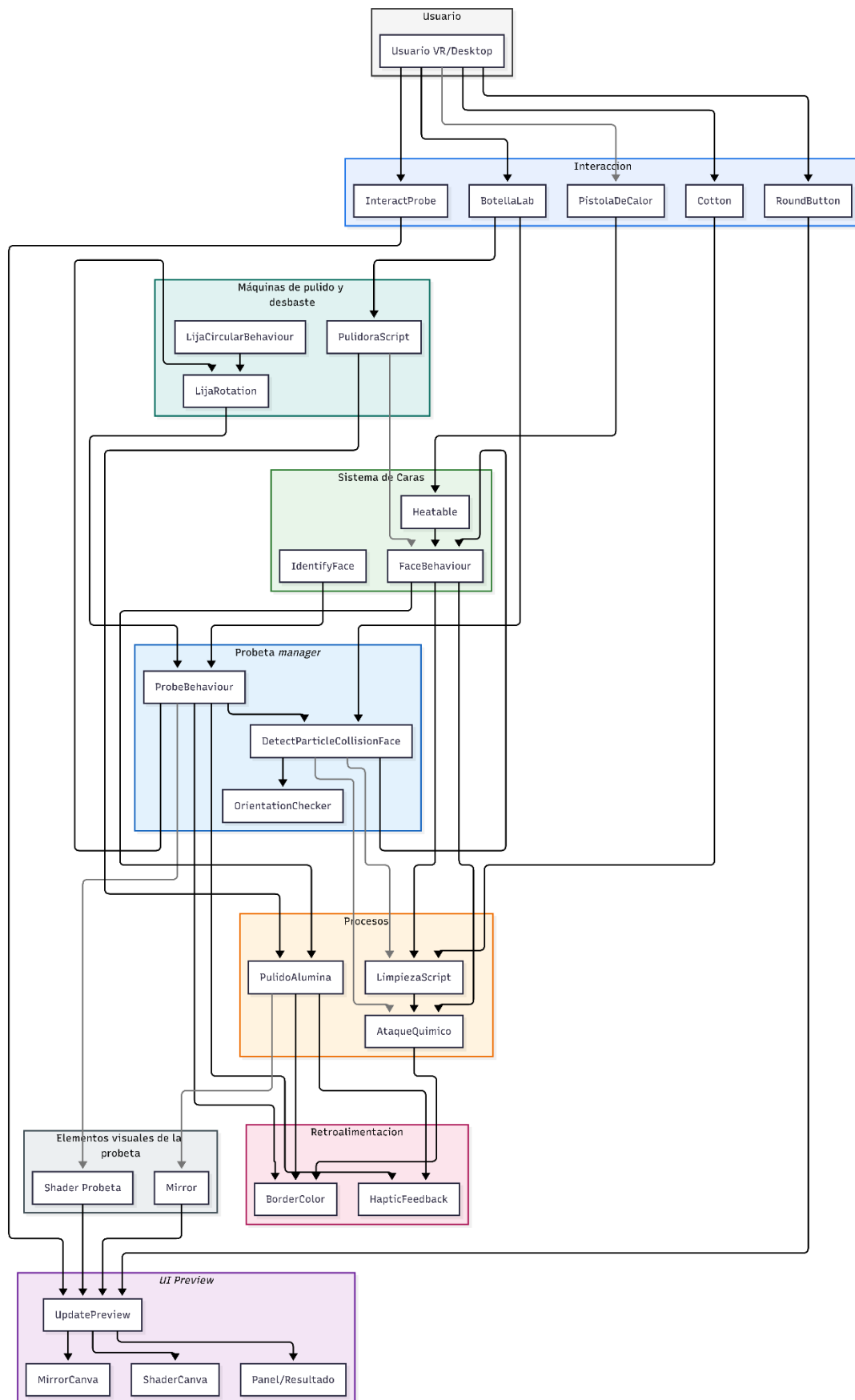


Figura 133. Arquitectura de la Probeta

Microscopio (MicroscopeDataholder + GIT)

El uso del microscopio representa el paso final del desarrollo de la práctica, y parte de la experiencia recae en la observación de la microestructura, teniendo esto en cuenta, se tomaron diversas decisiones creativas para darle la misma experiencia al usuario.

Una de las decisiones tomadas fue el cambiar los objetivos por un panel único (como ya descrito en la sección de modelado), permitiendo así observar el resultado de la microscopia directamente al colocar la cabeza dentro del ocular, y brindando al usuario una mayor sensación de inmersividad y realismo; Para lograr esto, se hizo uso de 3 elementos distintos, la integración con **GitHub**, el prefab “**MicroscopeDataholder**” y el componente **ImageRaw**.

Una de las principales limitaciones a la hora de subir mundos a VRChat es el tamaño del mundo, y al realizar pruebas iniciales, las imágenes constituían una gran parte del tamaño del entorno, por lo que se optó por utilizar un medio de almacenamiento externo, para esto, dentro del SDK de VRChat existe la posibilidad de descargar imágenes de internet, y uno de los dominios permitidos para la descarga de imágenes es GitHub²⁷.

Para habilitar las descargas de imágenes desde GitHub, fue necesario implementar una GitHub *Page* ²⁸ con las imágenes referenciadas dentro del HTML para tener un enlace directo a ellas, y dichos enlaces usarlos para descargar las imágenes.

Para utilizar los enlaces, se generó el *prefab* “MicroscopeDataholder”, el cual contiene 2 scripts generados para descargar la información de las imágenes: El script *ElementType.cs*, el cual contiene los enlaces a las imágenes a descargar según el aumento que tiene el microscopio, y el script *MicroscopeElements.cs*, el cual se encarga de poner en cola de descarga todas las imágenes referenciadas en el *ElementType*, así como almacenar las imágenes de respaldo.

Sin embargo, las imágenes descargadas por este método se guardan en la memoria como una *Texture2D*, el cual es una clase que representa una textura dentro de Unity, por lo que, para desplegarla sobre la escena sin necesidad de preprocesarla, es necesario usar un componente *ImageRaw*, el cual, contrario al componente *Image*, permite mostrar texturas.

Además, dado que también es posible utilizar el laboratorio sin usar visores de VR, se agregó un botón lateral al microscopio el cual al ser accionado permitiera observar el resultado de la prueba metalográfica sin la necesidad de usar el ocular, en una UI lateral la cual funciona de la misma manera que el ocular.

²⁷ GitHub es una plataforma basada en la nube donde puedes almacenar, compartir y trabajar junto con otros usuarios para escribir código.

²⁸ GitHub Pages es un servicio de alojamiento de sitio estático que toma archivos HTML, CSS y JavaScript directamente desde un repositorio en GitHub [...] y publica un sitio web.

El pipeline de descarga y despliegue de texturas descrito anteriormente se puede observar en la Figura 134

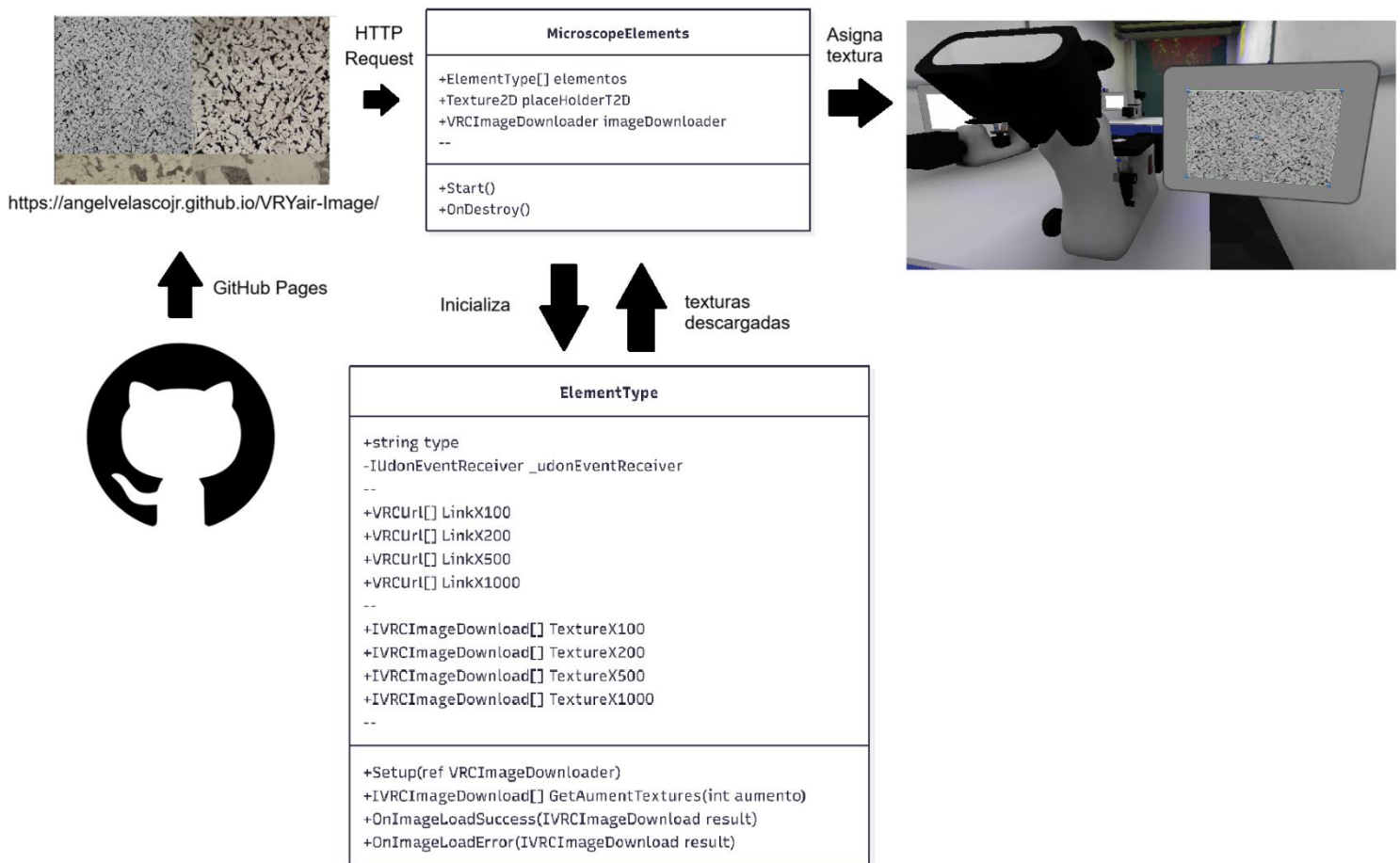


Figura 134. Pipeline de descarga de texturas desde GitHub hasta el laboratorio.

Otra de las decisiones tomadas fue el uso del LOD en este modelo (como ya descrito en la sección de modelado), al agregar un modelo con capacidades de LOD dentro de Unity, el motor grafico interpreta la información y la utiliza dentro de un componente LOD Group.

El componente *LOD Group* maneja los niveles de detalle (LOD) de los objetos de la escena, esto lo hace al referenciar los componentes *mesh renderer* que contienen las mallas de distintas calidades de un objeto, y cambiarlas entre ellas según la distancia entre el objeto y la cámara, reduciendo la cantidad de polígonos innecesarios renderizados en la escena.

Para un objeto como el microscopio, el LOD llena sus referencias automáticamente, sin embargo, la distancia a la cual las distintas mallas del objeto se intercambian se deben configurar según el contexto de la escena, en este caso, lo que se muestra en la Figura 135 es la configuración tomada para uno de los microscopios del laboratorio

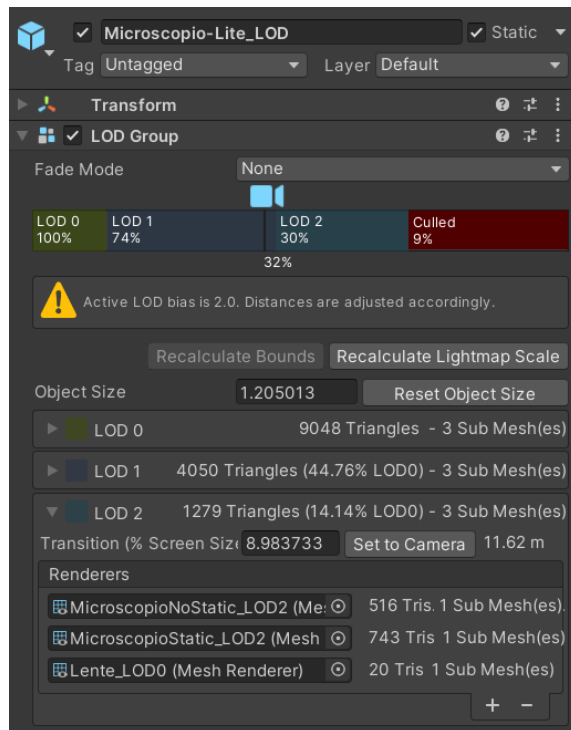


Figura 135. Configuración del componente LOD Group para el microscopio.

Algodón

El Algodón no tiene una alta complejidad, sin embargo, una de las partes más relevantes de este es el cambio visual que tiene al realizar la limpieza de a probeta, siendo que aparenta una textura más grisácea y desvanecida, simulando una gasa de algodón mojada.

Para realizar este efecto, se utilizaron 2 scripts distintos, el primero se encarga de almacenar las referencias hacia el material al detectar la colisión con el alcohol de la probeta y cambiar sus propiedades visuales, mientras que el segundo se encarga de llevar un contador para realizar un desvanecido progresivo simulado en el *shader* del algodón, el proceso de desvanecido se observa en la Figura 136.



Figura 136. Desvanecido y cambio de color aplicado en el algodón

Mueble

En el caso del mueble, se buscó replicar la interacción que una persona tendría con un mueble real, utilizando las manijas del modelo como puntos de interacción para simular la apertura y cierre de la puerta.

Debido a que el SDK empleado no cuenta con una funcionalidad nativa de tipo *drag-and-drop*, fue necesario implementar un sistema que permitiera modificar la rotación del objeto durante la interacción. Para ello, se utilizó un objeto invisible (al que llamaremos *Handle*) que el usuario puede sostener, cuya posición se vincula a la rotación de la puerta (Figura 137). De esta manera, al manipular dicho objeto se produce el movimiento de apertura o cierre, dicho comportamiento se puede observar en la Figura 138, Figura 139 y Figura 140.

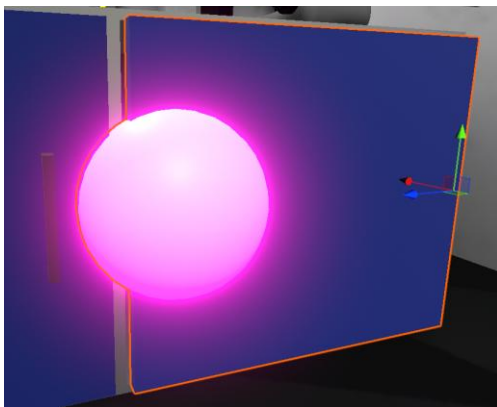


Figura 137. Objeto Handle invisible, con textura rosa para ejemplificación.



Figura 138. Usuario sosteniendo el objeto Handle, puerta semi cerrada.

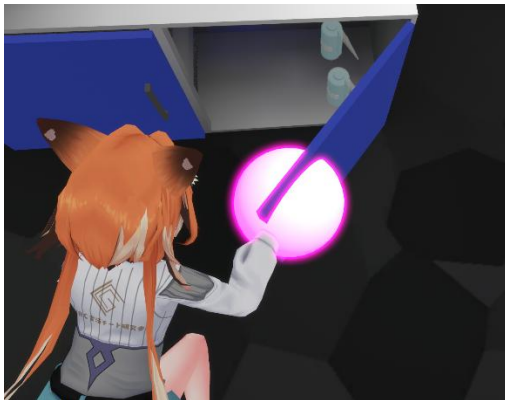


Figura 139. Puerta semi abierta.



Figura 140. Puerta abierta, aun siguiendo el objeto Handle a distancia.

Integración de todos los sistemas

Una vez terminados todos los elementos funcionales del laboratorio, y como siguiente paso natural, se procedió con la generación del espacio de trabajo, siempre basándonos en el *layout* básico planteado anteriormente y traduciendo las dimensiones planteadas al entorno virtual.

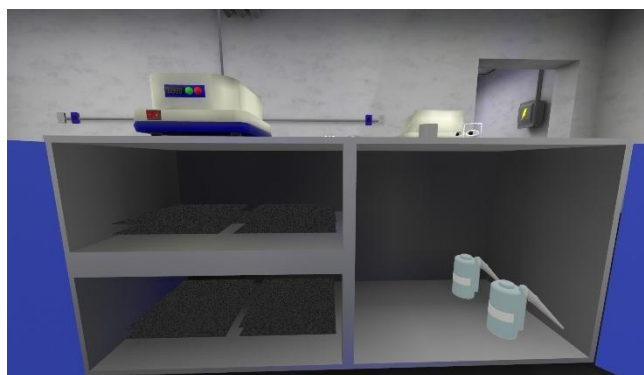
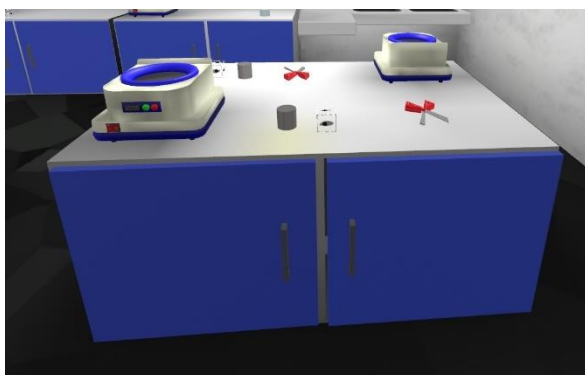
Si bien el objetivo principal del entorno virtual es dar un entorno al cual el usuario pueda desarrollar la práctica al mismo tiempo que practica los conocimientos o se capacita para el uso del laboratorio real, es importante no olvidar la parte creativa que el desarrollar un entorno virtual propicia, pues es posible agregar elementos fantásticos los cuales tendrán una funcionalidad más decorativa, añadiendo más profundidad a la inmersión del usuario, con esto en mente, la distribución de elementos se realizó como se muestran en las siguientes imágenes.

Exterior del laboratorio

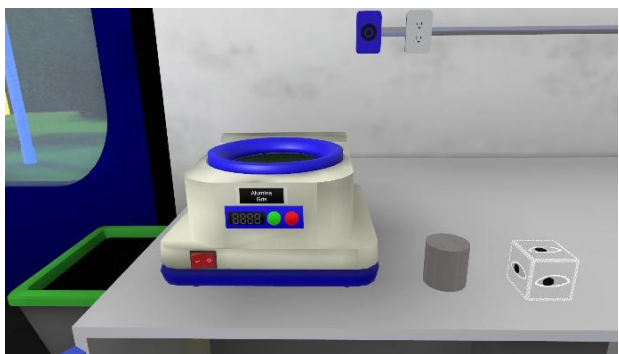
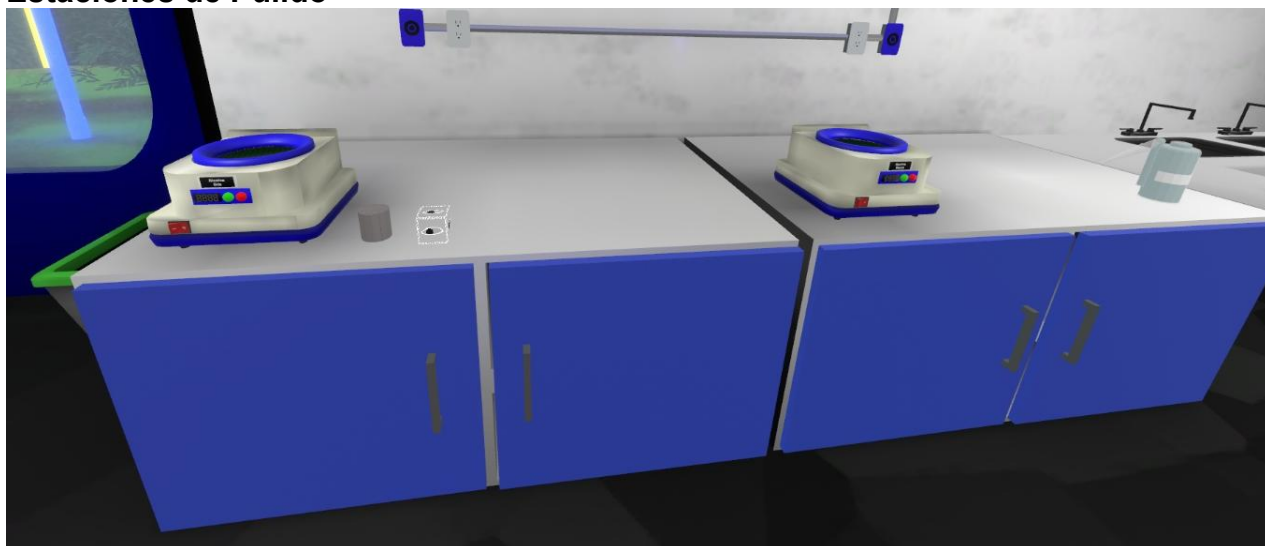


Estaciones de desbaste





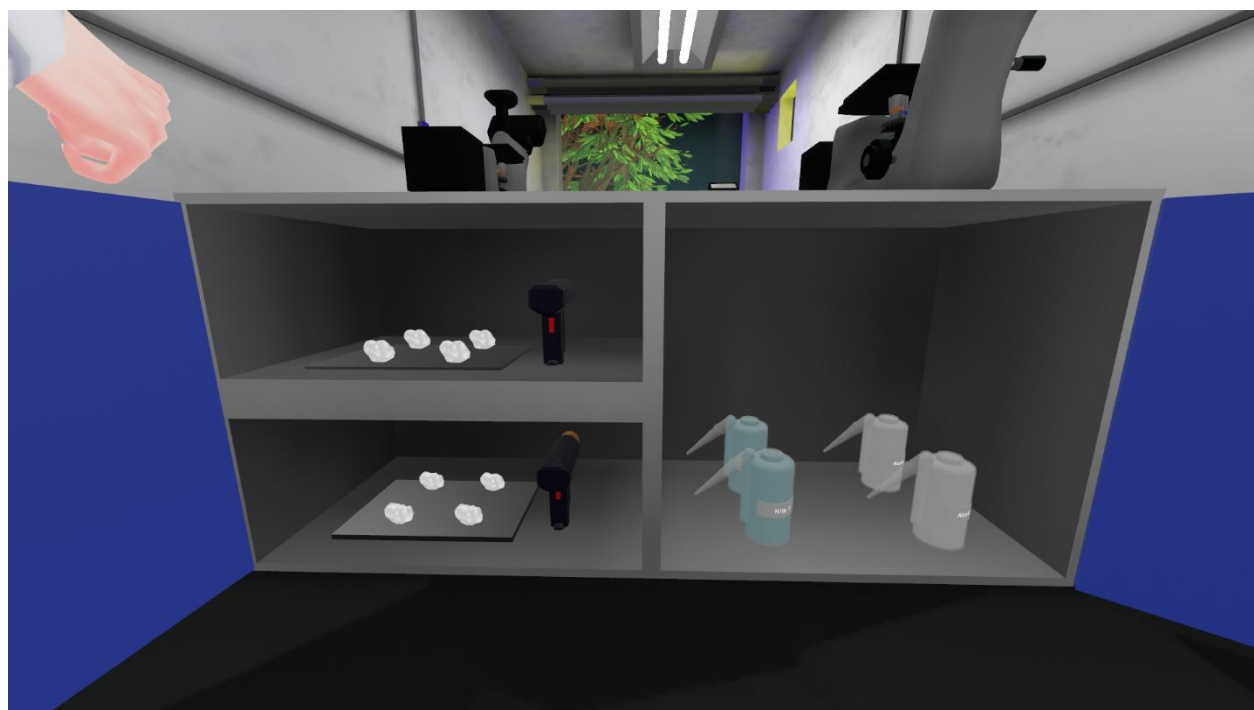
Estaciones de Pulido



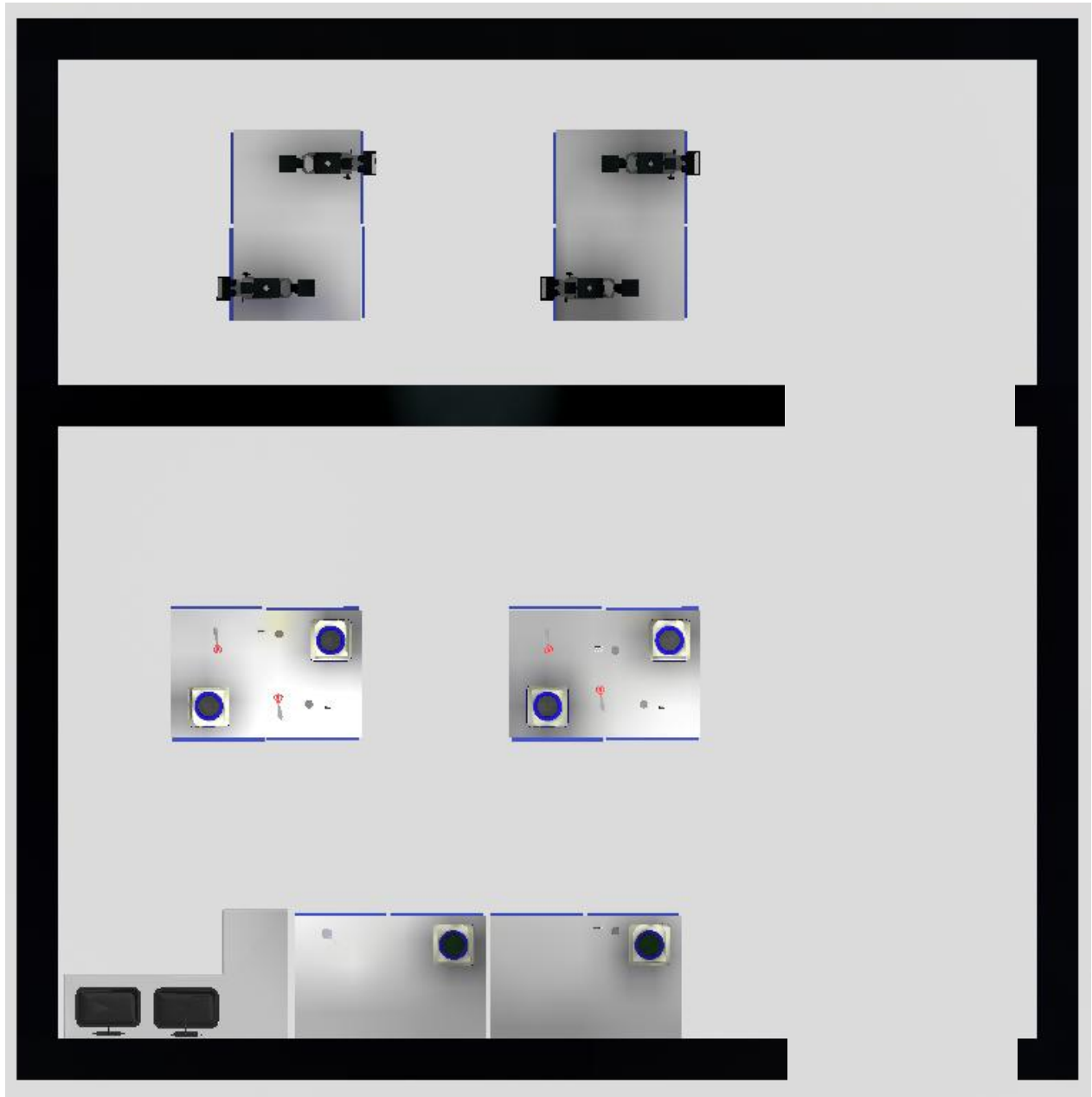
Zona de Tarjas



Zona de Ataque Químico/Microscopía



Layout



Depuración y optimización

Una vez posicionados los elementos dentro del entorno, y antes de proceder con los resultados, es necesario hablar de algunas de las técnicas de optimización utilizadas que mejoraron el rendimiento del laboratorio virtual.

Una de las técnicas fue el *Light Baking*, proceso mediante el cual la iluminación de objetos estáticos dentro de la escena es precalculada y almacenada en mapas de luz, permitiendo obtener resultados visuales de alta calidad, incluyendo sombras suaves e iluminación indirecta, sin gastar recursos en tiempo real, sin embargo, es necesario recordar que la correcta configuración de importación a Unity fue necesaria para poder generar correctamente los mapas de luz.

En conjunto con la técnica anterior, las *Light Probes* consisten en puntos distribuidos estratégicamente en la escena que almacenan información de iluminación precalculada, permitiendo que los objetos dinámicos (como aquellos manipulados por el usuario durante la práctica) reciban iluminación, evitando discrepancias visuales.

Finalmente, se empleó la técnica de *Occlusion Culling*, dicha técnica evita el procesamiento de objetos que no son visibles para la cámara, ya sea por encontrarse fuera del campo de visión o por estar ocultos detrás de otros elementos, reduciendo la carga de procesamiento en el proceso.

Las técnicas antes descritas, en combinación con otras aplicadas, permitieron una mejora considerable en el rendimiento del laboratorio, obteniendo un aumento de 66 FPS (equivalente a una mejora de 312%) en las zonas del desarrollo de la práctica, mientras que en las zonas exteriores se obtiene un aumento de 70 FPS (equivalente a una mejora de 391%). Imágenes de la comparativa de rendimiento en ambas versiones, así como ejemplos de la calidad grafica se pueden observar en la Figura 141.

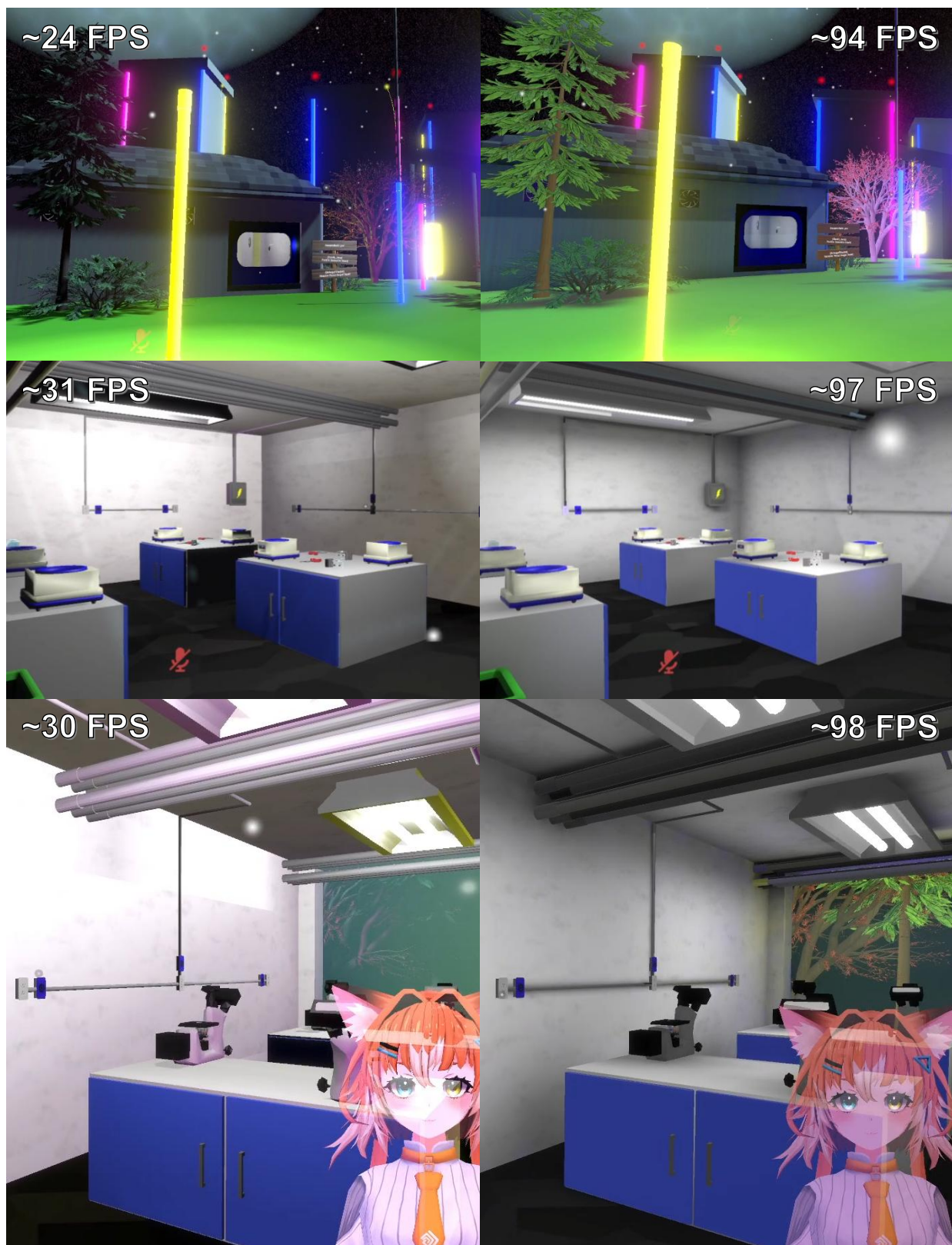


Figura 141. A la izquierda: Iluminación en tiempo real. A la derecha: Light Baking (Iluminación precalculada), Lightmaps, Lightprobes y Occlusion Culling.

4. Resultados

Protocolo y Testeo del Laboratorio Virtual

El punto de aparición del jugador (Spawn) está colocado fuera del laboratorio, por lo que, lo primero que tendrá que hacer será entrar por la puerta principal como se muestra en la Figura 142. Una vez dentro del laboratorio, el usuario podrá disponer de diversas estaciones con las cuales realizará el procedimiento metalográfico.



Figura 142. Entrada al laboratorio.

1. Desbaste

Para comenzar con la práctica, el usuario puede elegir alguna de las estaciones de lijado, dichas zonas contienen la maquinaria necesaria para realizar la primera etapa de la práctica, como son desbastadoras, lijas y la propia probeta a trabajar.

Una vez seleccionada la estación de trabajo, el usuario deberá seleccionar la lija de mayor tamaño de grano, y utilizar las tijeras para recortar la lija seleccionada (Figura 143).

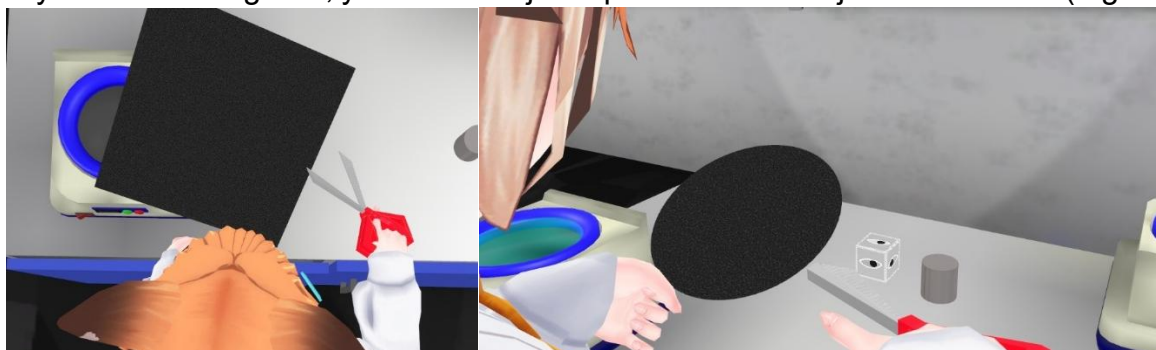


Figura 143. Uso de tijeras dentro del laboratorio, a la izquierda antes de ser cortada, a la derecha después de ser cortada.

Una vez se cortan las lijas, es necesario montarlas en la desbastadora, para esto, primero se agarra el elemento azul llamado “anillo de protección” y se retira de la desbastadora, tras esto, se agarra la lija recortada previamente y se monta en la pulidora, finalmente, se vuelve a colocar el anillo para sujetar la lija, el procedimiento se puede observar en la Figura 144.

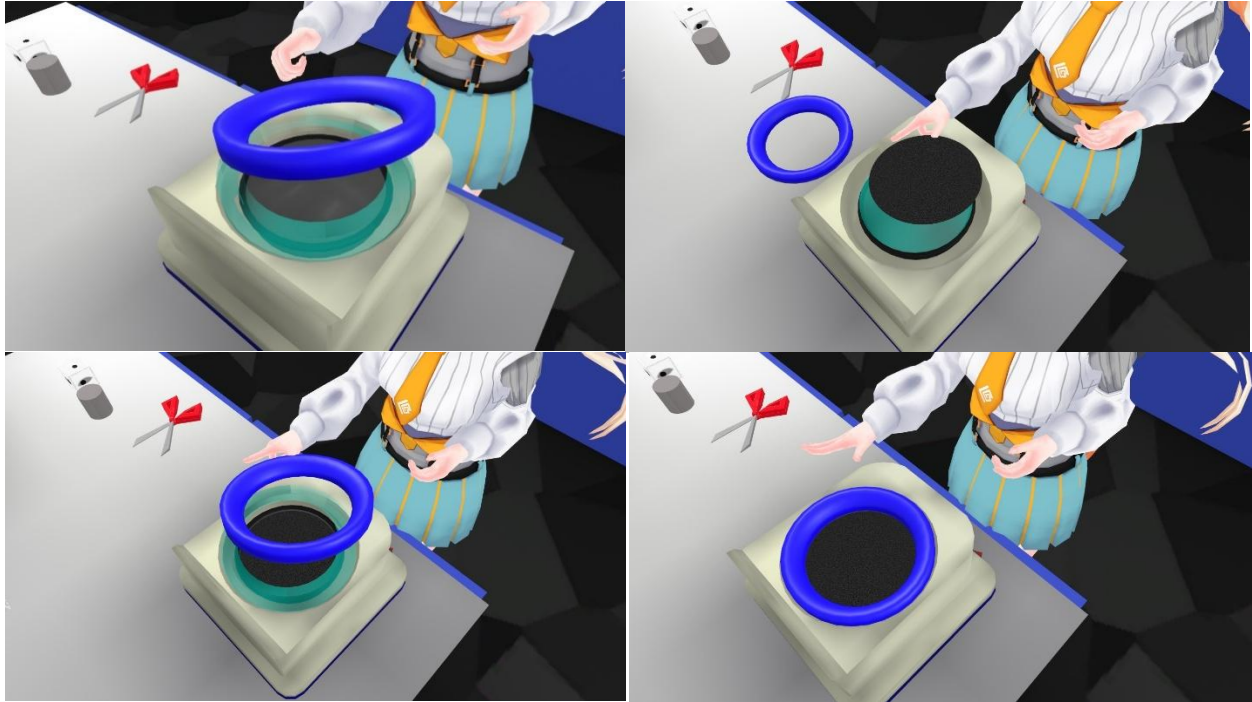


Figura 144. Preparación de la desbastadora.

Para proceder con el procedimiento, es necesario energizar la desbastadora utilizando el switch rojo que está en la parte inferior de la máquina, su activación se observa en la Figura 145 y Figura 146.



Figura 145. Máquina apagada.



Figura 146. Máquina encendida, switch activado

Después, para iniciar la desbastadora, se utiliza el botón verde de la parte delantera (Figura 147). Si es necesario cambiar la lija a una de menor tamaño, también es posible apagar la máquina presionando el botón rojo (Figura 148).

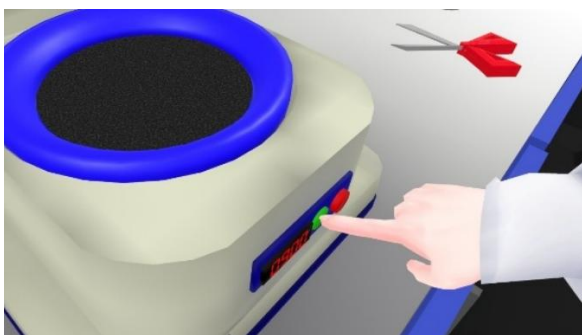


Figura 147. Encendido de la desbastadora

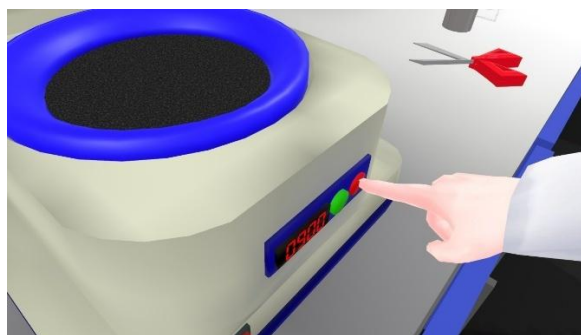


Figura 148. Apagado de la desbastadora

Una vez activada la desbastadora, se deberá acercar la probeta a la lija recién puesta para generar el desbaste homogéneo (Figura 149).

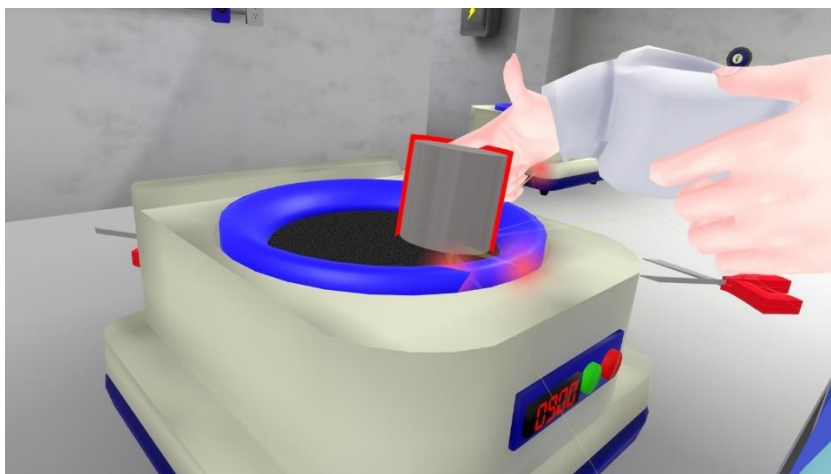


Figura 149. Acercado de la probeta sin utilizar refrigerante

Sin embargo, el desbaste no ocurrirá a menos que se utilice agua como refrigerante, dándonos un parpadeo en color rojo como retroalimentación si se está realizando algo incorrectamente, o verde si es posible pasar al paso siguiente, este paso se puede observar en la Figura 150.



Figura 150. 2 personas utilizando el laboratorio en conjunto, uno sosteniendo la probeta, otro aplicando refrigerante.

Esto se repite con todos los tamaños de lija hasta tener un acabado liso, sin embargo, si durante el paso anterior la piseta se queda sin agua, es posible rellenarla al abrir la llave de la tarja y acercar la piseta al agua (Figura 151).

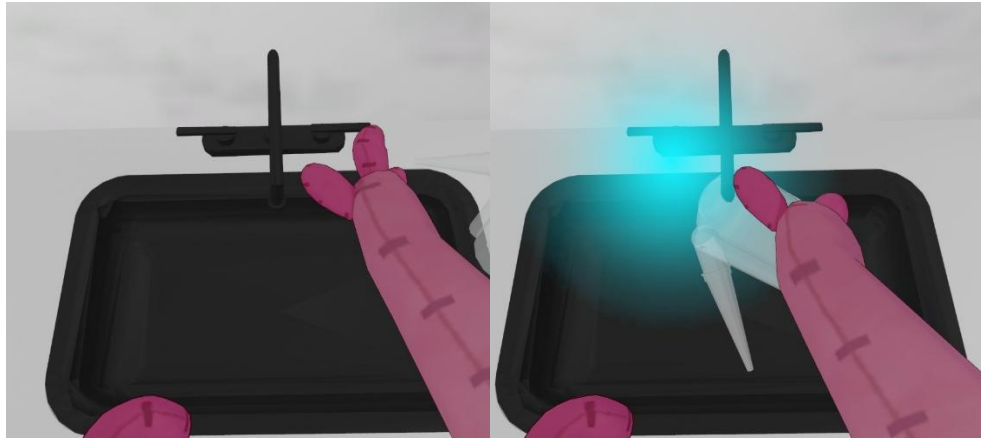


Figura 151. Rellenado de la botella, a la izquierda, activando el agua, a la derecha, acercando la piseta.

2. Pulido

Tras acabar el proceso de desbaste, se procede a la zona de pulido, en la que se pule la probeta junto con alúmina gris y alúmina blanca en las pulidoras correspondientes (están indicadas por una etiqueta en la parte frontal), primero puliendo en la alúmina gris, para pasar después a la alúmina blanca (Figura 152).

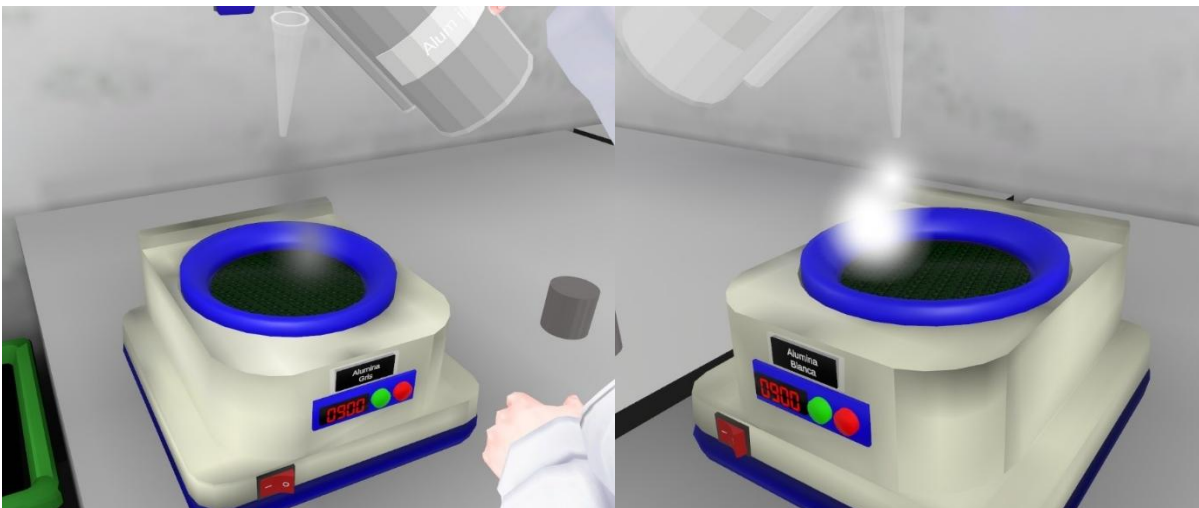


Figura 152. A la izquierda, alúmina gris siendo aplicada a la pulidora, a la derecha, alumina blanca siendo aplicada a la pulidora.

De la misma forma que en la etapa anterior, si el procedimiento se realiza correctamente, la probeta también proporcionará retroalimentación

Al final de este paso, si el usuario voltea a ver la probeta, podrá verse reflejado en ella, como se ve en la Figura 153.



Figura 153. Reflexión de la cara de la probeta al finalizar el pulido.

3. Limpieza.

Una vez terminado el proceso de pulido, se procede a enjuagar la probeta con agua corriente en el lavabo del laboratorio virtual apoyándose de una piseta como se muestra en la Figura 154.



Figura 154. Proceso de enjuague de la probeta con agua corriente usando una piseta sobre el lavabo.

El siguiente paso es secar el agua que quedo en la probeta usando la pistola de calor, como se muestra en la Figura 155.

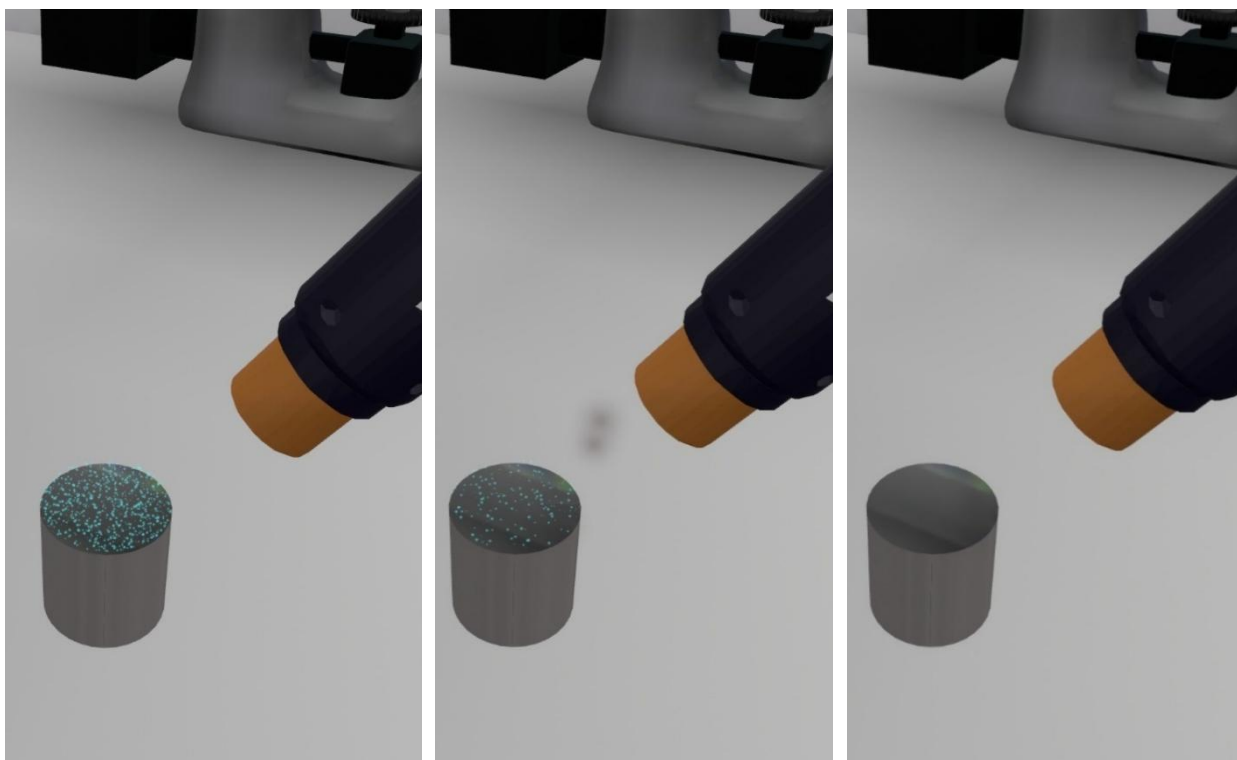


Figura 155. Probeta siendo secada con la pistola de calor.

Ahora con la probeta libre de residuos de alúmina, se debe limpiar la probeta aplicando alcohol sobre la superficie tratada (Figura 156) y posteriormente secar el alcohol con una torunda de algodón (Figura 157).

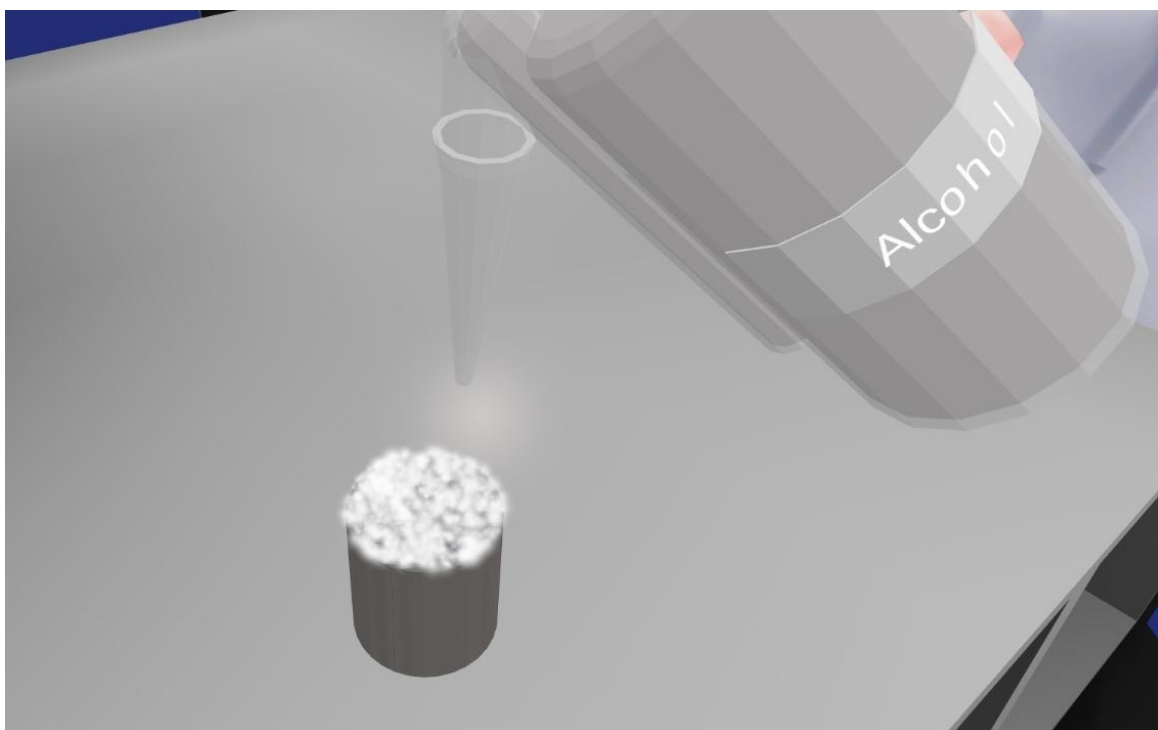


Figura 156. Aplicando alcohol sobre la superficie tratada de la probeta

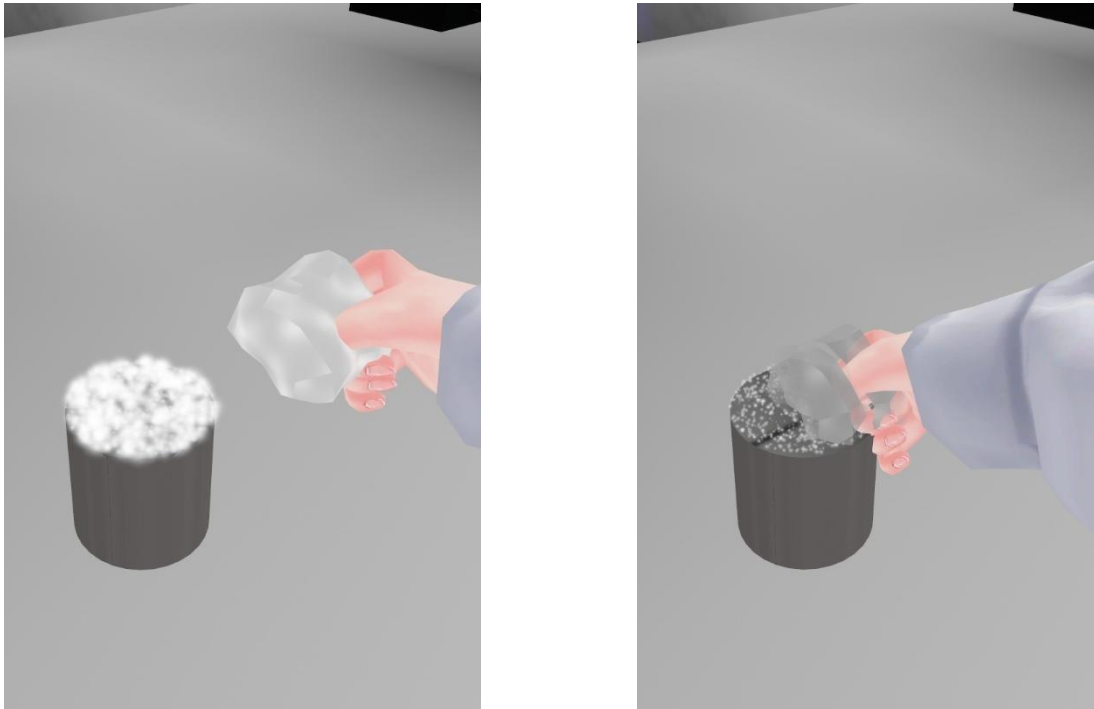


Figura 157. Secando alcohol de la probeta con una torunda de algodón.

Cómo último paso en esta etapa de limpieza debemos secar el alcohol restante con la pistola de calor. Figura 158.

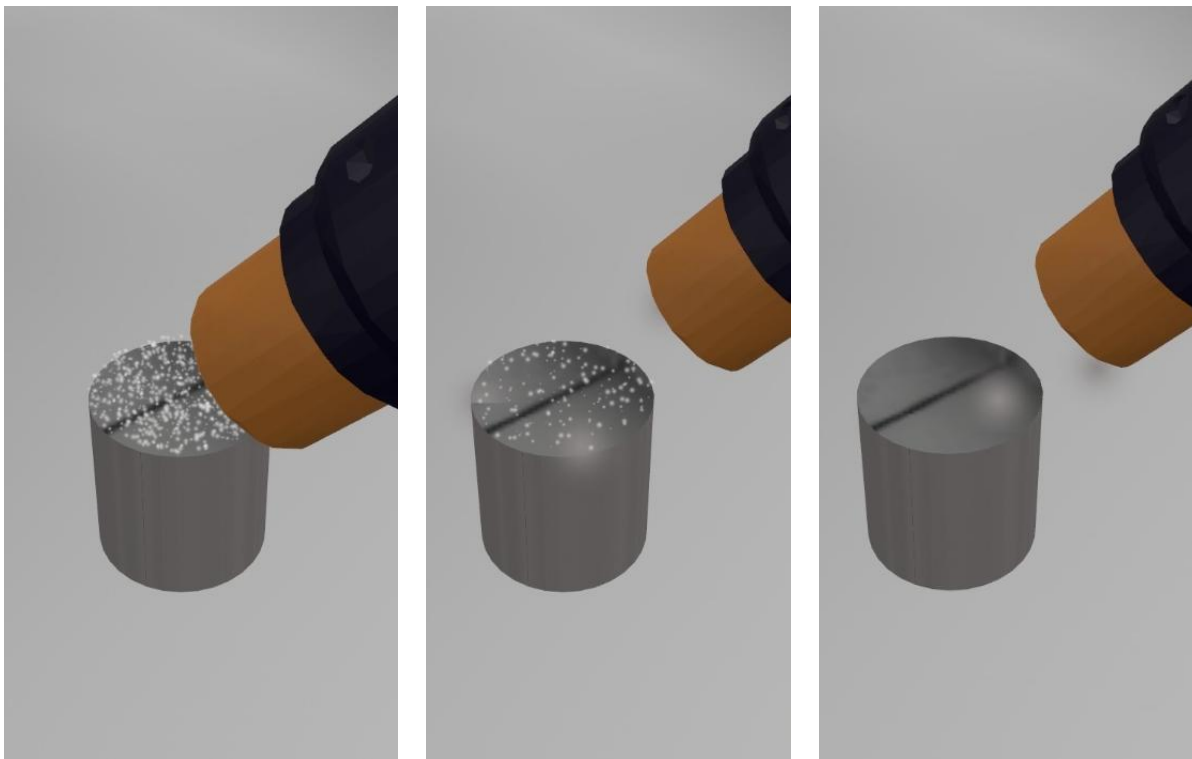


Figura 158. Secando el alcohol restante con la pistola de calor.

4. Ataque químico.

El siguiente paso es realizar el ataque químico, para ello añadimos nital sobre la superficie limpia de la probeta.

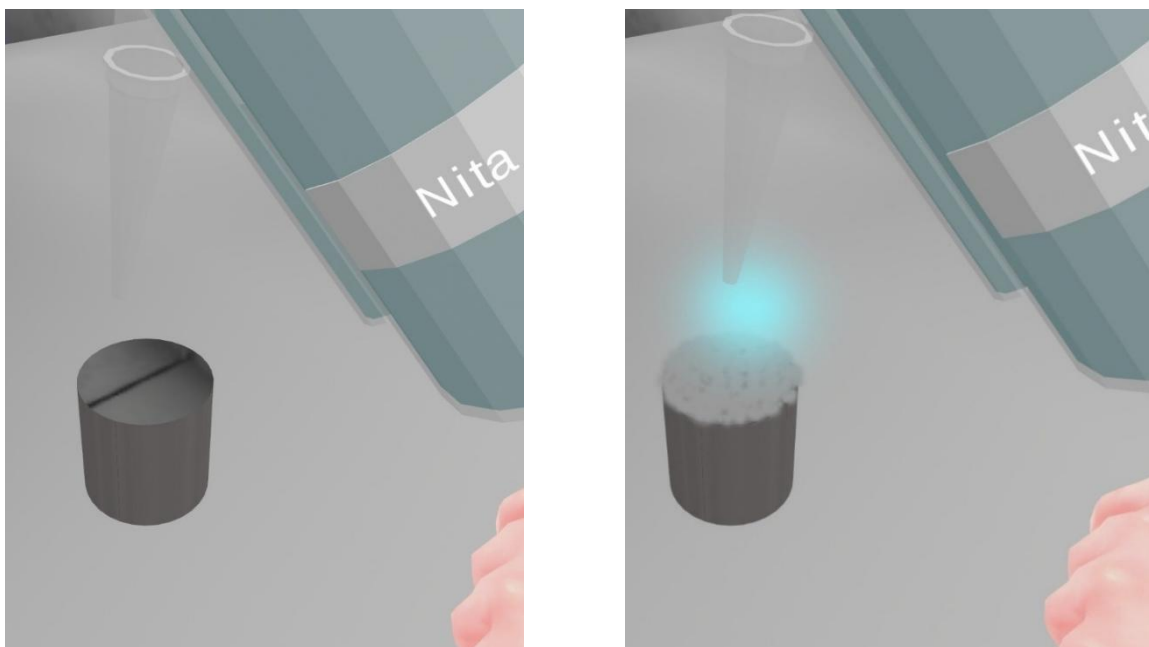


Figura 159. Añadiendo nital a la cara de la probeta.

Se procede a esperar unos segundos (a que oscurezca la superficie) para interrumpir el ataque con alcohol. Figura 160.

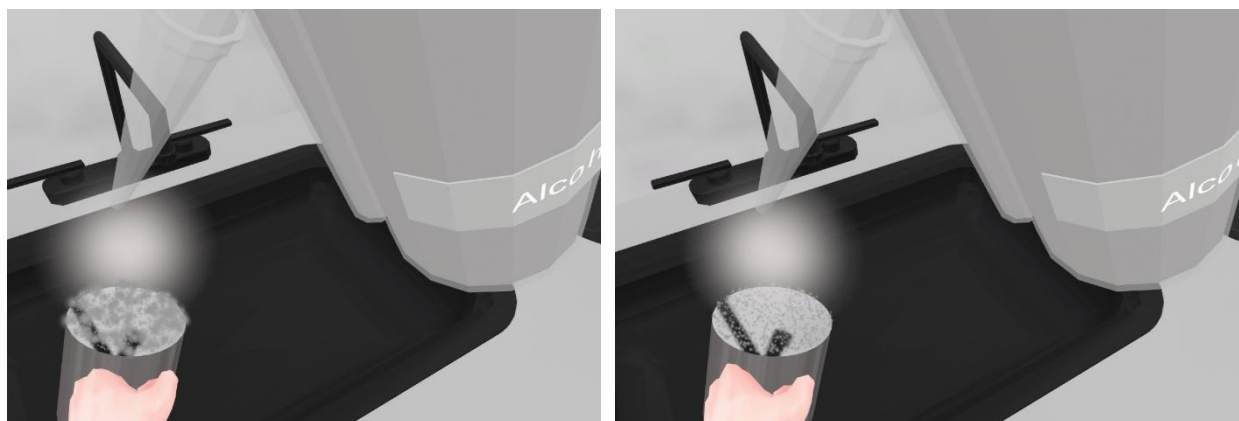


Figura 160. Interrumpiendo el ataque químico con alcohol.

Por último, hay que secar la (cara trabajada) de la probeta con la pistola de calor.

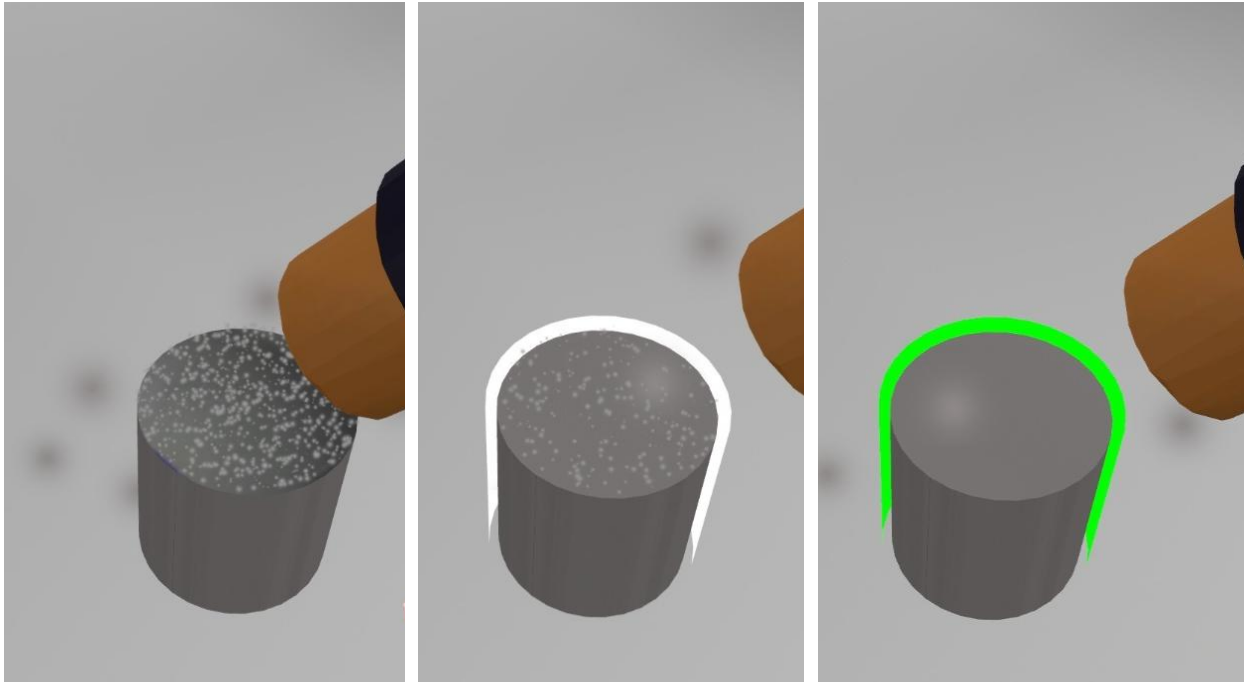


Figura 161. Secando la probeta con la pistola de calor. El usuario sabrá que la probeta está lista para ser observada cuando adquiere un contorno verde.

5. Observación microscópica.

El último paso de la práctica es la observación metalográfica, para ello se debe colocar la probeta sobre la platina del microscopio.

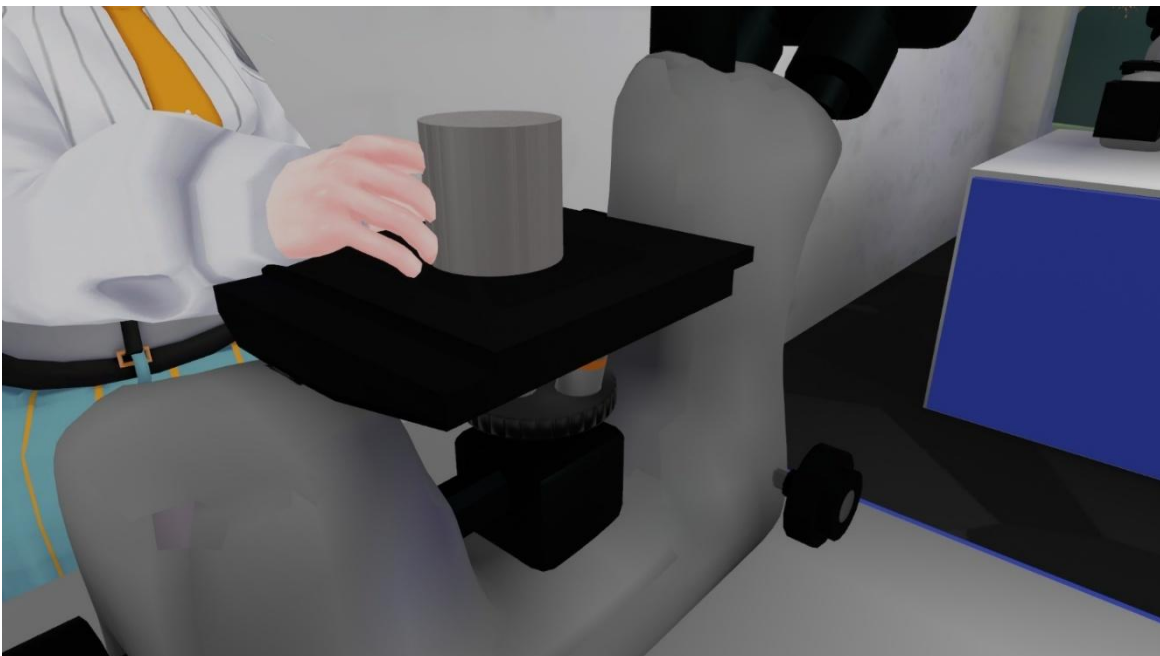


Figura 162. Colocando la probeta terminada sobre el microscopio.

Con la probeta colocada sobre el microscopio ahora es posible observar la estructura metalográfica a través de los oculares. Figura 163



Figura 163. Usuario manipulando el microscopio.

Adicionalmente, se cuenta con la opción de activar una pantalla de visualización externa de los oculares microscopio <ver Figura 164>.

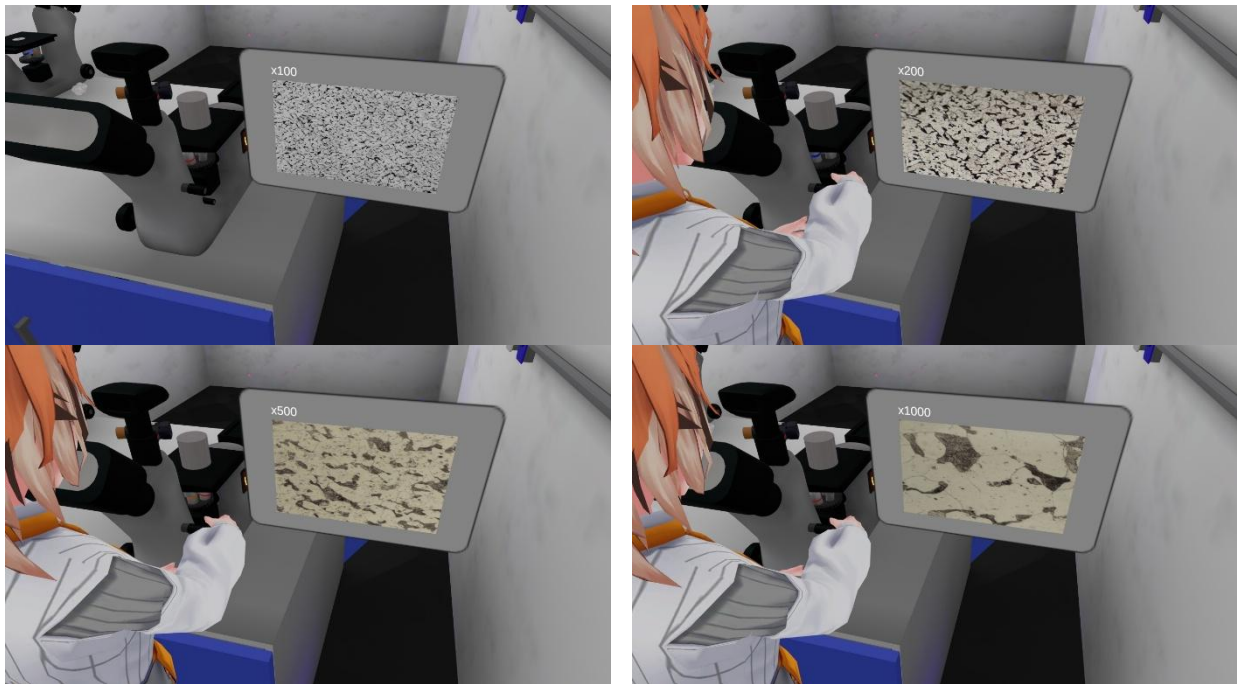


Figura 164. Estructura metalográfica de la probeta de acero 1018 observada con diferentes objetivos.

Para habilitar la pantalla de visualización se utiliza un interruptor que se encuentra a un lado del microscopio.

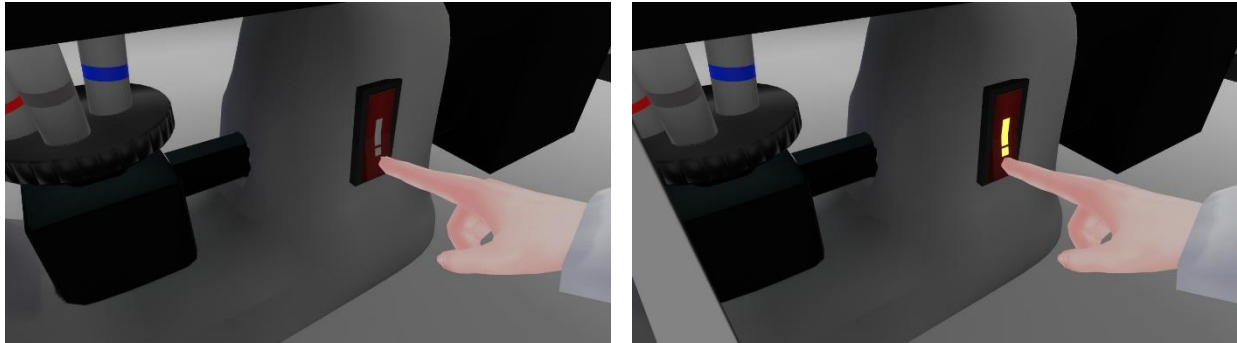


Figura 165. Interruptor que activa la pantalla de visualización del microscopio.

Este protocolo garantiza un flujo ordenado y eficiente del procedimiento metalográfico en el laboratorio virtual, permitiendo a los usuarios una experiencia de aprendizaje práctica e inmersiva.

Encuestas post a la experiencia del simulador.

El laboratorio virtual fue presentado en diversas sesiones de prueba, en las cuales participaron tanto profesores expertos en el área de ingeniería de materiales como estudiantes de la Facultad de Ingeniería. Durante estas sesiones, los participantes tuvieron la oportunidad de interactuar directamente con el entorno virtual, realizando el procedimiento completo de caracterización metalográfica, desde el desbaste hasta la observación microscópica.

Las sesiones se llevaron a cabo utilizando equipos de realidad virtual (Meta Quest) así como computadoras de escritorio, esto con el fin de evaluar la experiencia del laboratorio en las distintas plataformas compatibles con VRChat.

En la **Figura 166 y Figura 167** se puede apreciar a los participantes durante las sesiones de evaluación del laboratorio virtual. Entre los participantes, se encontraban tanto Profesores, como estudiantes y profesionistas. La interacción de los usuarios con los equipos y herramientas virtuales permitió identificar aspectos clave relacionados con la usabilidad, la inmersión y la efectividad del laboratorio como herramienta educativa.

Al finalizar las sesiones de prueba, se solicitó a los participantes responder una encuesta diseñada para evaluar diversos aspectos del laboratorio virtual, incluyendo la experiencia previa con realidad virtual, la calidad de las instrucciones, la fidelidad de las interacciones, las animaciones, la distribución del espacio y la percepción general del laboratorio como herramienta de aprendizaje.



Figura 167. Profesores y reclutadores probando el laboratorio.



Figura 166. Alumnos probando el laboratorio.

A continuación, se presentan las preguntas que conformaron dicha encuesta, las cuales fueron aplicadas de manera idéntica a ambas poblaciones (profesores y estudiantes).

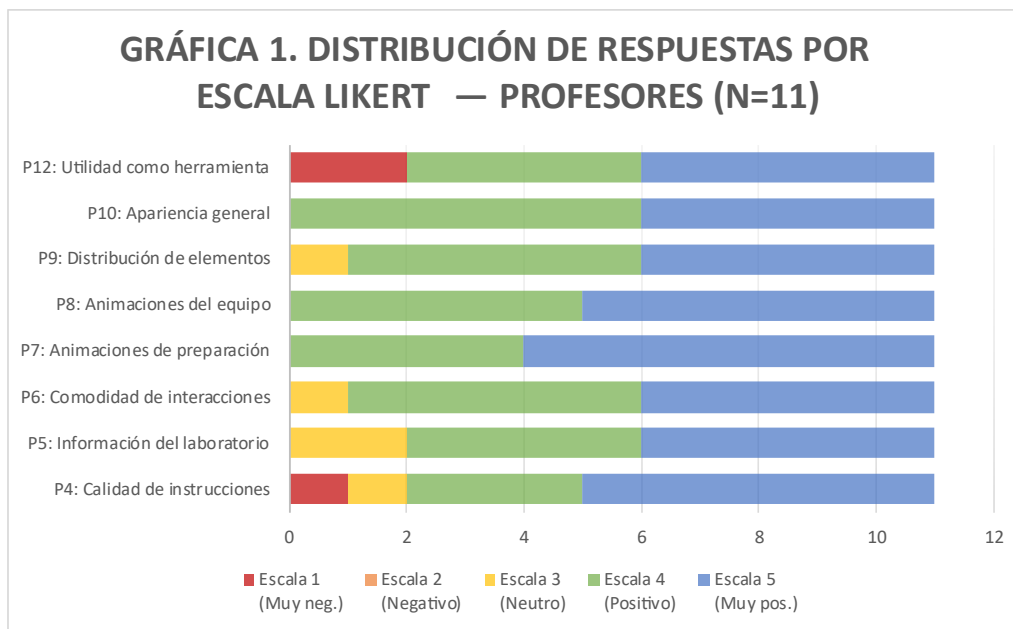
1. ¿Has tenido contacto con la Realidad Virtual anteriormente?
2. Si has participado en alguna experiencia de Realidad virtual antes, ¿cómo te fue?
3. ¿Habías tenido contacto con VRChat antes?
4. ¿Cómo te pareció la información que te dieron las instrucciones?
5. ¿Cómo te pareció la información que te proporciona el Laboratorio relacionada con la Práctica de Metalografía (por ejemplo, el lijado, pulido, ataque químico, observación microscópica, datos, vista ampliada)?
6. Las interacciones que tuviste con los equipos de metalografía y la probeta te resultaron...
7. ¿Qué opinas de las animaciones de los pasos que se tienen que realizar para la preparación de una muestra metalográfica?
8. ¿Qué opinas de las animaciones del equipo de metalografía?
9. ¿Qué te pareció la distribución de los elementos en la habitación del Laboratorio?
10. ¿Cómo te sentiste con respecto a la apariencia en general del Laboratorio?
11. ¿Qué opinas del tamaño de los modelos 3D y sus proporciones entre sí?
12. Como herramienta de aprendizaje para Asignaturas relacionadas con la Ingeniería de Materiales, ¿cómo crees que te resultaría este Laboratorio?
13. ¿Crees que es importante que los alumnos de Ingeniería tengan a su disposición Laboratorios Virtuales como éste? De ser así, ¿Por qué?
14. ¿Crees que haya ventajas en usar estos Laboratorios en Realidad Virtual en lugar de usar los 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:

De las 15 preguntas anteriores, las preguntas 1, 3 y 11 corresponden a respuestas categóricas que se representan mediante gráficas de pastel, las preguntas 2, 13, 14 y 15 son de respuesta abierta y se presentan en una sección posterior, mientras que las preguntas restantes (4 a 10 y 12) fueron evaluadas mediante una escala Likert de 5 niveles.

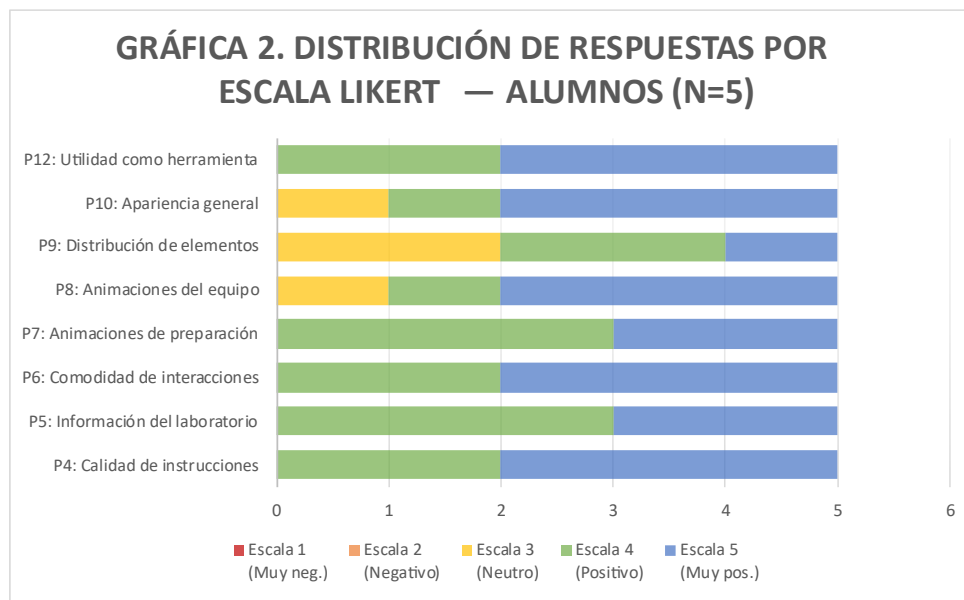
La encuesta fue aplicada a una población de 11 profesores y 5 estudiantes, todos ellos vinculados a la Facultad de Ingeniería de la UNAM. A continuación, se presentan las gráficas generadas a partir de las respuestas obtenidas, organizadas por tipo de pregunta y segmentadas por población.

Resultados de la escala Likert²⁹

Las preguntas evaluadas mediante escala Likert permiten cuantificar la percepción de los participantes respecto a diversos aspectos del laboratorio virtual. En las siguientes figuras se muestra la distribución de respuestas para cada pregunta, separando las valoraciones de profesores y estudiantes.



Gráfica 1. Distribución de respuestas por escala Likert — Profesores (n=11).

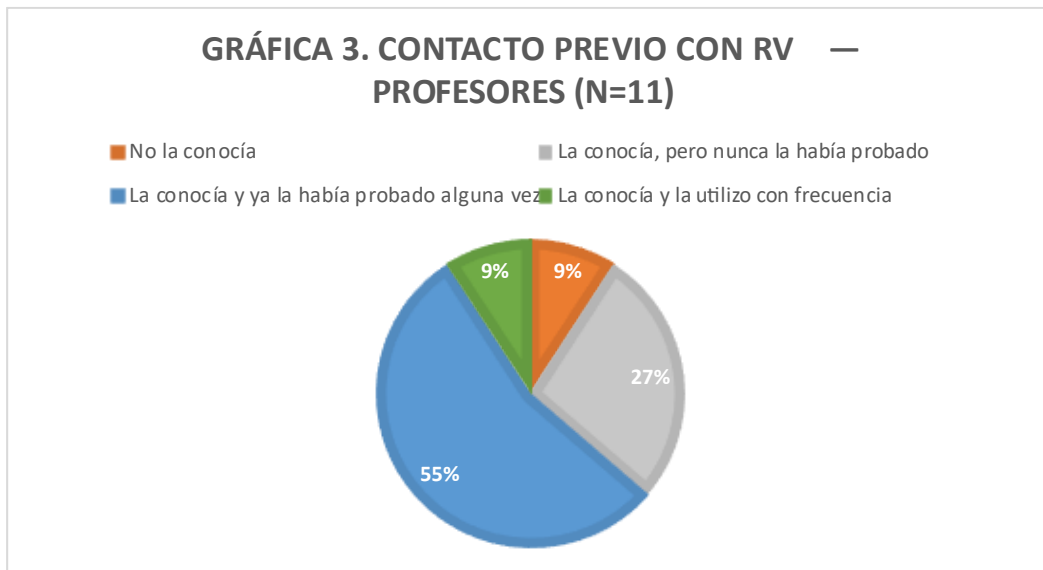


Gráfica 2. Distribución de respuestas por escala Likert - Alumnos (n=5).

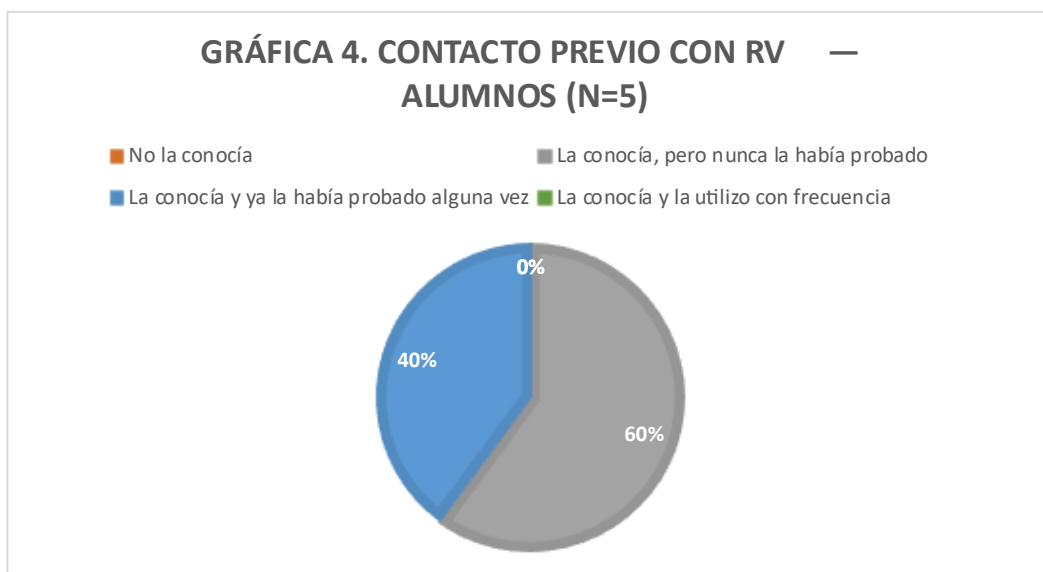
²⁹ La escala Likert es un método de medición utilizado en encuestas para evaluar el grado de acuerdo o desacuerdo de los encuestados frente a una afirmación. Típicamente emplea 5 niveles de respuesta, que van desde una valoración totalmente negativa hasta una totalmente positiva.

Contacto previo con Realidad Virtual y VRChat

Las preguntas 1 y 3 de la encuesta exploran la experiencia previa de los participantes con tecnologías de realidad virtual y con la plataforma de VRChat. Conocer el nivel de familiarización de los usuarios con estas tecnologías resulta relevante, ya que puede influir en su percepción del laboratorio y en la facilidad con la que interactúan con el entorno virtual.

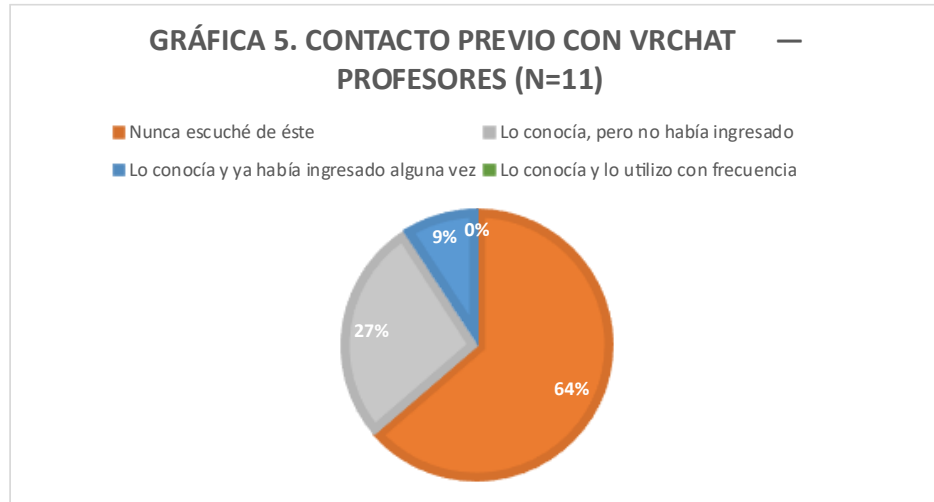


Gráfica 3. Contacto previo con Realidad Virtual - Profesores (n=11).



Gráfica 4. Contacto previo con Realidad Virtual - Alumnos (n=5).

De manera similar, las siguientes figuras muestran la distribución de respuestas respecto al contacto previo de los participantes con la plataforma VRChat, la cual fue utilizada como medio de despliegue del laboratorio virtual.



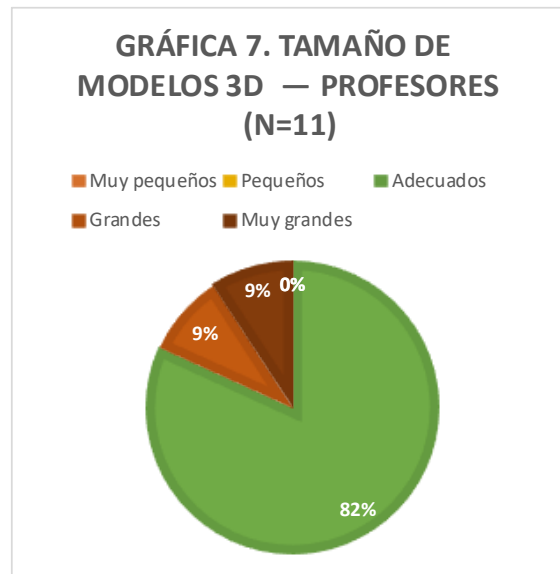
Gráfica 5. Contacto previo con VRChat - Profesores (n=11).



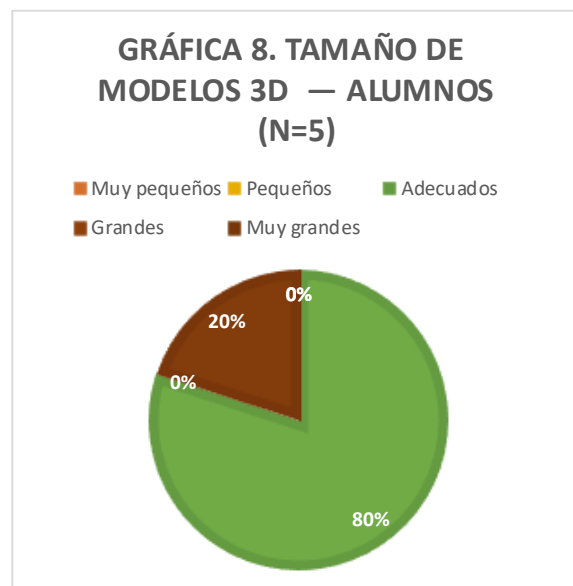
Gráfica 6. Contacto previo con VRChat - Alumnos (n=5).

Percepción del tamaño de los modelos 3D

La pregunta 11 de la encuesta evaluó la percepción de los participantes respecto al tamaño de los modelos 3D y sus proporciones dentro del laboratorio virtual. Este aspecto resulta especialmente relevante dado que, como se explicó en la sección de modelado, la probeta fue escalada a un diámetro de 100 mm para favorecer la ergonomía de manipulación en entornos de realidad virtual.



Gráfica 7. Tamaño de modelos 3D - Profesores (N=11).



Gráfica 8. Tamaño de modelos 3D - Alumnos (N=5).

Respuestas abiertas

Las preguntas 2, 13, 14 y 15 de la encuesta corresponden a preguntas de respuesta abierta, las cuales permiten capturar las percepciones, opiniones y sugerencias de los participantes de manera cualitativa. A diferencia de las preguntas evaluadas mediante escala Likert o respuestas categóricas, estas preguntas ofrecen información detallada y contextualizada que complementa los resultados cuantitativos presentados anteriormente. A continuación, se presentan las respuestas obtenidas, organizadas por pregunta y segmentadas por población.

Pregunta 2: Si has participado en alguna experiencia de Realidad Virtual antes, ¿cómo te fue?

Profesores:

- Normalmente acudo a Ixtli, a presentar proyectos virtuales de mis alumnos de CAD/CAM, y la experiencia de ellos con sus modelos es muy gratificante.
- No he participado en Realidad Virtual.
- Anteriormente había probado con la práctica de ensayo de tracción y fue una muy buena experiencia.
- Ha sido una buena experiencia, con la práctica se va facilitando su uso.
- No, nunca había participado. Mi experiencia fue grata ya que después de un tiempo de uso la experiencia se volvió más natural.
- Tuve contacto con un VR de ambiente espacial en una montaña rusa.
- Es la primera vez que la pruebo.
- Me cuesta un poco adaptarme a los controles.
- Bien, se realizó la práctica de tracción completa.
- Al principio es difícil acostumbrarse, pero con la práctica se va facilitando.

Alumnos:

- No he participado en ninguna, pero sí me ha llamado la atención.
- Bien.
- Eran videojuegos, pero fue un poco retador.

Pregunta 13: ¿Crees que es importante que los alumnos de Ingeniería tengan a su disposición Laboratorios Virtuales como éste? De ser así, ¿Por qué?

Profesores:

- Sí, porque ponen en práctica lo que desarrollarán físicamente, y sirve para realizarla de forma segura y controlada.
- Sí, porque pueden conocer el proceso de preparación metalográfica más rápido.
- Sí deben de tener disposición, ya que este tipo de laboratorios permite al alumno desarrollar un mayor criterio sobre los problemas ingenieriles.
- Considero que es importante debido a que, es una forma más para aprender, algo que resulta llamativo.
- Es muy importante como complemento a la práctica presencial, además es una herramienta para practicar fuera del laboratorio.
- Sí, ya que en la mayoría de los laboratorios no todos los alumnos pueden participar de forma completa y con estas herramientas los alumnos pueden participar de forma completa e individual.
- Sí es muy importante y de gran relevancia, ya que en la actualidad son la tendencia en el aprendizaje e incluso se pueden hacer prácticas de elementos o aparatos que no se cuentan en los laboratorios (ej. Fatiga, torsión, etc.).
- Sí es muy importante y necesario. Estas herramientas proporcionan más equipos con que trabajar, ya que en ocasiones los equipos son limitados o su uso requiere una gran capacitación.
- Ayudaría a prepararlos para realizar la práctica física.
- Ahorra tiempo y materiales. Atenderán a muchos alumnos.
- Sí porque es un buen complemento, ya que pueden seguir practicando fuera de clase.

Alumnos:

- Totalmente, considero que es muy útil, ya sea para aprender desde cero, hasta para repasar. Me parece innovador y actualmente necesario, no sabemos cuándo será la próxima pandemia, o siniestro mundial.
- Creo que es una oportunidad para aprender de manera más completa y cómoda.
- Creo que sí es muy importante, porque puede que los alumnos quieran realizar las prácticas en varias ocasiones si es que quedaron dudas y esto podría serles de mucha ayuda.
- Pienso que sí, con un poco más de desarrollo, sería óptimo porque evitaríamos accidentes y ahorraremos materiales.
- Sí, muchos no tienen la oportunidad de estudiar esa materia, y sería bueno familiarizarse.

Pregunta 14: ¿Crees que haya ventajas en usar estos Laboratorios en Realidad Virtual en lugar de usar los de manera convencional en una computadora? De ser así, ¿cuáles son?

Profesores:

- Como preparación para explorar lo que se desarrollará físicamente, son herramientas que simulan la realidad, adquiriendo experiencia virtual, sabiendo lo que viene.
- Se pueden utilizar como apoyo para un aprendizaje más rápido o cuando algún alumno no pueda asistir a clase.
- Sí hay ventajas, primeramente por el uso de equipos, sin embargo se debe de trabajar más en el número de disposiciones o criterios a tomar dentro de una práctica.
- La ventaja es que puedes hacerlo en cualquier parte, que, al ser físico, con movimientos y demás, puedes aumentar la retención de información en los chicos.
- Sí hay ventajas porque el ambiente es más inmersivo.
- Sí, ya que como va avanzando la tecnología se puede simular un laboratorio más inmersivo el cual ayude al operador a simular el entorno lo más parecido a la realidad.
- Sí ya que acerca más a un ambiente más real.
- La ventaja es que la capacitación puede ser más rápida, además de que no se corren grandes riesgos. En principio me parece que se puede acceder a ellos en cualquier momento y casi desde donde sea.
- No sé si llamarlos ventaja, pero son muy llamativos y podría funcionar como motivación previa a la práctica real.
- Mayor interacción con los equipos y con todo el proceso.
- La ventaja es que sería un buen complemento a la práctica presencial.

Alumnos:

- La inmersión es muy buena, sin embargo, no creo que sea determinante, con el modelo presentado donde en computadora tiene ciertas diferencias (mover objetos, rotar) solo ahí prefiero el V.R.
- Más recursos y prácticas más detalladas.
- Sí, algunas de ellas, es que pueden equivocarse sin tener miedo a los regaños de los profesores.
- Pues, sería cuestión de mejorarlos y adaptarse, pero le veo mucho potencial y pienso que sus ventajas son: ahorro de materiales, prevención de accidentes, disponibilidad y más comodidad.
- Claro hay ventajas, la experiencia es más completa.

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

Profesores:

- Siempre los detalles cuentan, y el agregar enjuague entre los cambios de las lijas, información de los líquidos (Alúminas). Es importante explicar lo que se ve, por ejemplo las fases. Pero en cuanto al empleo de la herramienta, para ser apoyo en la práctica, está perfecto. ¡Felicidades!
- Desarrollar una práctica donde permita comparar distintos materiales metálicos y no metálicos.
- Me pareció muy interesante para la versión 1, como lo mencionaron hay cosas que se pueden agregar, para hacerlo más real, ejemplo: si se te cae tu probeta con acabado espejo se puede dañar y se tendría que repetir algún paso, o no poder dejar en la mesa la probeta del lado que se está trabajando.
- Sin comentarios respecto a la simulación, todo me pareció adecuado. Posteriormente, se pueden agregar más muestras metálicas.
- Implementar diferentes tipos de materiales. Ficha técnica de los elementos en uso.
- Que se puedan agregar las restricciones necesarias o alertas, tal vez un instructivo de los pasos.
- Es un muy buen desarrollo, agregar la respuesta háptica al interactuar con los elementos proporcionará mayor inmersión.
- Explicar primero cómo funcionan los joystick antes de iniciar la simulación.
- En general me pareció muy bien la implementación. Yo sugiero acomodar de otra forma las lijas para ubicarlas con mayor rapidez.

Alumnos:

- Combinar medios o recursos reales con virtuales, es decir, que haya un menú con los modelos de instrumentos reales y su símil virtual.
- Creo que es un muy buen proyecto, me gustó bastante.
- Está chido, muy bien van por buen camino.
- Admiro el trabajo de los chicos que desarrollan esto.

5. Análisis de resultados

En la sección de resultados se presentó, por un lado, la ejecución completa del protocolo metalográfico dentro del laboratorio virtual, y, por otro lado, los resultados de las evaluaciones de esa experiencia hechas por los participantes (alumnos y profesores) mediante encuestas.

El protocolo descrito en la subsección **Protocolo y Testeo del Laboratorio Virtual** de la sección 4, la cual comprende desde el ingreso al laboratorio hasta la observación microscópica con diferentes objetivos, esto demuestra que las cinco etapas del ensayo (desbaste, pulido, limpieza, ataque químico y observación) fueron implementadas exitosamente y de manera reproducible de acuerdo con lo planteado en la subsección **Recopilación de datos en el Laboratorio** de la sección 3.

La integración de mecanismos de retroalimentación visual, como el parpadeo rojo cuando un paso se realiza incorrectamente y el contorno verde que confirma la transición entre etapas, es una muestra de que el laboratorio no solo replica la apariencia del procedimiento, sino que, también asegura una correcta ejecución, siendo un complemento de valor para alumnos y profesores.

El testeo descrito en la subsección **Encuestas post a la experiencia del simulador** de la sección 4 se realizó sobre una muestra de 11 profesores y 5 estudiantes vinculados a la Facultad de Ingeniería de la UNAM, utilizando tanto equipos Meta Quest (2 y 3) como equipos de cómputo.

La Gráfica 1 y Gráfica 2, correspondientes a las preguntas evaluadas mediante escala Likert (preguntas 4 a 10 y 12), muestran que ambas poblaciones concentraron sus respuestas en los niveles "Bueno" y "Excelente". Esta tendencia es consistente entre los aspectos evaluados: la calidad de las instrucciones, la información proporcionada sobre la práctica de metalografía, las interacciones con los equipos virtuales, las animaciones del procedimiento y la apariencia general del laboratorio recibieron valoraciones favorables.

El resultado de la pregunta 12, sobre la utilidad del entorno como herramienta de aprendizaje en asignaturas de Ingeniería de Materiales, refuerza la hipótesis planteada en la sección 1 respecto a la pertinencia de los laboratorios virtuales como complemento educativo.

Las preguntas 1 y 3 aportan información sobre la experiencia en entornos virtuales de los usuarios. La Gráfica 3 y Gráfica 4 muestran que la mayor parte de los profesores había

tenido algún contacto previo con la realidad virtual, mientras que entre los estudiantes este contacto fue menos frecuente.

La Gráfica 5 y Gráfica 6, referentes al uso previo de VRChat, revelan que la mayoría de los participantes de ambas poblaciones nunca había utilizado esta plataforma. Este dato resulta significativo al contrastarlo con las valoraciones positivas de las preguntas Likert sobre claridad de instrucciones e interacciones: usuarios sin experiencia previa con VRChat fueron capaces de completar el procedimiento metalográfico y calificarlo favorablemente, lo cual respalda las decisiones de diseño tomadas durante el desarrollo del entorno y sus sistemas de guía interna.

La pregunta 11, representada en la Gráfica 7 y Gráfica 8, evaluó la percepción de los participantes sobre el tamaño y las proporciones de los modelos 3D. Las respuestas fueron mayoritariamente positivas en ambas poblaciones, lo cual, valida la decisión descrita en la subsección de **Diseño y optimización de Modelos 3D**, de escalar la probeta a un diámetro mayor que el de su contraparte física para favorecer la ergonomía de manipulación con los controladores de realidad virtual.

Las respuestas abiertas a las preguntas 13 y 14 refuerzan los resultados mostrados en las gráficas, en las cuales, tanto profesores como estudiantes coincidieron en que los laboratorios virtuales son importantes para la formación en ingeniería.

Los profesores señalaron como argumentos principales la posibilidad de practicar de forma segura y controlada, la solución al problema de equipos limitados en los laboratorios físicos, la utilidad como preparación previa a la práctica presencial y la posibilidad de extender el alcance a alumnos que no pueden asistir.

Los estudiantes destacaron la accesibilidad, la posibilidad de repetir prácticas sin restricciones y, de manera explícita, el hecho de poder equivocarse sin consecuencias materiales; Respecto a las ventajas frente a una simulación convencional en computadora (pregunta 14), los participantes identificaron la inmersión y la interacción corporal mediante controladores como los principales diferenciadores de la realidad virtual.

La pregunta 2 refleja los diferentes niveles de experiencia previa con realidad virtual de los participantes, en el caso de los profesores, algunos la utilizan con frecuencia en contextos académicos y otros nunca habían empleado la tecnología; en este último grupo, varios participantes mencionaron que la adaptación inicial es complicada, pero mejora con la práctica.

Incorporar pasos intermedios del procedimiento real, como el enjuague de la probeta entre cambios de lija.

En conjunto, los resultados presentados en el **Capítulo 4** permiten afirmar que el laboratorio virtual cumple con sus objetivos: el protocolo es ejecutable de principio a fin, las valoraciones cuantitativas son favorables en todos los aspectos evaluados y las respuestas abiertas confirman que tanto profesores como estudiantes reconocen el valor del entorno como herramienta complementaria de aprendizaje. Mientras que las observaciones críticas se concentran en mejoras incrementales sobre el contenido y la fidelidad de la simulación, no en deficiencias estructurales del laboratorio.

6. Conclusión

El presente trabajo logró el desarrollo e implementación de un laboratorio virtual funcional para efectuar el ensayo metalográfico de una probeta de acero AISI 1018, cumpliendo con los objetivos planteados al inicio del proyecto. La metodología descrita a lo largo de los Capítulos 2 y 3, basada en el uso de Unity como motor gráfico de desarrollo, VRChat como plataforma de distribución y, Blender para el modelado 3D y texturizado, demostró ser una combinación viable y eficiente para construir entornos educativos inmersivos accesibles desde múltiples dispositivos.

Los resultados expuestos en el Capítulo 4 y analizados en el Capítulo 5 confirman que el simulador reproduce con fidelidad las etapas críticas del procedimiento metalográfico (desbaste, pulido, limpieza, ataque químico y observación microscópica) y que su recepción entre estudiantes y profesores fue ampliamente favorable. Las encuestas revelaron una valoración positiva tanto en facilidad de uso como en utilidad pedagógica, destacando especialmente la posibilidad de repetir la práctica sin las limitaciones materiales, temporales y de seguridad propias del laboratorio físico.

El proyecto enfrentó retos técnicos relevantes, particularmente las restricciones del lenguaje UdonSharp y las limitaciones de polígonos y peso impuestas por VRChat, los cuales fueron superados mediante optimización de modelos, *baking* de texturas y las decisiones de diseño de los sistemas de interacción. Consolidando un precedente metodológico replicable para futuros laboratorios virtuales del equipo LOR.

Este trabajo contribuye al desarrollo e implementación de entornos virtuales educativos al demostrar que la tecnología puede complementar la formación práctica de los estudiantes de ingeniería.

7. Trabajo a futuro

A partir de los resultados obtenidos en las encuestas aplicadas a alumnos y profesores (véase Sección 4.2), así como del análisis presentado en el Capítulo 5, se identificaron diversas áreas de oportunidad para futuras iteraciones del Laboratorio Virtual de Metalografía:

- Agregar pasos intermedios como el enjuague entre cambios de lija
- Incluir información detallada sobre los líquidos de pulido, considerando su composición química y los materiales en los que su uso resulta apropiado.
- Incorporar una explicación de las fases observables en el microscopio, vinculada al material seleccionado en cada sesión.
- Implementar consecuencias realistas ante manipulaciones incorrectas, de modo que el usuario pueda identificar y corregir errores procedimentales.
- Ampliar el catálogo de probetas a otros materiales metálicos de uso frecuente en la docencia, con el fin de diversificar los casos de estudio disponibles.
- Mejorar la orientación inicial sobre el uso de los controladores de realidad virtual mediante un tutorial introductorio integrado en la experiencia.

De manera complementaria, se proponen las siguientes mejoras orientadas a fortalecer la experiencia del usuario y la fidelidad procedimental del laboratorio virtual:

- Integrar un manual interactivo o un personaje no jugador (NPC) que guíe a los usuarios nuevos a lo largo del procedimiento metalográfico, reduciendo la dependencia de la asistencia presencial del profesor en la instancia virtual.
- Desarrollar funcionalidad real para el microscopio, de manera que las perillas permitan desplazar el campo de observación sobre la muestra, en lugar de mostrar un resultado predeterminado.
- Añadir un módulo de análisis de la microestructura observada que apoye a usuarios sin formación previa en metalografía, contemplando la identificación de fases, inclusiones, posibles tratamientos térmicos sufridos por el material, recuento del tamaño de grano y una estimación del tipo de material de la probeta.

A continuación, se presentan una serie de imágenes ilustrativas cuya finalidad es servir como referencia visual de las posibles implementaciones descritas en los apartados anteriores. Estas representaciones funcionan como ejemplos conceptuales que dramatizan la integración de dichas mejoras dentro del entorno virtual, permitiendo visualizar de manera más clara su aplicación y el impacto esperado en la experiencia del usuario.



Figura 168. Ejemplificación de posibles implementaciones futuras, entre ellas, probetas de distintos materiales, instrucciones, informacion de la cara y datos de la imagen de la cara de la probeta.

8. Referencias

- [1] Yin, X., Zhang, J., Li, G., & Luo, H. (2024). Understanding Learner Satisfaction in Virtual Learning Environments: Serial Mediation Effects of Cognitive and Social-Emotional Factors. *Electronics*, 13(12), 2277.
<https://doi.org/10.3390/electronics13122277>
- [2] García, N. R. P., Parrales, E. M. B., Cantos, M. A. B., & Ponce, M. R. M. (2024). Integración de la Inteligencia artificial en la formulación de proyectos: Oportunidades, desafíos y perspectivas futuras. *RECIAMUC*, 8(1), 463-477.
[https://doi.org/10.26820/reciamuc/8.\(1\).ene.2024.463-477](https://doi.org/10.26820/reciamuc/8.(1).ene.2024.463-477)
- [3] Simulaciones y Proyectos. (2022, 17 enero). *FLOW-3D Cast® | Software de fundición de metal*. RDT SIMULATION.
<https://www.simulacionesyproyectos.com/software/flow-3d-cast-software-de-simulacion-de-fundicion/>
- [4] Facultad de Ingeniería, UNAM, "Manual del Laboratorio de Ingeniería de Materiales I," Universidad Nacional Autónoma de México. [En línea]. Disponible: https://www.ingenieria.unam.mx/labsmaterieales/docs_calidad/manuales/Manual_LabIngMateriales.pdf.
- [5] Laboratorio de Otras Realidades (LOR), "Sitio oficial del Laboratorio de Otras Realidades," Wix. [En línea]. Disponible: <https://labdeotrasrealidad.wixsite.com/labotrasrealidades>
- [6] Laboratorio de Otras Realidades (LOR), "Acerca de — Laboratorio de Otras Realidades," Wix. [En línea]. Disponible: <https://labdeotrasrealidad.wixsite.com/labotrasrealidades/about-2>.
- [7] Facultad de Ingeniería, UNAM, "Manual_LabIngMateriales.pdf," Departamento de Materiales y Manufactura. [En línea]. Disponible: https://www.ingenieria.unam.mx/labsmaterieales/docs_calidad/manuales/Manual_LabIngMateriales.pdf
- [8] Autodesk, "Maya User Guide 2024," Autodesk Knowledge Network. [En línea]. Disponible: <https://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2024/ENU/?guid=GUID-864BD203-C437-4481-8BFC-3A6C1D2C824C>
- [9] YouTube, "Video tutorial técnico (referencia audiovisual)," YouTube. [En línea]. Disponible: https://www.youtube.com/watch?v=zPinlji_F8s
- [10] Wikipedia, "Mapeado UV," Wikipedia, La Enciclopedia Libre. [En línea]. Disponible: https://es.wikipedia.org/wiki/Mapeado_UV
- [11] Autodesk, "Autodesk Maya — Aplicaciones y herramientas," Autodesk App Store. [En línea]. Disponible: <https://apps.autodesk.com/Maya/en/Home/Index>
- [12] Unity Technologies, "Introduction to Object Pooling," Unity Learn. [En línea]. Disponible: <https://learn.unity.com/tutorial/introduction-to-object-pooling>
- [13] TheLinuxCode, "Mastering Shading in Blender: The Complete Guide," TheLinuxCode. [En línea]. Disponible: <https://thelinuxcode.com/mastering-shading-in-blender-the-complete-guide/>

- [14] LotPixel, "Texture Maps Explained — FAQ," LotPixel. [En línea]. Disponible: <https://lotpixel.com/faq/texture-maps-explained>.
- [15] ASTM International, "ASTM E3-11(2017) Standard Guide for Preparation of Metallographic Specimens," West Conshohocken, PA, USA, 2017. [En línea]. Disponible: <https://www.astm.org/e0003-11r17.html>.
- [16] Blender Foundation, "Introducción — Blender Manual," Blender Documentation. [En línea]. Disponible: https://docs.blender.org/manual/es/latest/getting_started/about/introduction.html.
- [17] Blender Stack Exchange, "Face Orientation in Blender 3D," Blender Stack Exchange. [En línea]. Disponible: <https://blender.stackexchange.com/questions/tagged/face-orientation>.
- [18] Blender Foundation, "Editing Normals — Blender 4.5 LTS Manual," Blender Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/editing/mesh/normals.html>.
- [19] Wikipedia, "UV mapping," Wikipedia, The Free Encyclopedia. [En línea]. Disponible: https://en.wikipedia.org/wiki/UV_mapping.
- [20] CG Cookie, "How to Bake Textures and Materials in Blender 3D (Step by Step)," CG Cookie. [En línea]. Disponible: <https://cgcookie.com/articles/how-to-bake-textures-and-materials-in-blender>.
- [21] Blender Foundation, "Add-ons — Blender 4.5 LTS Manual," Blender Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/editors/preferences/addons.html>.
- [22] 3DCadPortal, "Guía Esencial para Entender el Modelado 3D y su Topología," 3DCadPortal. [En línea]. Disponible: <https://www.3dcadportal.com/guia-modelado-3d-topologia.html>.
- [23] Blender Foundation, "Mesh Primitives — Blender 4.5 LTS Manual," Blender Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/modeling/meshes/primitives.html>.
- [24] Wikipedia, "Low poly," Wikipedia, The Free Encyclopedia. [En línea]. Disponible: https://en.wikipedia.org/wiki/Low_poly.
- [25] VRChat Inc., "Android Content Optimization," VRChat Creation Documentation. [En línea]. Disponible: <https://creators.vrchat.com/platforms/android/android-content-optimization/>.
- [26] Blender Foundation, "Introduction — Blender 4.5 LTS Manual," Blender Documentation. [En línea]. Disponible: https://docs.blender.org/manual/en/latest/getting_started/about/introduction.html.
- [27] Blender Foundation, "Retopología — Blender Manual," Blender Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.blender.org/manual/es/latest/modeling/meshes/retopology.html>.

- [28] Adobe, "Pixels Per Inch & Pixel Density: What is PPI Resolution?," Adobe Creative Cloud. [En línea]. Disponible: <https://www.adobe.com/creativecloud/photography/discover/ppi-resolution.html>.
- [29] simulaciondevuelo.com, "Las texturas y su efecto visual y de rendimiento," simulaciondevuelo.com. [En línea]. Disponible: <https://www.simulaciondevuelo.com/texturas-efecto-visual-rendimiento/>.
- [30] Blender Foundation, "Viewport Shading — Blender 4.5 LTS Manual," Blender Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/editors/3dview/display/shading.html>.
- [31] Unity Technologies, "GameObjects — Unity Manual," Unity Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/6000.2/Documentation/Manual/GameObjects.html>.
- [32] Unity Technologies, "The Scene view — Unity Manual," Unity Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/SceneViewNavigation.html>.
- [33] Unity Technologies, "The Game view — Unity Manual," Unity Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/GameView.html>.
- [34] Unity Technologies, "The Hierarchy window — Unity Manual," Unity Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/Hierarchy.html>.
- [35] Unity Technologies, "The Inspector window — Unity Manual," Unity Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/UsingTheInspector.html>.
- [36] Unity Technologies, "The Project window — Unity Manual," Unity Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/ProjectView.html>.
- [37] Unity Technologies, "Console window — Unity Manual," Unity Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/Console.html>.
- [38] VRChat Inc., "VRC Pickup — VRChat Creation," VRChat Creation Documentation. [En línea]. Disponible: <https://creators.vrchat.com/worlds/udon/players/vrc-pickup/>.
- [39] VRChat Inc., "VRC Object Sync — VRChat Creation," VRChat Creation Documentation. [En línea]. Disponible: <https://creators.vrchat.com/worlds/udon/networking/vrc-object-sync/>.
- [40] z3y, "ShaderGraphVRC: Shader Graph target for the Unity built-in pipeline," GitHub repositorio. [En línea]. Disponible: <https://github.com/z3y/ShaderGraphVRC>.
- [41] Janooba, "immersive-interactions: Comprehensive and physically accurate buttons and switches for VRChat," GitHub repositorio. [En línea]. Disponible: <https://github.com/Janooba/immersive-interactions>.
- [42] vrchat-community, "EasyQuestSwitch: Unity editor tool for VRChat world creators to automate scene changes between PC and Android," GitHub

repositorio. [En línea]. Disponible: <https://github.com/vrchat-community/EasyQuestSwitch>

[43] Wikipedia, "Pixel," Wikipedia, The Free Encyclopedia. [En línea]. Disponible: <https://en.wikipedia.org/wiki/Pixel>

[44] Unity Technologies, "Transforms — Unity Manual," Unity Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/class-Transform.html>

[45] Unity Technologies, "Box Collider component reference — Unity Manual," Unity Documentation. [En línea]. Disponible: <https://docs.unity3d.com/Manual/class-BoxCollider.html>

[46] GitHub, "Acerca de GitHub y Git — Documentación de GitHub," GitHub Docs. [En línea]. Disponible: <https://docs.github.com/es/get-started/start-your-journey/about-github-and-git>

Anexos

Anexo 1: Repositorio del código fuente del proyecto

<https://github.com/DavidJara14/Metallographic-Simulator-VR>

Anexo 2: Visualizador de shaders (Web)

<https://davidjara14.github.io/ShaderGraphVisualizer/>

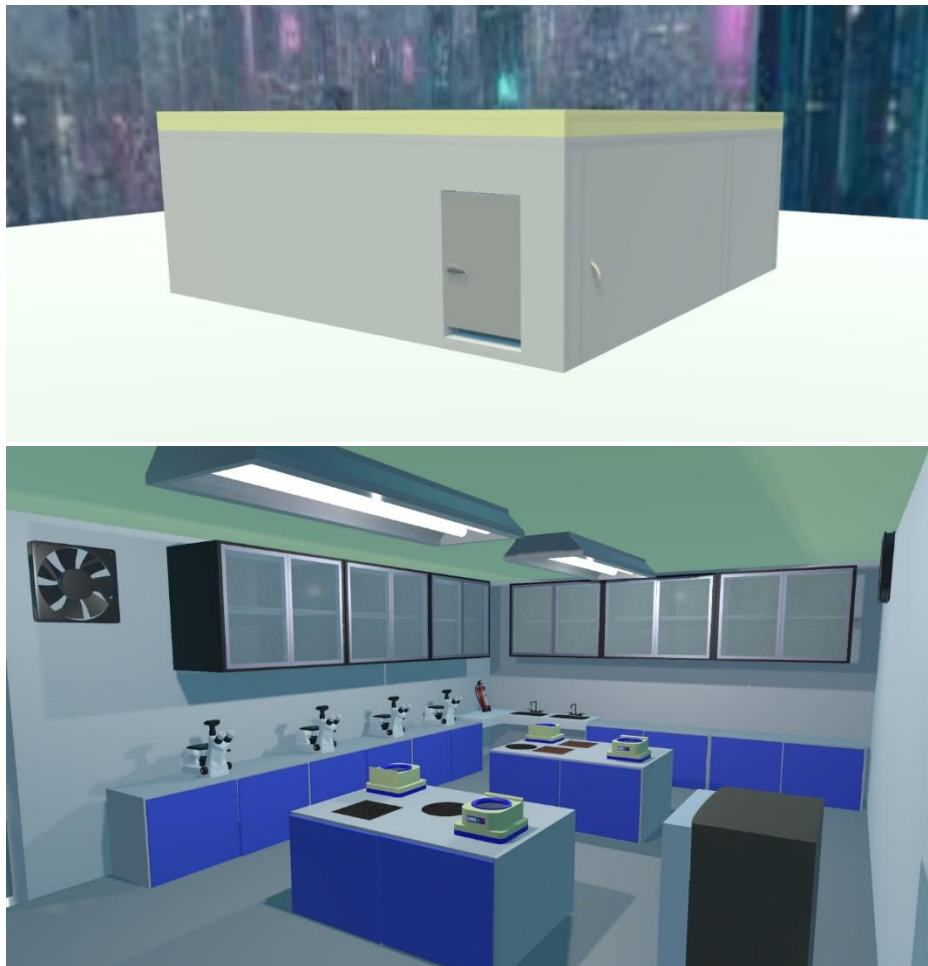
Anexo3: Visualizador de Prefabs (Web)

<https://angelvelascojr.github.io/WebPrefabVisualizer/>

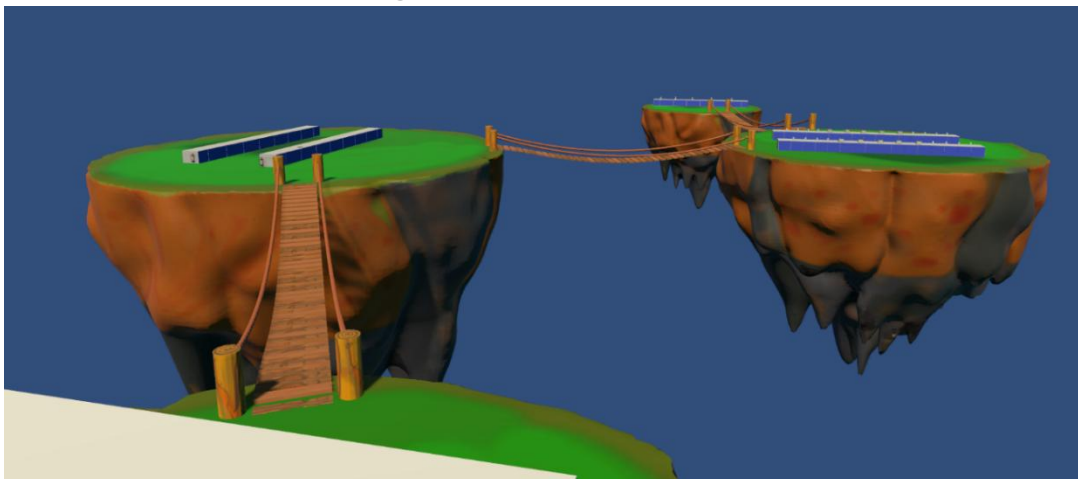
Anexo 4: Video demostrativo del funcionamiento del sistema

<https://youtu.be/KsKs8R-pFhA>

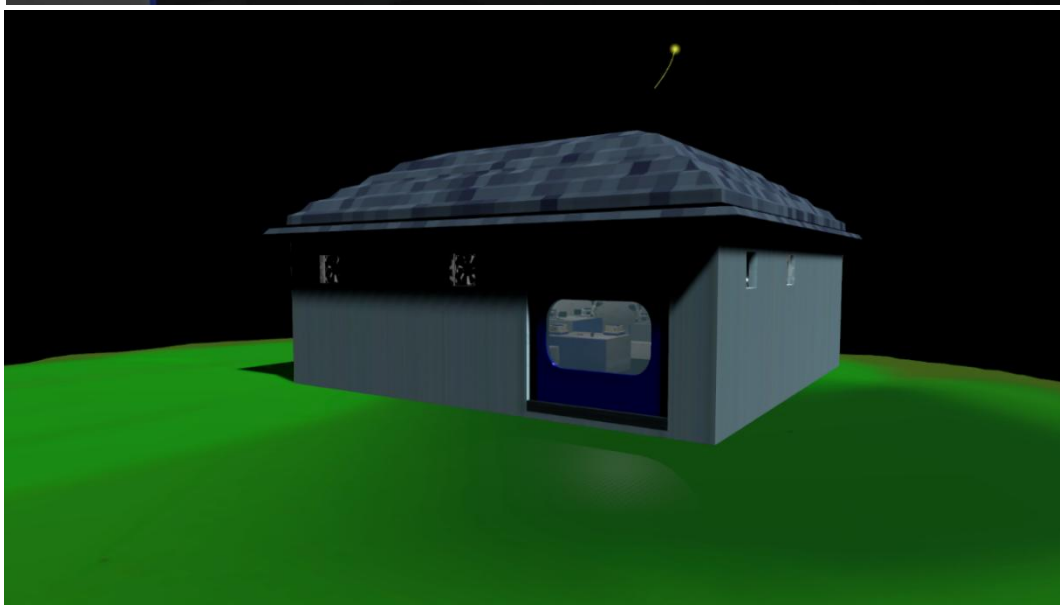
Anexo 5.1: Primer prototipo del laboratorio



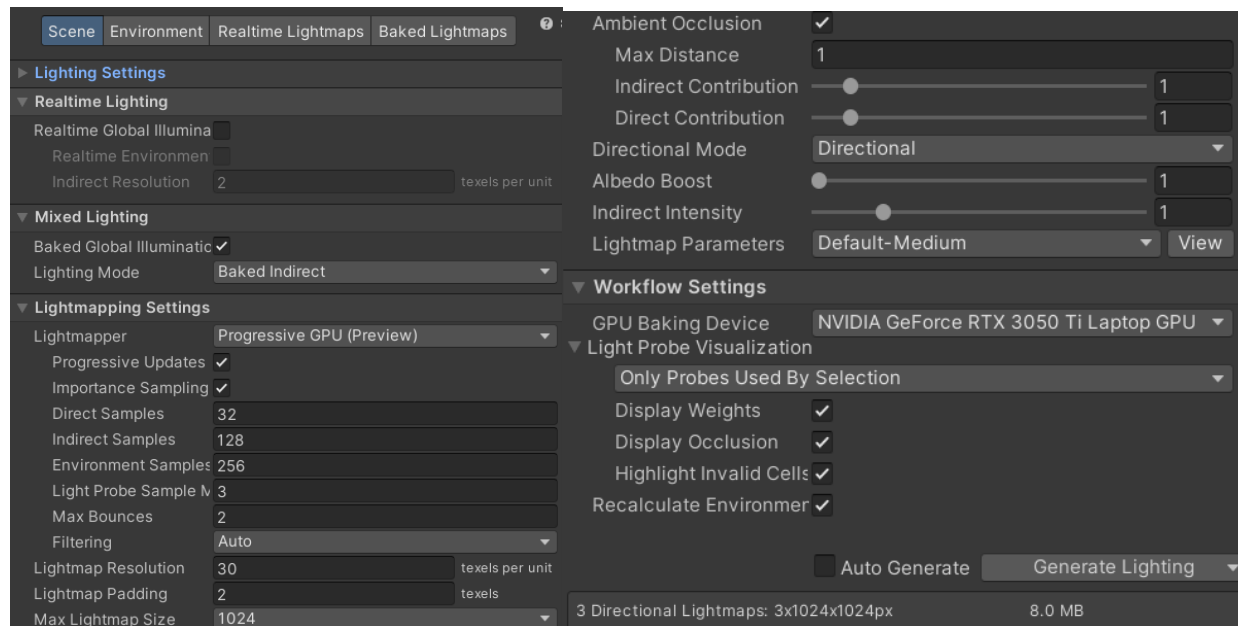
Anexo 5.2: Segundo prototipo del laboratorio



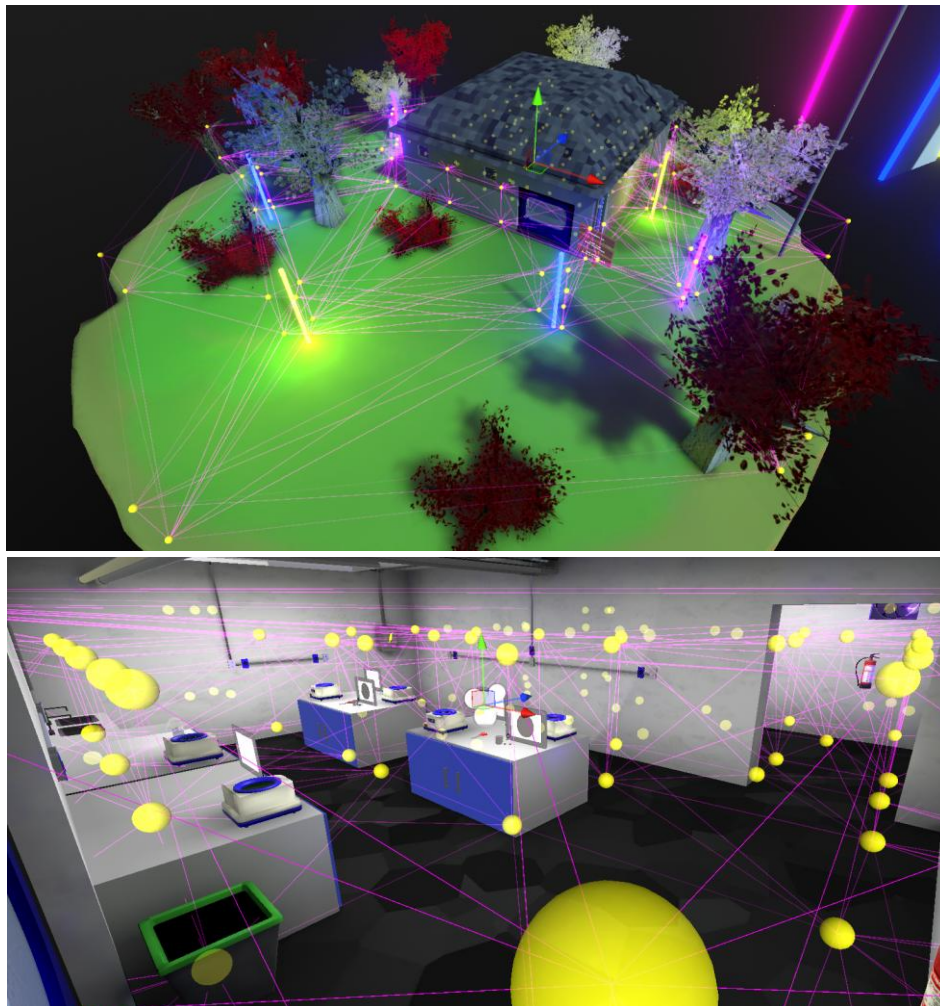
Anexo 5.3 Tercer prototipo del laboratorio



Anexo 6.1: Configuración de iluminación

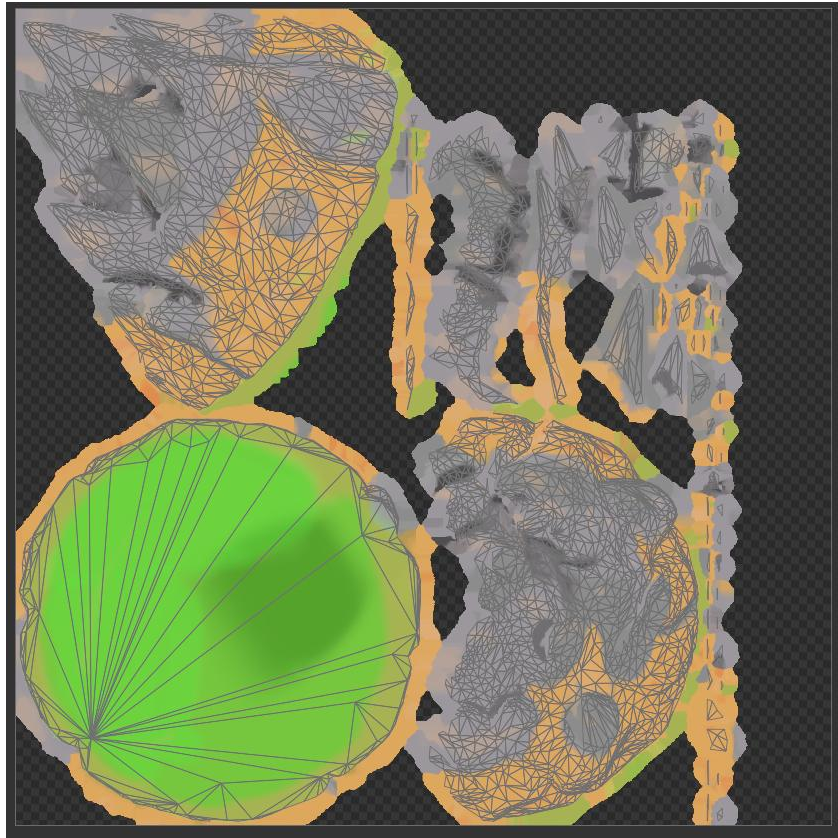


Anexo 6.2: Ubicación de Light Probes

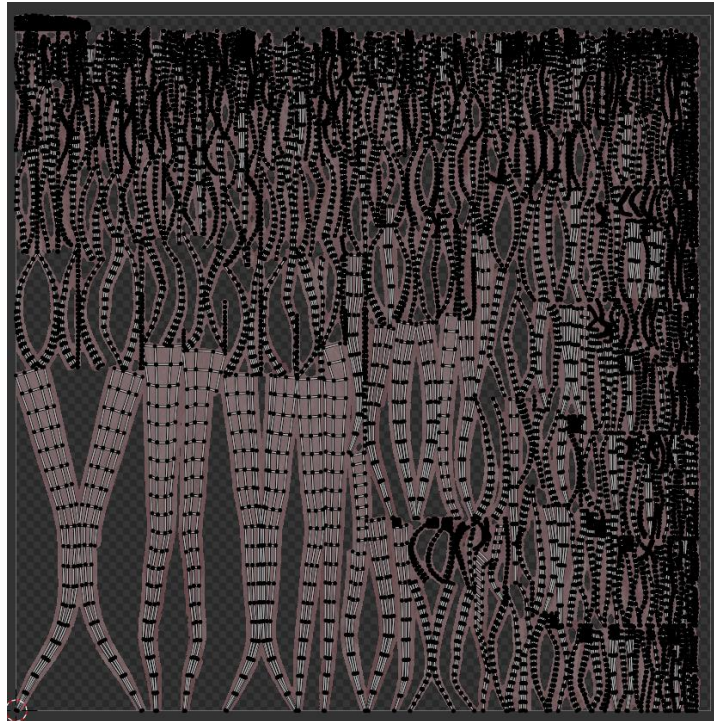


Anexo 7: Mapas UV y texturas complejas utilizadas

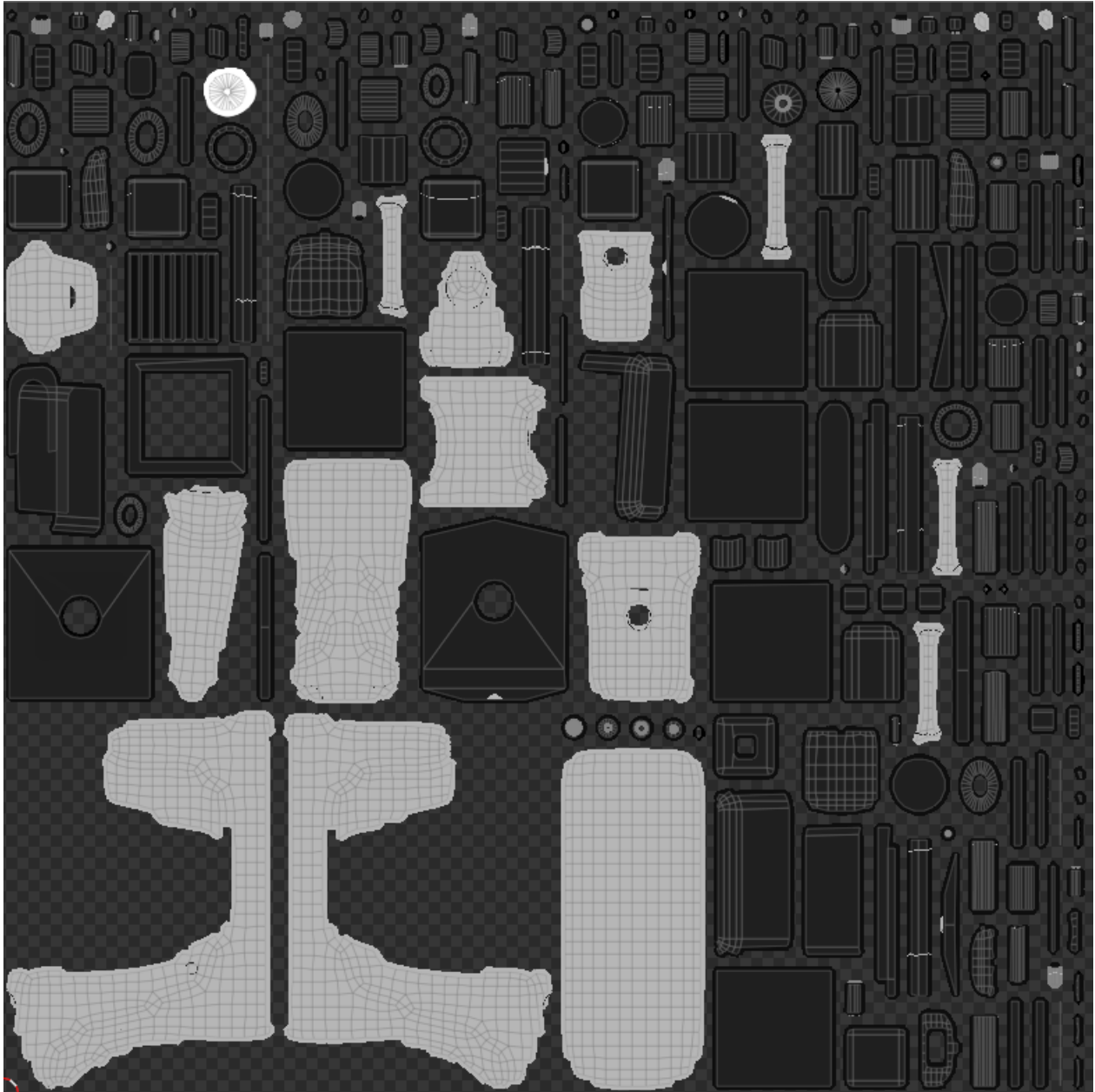
- Isla



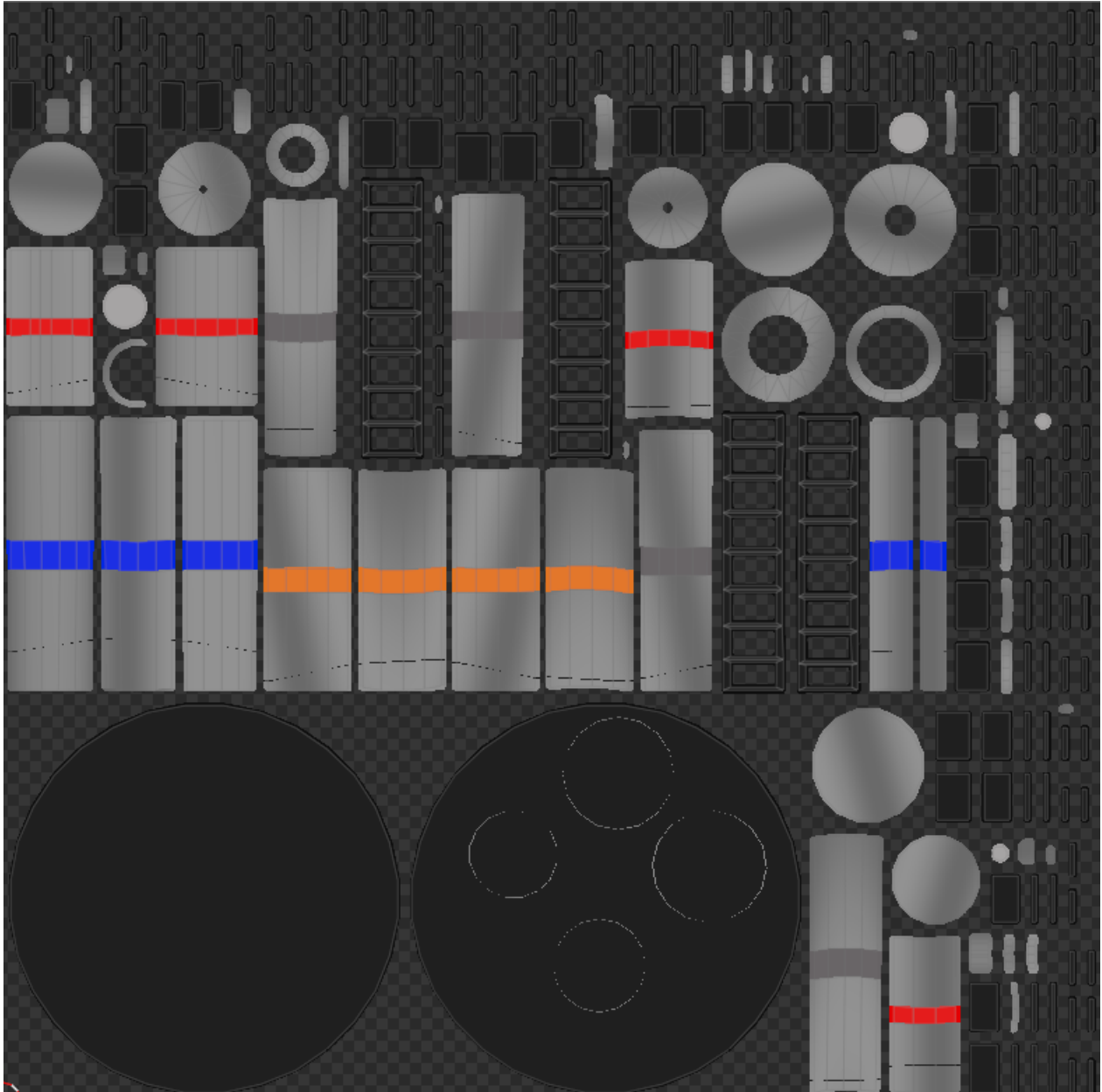
- Árbol



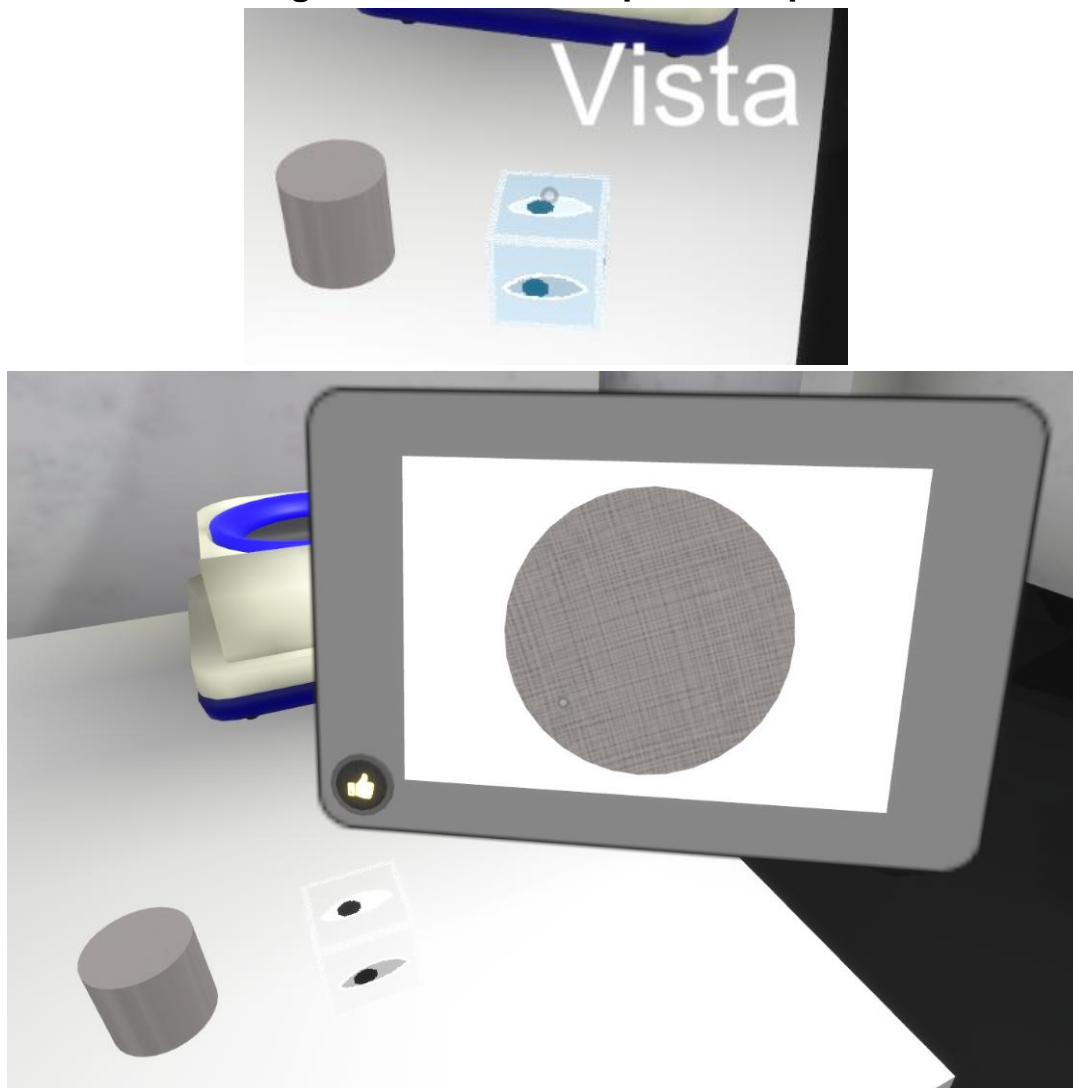
- **Microscopio**



- Revolver



Anexo 8: Interfaz gráfica de usuario para compatibilidad con PC



Anexo 9: Manual de práctica del Laboratorio Virtual de Metalografía

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	58/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 3

Caracterización

Metalográfica de los Materiales



	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	59/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Duración de la Práctica:

3 Sesiones

Contenido

- 3.1 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN
- 3.2 OBJETIVOS
- 3.3 INTRODUCCIÓN
- 3.4 MATERIAL Y EQUIPO
- 3.5 DESARROLLO
- 3.6 RESULTADOS
- 3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 3.8 CONCLUSIONES
- 3.9 REPORTE
- 3.10 BIBLIOGRAFÍA

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	60/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3.1 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Esmeril	Lesión por partícula en ojos
2	Desbastadoras	Raspaduras, impactos
3	Pulidoras	Laceraciones leves
4	Reactivo químico	Quemadura leve

3.2 OBJETIVOS

Objetivos generales:

El alumno conocerá y aplicará los métodos para la preparación de las muestras metalográficas, a partir de lo cual podrá realizar la observación microestructural mediante microscopía óptica e identificará los microconstituyentes, asociados al tipo de material en cuestión.

Objetivos específicos:

Sesión 1:

- El alumno preparará una muestra metálica, seleccionando la superficie a tratar para análisis microestructural y aplicará las técnicas de desbaste apropiadas.

Sesión 2:

- El alumno continuará la preparación metalográfica de la muestra, en la superficie seleccionada, aplicando técnicas de desbaste fino y/o pulido.

Sesión 3:

- El alumno finalizará la preparación metalográfica de la muestra asignada y hará el ataque químico correspondiente a la superficie tratada para la caracterización microestructural.
- El alumno observará e identificará los defectos (inclusiones) presentes en aleaciones ferrosas y entenderá el concepto de tamaño de grano y las diferentes metodologías para su determinación.

3.3 INTRODUCCIÓN

Si bien el examen macroscópico de una muestra se emplea en pruebas rutinarias de control de calidad o de investigación, la información que puede obtenerse de esta inspección es limitada.

Es a partir de la observación de su microestructura, que se puede predecir el comportamiento general de los materiales. A través de la observación de algunas características como son las fases

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	61/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

presentes y su proporción, el tamaño de grano, los límites de grano y la formación de precipitados en éstos, la presencia en general de precipitados y su tipo, las inclusiones, maclas y grietas se pueden considerar que influyen en las propiedades, en la distribución de esfuerzos y en el movimiento de dislocaciones en un material. Estas características pueden observarse con relativa facilidad mediante técnicas de microscopía convencionales.

Debe aclararse que defectos de dimensión atómica tales como las vacancias, átomos intersticiales y las antes mencionadas dislocaciones, si bien tienen gran influencia dentro del comportamiento mecánico, dada su dimensión no pueden ser observados mediante las técnicas convencionales de microscopía.

Por tal motivo, adquiere gran relevancia la correcta preparación de las muestras para observar su microestructura mediante el uso de las técnicas metalográficas adecuadas a tal fin. En contraparte, si la microestructura está parcial o totalmente alterada, esto es producto de una pobre técnica de preparación, lo cual puede llevar a interpretaciones incorrectas, que a su vez se traducen en fallas de proceso y como consecuencia costos adicionales.

La metalografía es esencialmente el estudio de la estructura física, es decir, de las características estructurales de la constitución de un metal o una aleación en relación con sus propiedades físicas y mecánicas.

3.3.1 PREPARACIÓN METALGRÁFICA

La correcta preparación de una muestra comienza con la selección de un espécimen adecuado, entendiendo por esto que sea representativo del fenómeno o comportamiento que se pretende estudiar y continúa hasta la etapa de ataque donde se revela la estructura del espécimen. El examen microscópico define entonces claramente las características estructurales tales como el tamaño del grano, el tamaño, la forma y la distribución de las fases y las inclusiones no metálicas, así como segregación y otras condiciones heterogéneas. A partir de la visualización de la microestructura también puede obtenerse una imagen acorde a los tratamientos térmicos y mecánicos que el material ha recibido.

Las etapas de las que consta la preparación metalográfica son:

1. Selección de una muestra.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	62/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

2. Corte y seccionado.
3. Montaje.
4. Desbaste.
5. Pulido.
6. Ataque.

1. Selección de una muestra

Debido a que la preparación de una muestra involucra de un considerable tiempo y gasto, es de importante poner atención en lo que respecta a la selección de una muestra con respecto al número, localización y orientación con respecto del elemento o componente con el objetivo de que pueda obtenerse la mayor cantidad de información posible con el menor costo de material, tiempo y recursos humanos para efectuar esto.

La orientación del plano de preparación depende esencialmente del proceso de manufactura, forma del producto y características a estudiar.

2. Corte y seccionado

Aunque existen casos donde la muestra es del tamaño correcto para su preparación, en la mayoría de los casos se requiere seccionarse para facilitar su manejo. Para esto existe una amplia variedad de técnicas de corte, teniendo cuidado al elegir una, que el corte no debe alterar significativamente la estructura aún en zonas lejanas a las del corte.

La profundidad del daño durante el corte varía en función de la técnica empleada y del material a cortar. Por ejemplo, una de las técnicas más comunes de corte es mediante el uso de discos abrasivos, junto con un fluido de corte, aunque también puede emplearse discos que contienen un recubrimiento de diamante o discos de diamante y los que se caracterizan por ser más delgados y producir cortes más finos.

Esto se explica, de acuerdo con las conclusiones generadas en varios estudios, ya que al emplear discos más gruesos se produce una mayor deformación en la pieza (hasta casi 1mm de profundidad respecto del corte), mientras que el daño con un disco más delgado produce una deformación menor (entre 0.55 y 0.2mm de profundidad respecto de la zona de corte).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	63/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Otro efecto indeseable durante el corte, ya que provoca la alteración de la microestructura y por ende produce una falsa caracterización metalográfica, es un elevado calentamiento (quemado) de la zona de corte; por esta razón es que se emplea un fluido de corte para disminuir lo más posible este efecto.

De manera muy general las operaciones de corte pueden obtenerse, dependiendo del material, mediante corte abrasivo (metales y materiales compuestos de matriz metálica), corte con disco de diamante (cerámicos, electrónica, biomateriales, minerales), o corte fino con un microtomo (plásticos). Existen otras operaciones para generar el corte como por ejemplo la electroerosión, la cual se emplea en materiales eléctricamente conductores o el uso de cizallas y seguetas, por mencionar algunos.

En el caso de los mencionados discos de corte abrasivo base de carburo de silicio (SiC) para el corte de metales no ferrosos, de alúmina (Al_3O_2) para ferrosos (Tabla 3.1) y discos de diamante (contienen un recubrimiento de diamante en su superficie) para el corte de algunos metales, cerámicos y minerales (Tabla 3.2).

Tabla 3.1. Guía general para la selección de un disco abrasivo de corte.

Material (aleación)	Clasificación	Abrasivo/Ligante
Aluminio, latón, zinc, etc.	No ferrosos suaves	SiC/Disco de hule
Aleaciones tratadas térmicamente	No ferrosos duros	Al_3O_2 /Resina de hule
Aceros con dureza HRC<45	Aceros suaves	Al_3O_2 /Resina de hule
Aceros con dureza HRC>45	Aceros duros	Al_3O_2 /Resina de hule
Superalloys	Aleaciones de alto Ni-Cr	SiC/Disco de hule

Esto ya que a mayor dureza del material se debe elegir un disco más suave para que la velocidad de desgaste de éste coincida con la dureza del material a cortar. Existen 2 excepciones: es necesario un disco de corte duro para aleaciones de Fe de gran dureza y un disco blando para cortar aluminio.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	64/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 3.2. Ejemplo de guía para la selección de discos de diamante empleados para el corte.

Material	Característica	Velocidad (rpm)	Carga (gr)	Disco (abrasivo/concentración)
Substrato de silicio	Suave/Frágil	<300	<100	Fino/Bajo
Arseniuro de galio	Suave/Frágil	<200	<100	Fino/Bajo
Compuestos de boro	Muy frágil	500	250	Fino/Bajo

3. Montaje

Éste va en función del tamaño de la muestra a manipular, ya que en caso de ser muy pequeña o de geometría irregular será necesario su montaje. Básicamente la operación del montaje cumple tres funciones importantes (1) protege el borde del espécimen y mantiene la integridad de los materiales superficiales (2) rellena huecos en materiales porosos y (3) mejora el manejo de muestras con forma irregular, especialmente para la preparación automatizada de muestras.

En general la mayoría de los montajes son de sección circular con diámetros de 1,1 ¼ o 1 ½ pulgadas y su altura va usualmente de ½ a ¾ de pulgada.

La mayoría del montaje de una muestra metalográfica se realiza encapsulando la muestra en un compuesto de montaje el cual puede ser una resina epóxica o en una termofija (baquelita conductora), cuidando la adecuada limpieza previa de la muestra.

4. Desbaste

La técnica para la preparación de muestras metálicas se puede dividir en dos grupos, los procesos que implican el uso de papeles de abrasivo y abrasivos gruesos (desbaste) y las subsiguientes operaciones con abrasivos finos (tratamiento de pulido), como se puede observar en la tabla 3.3.

Tabla 3.3. Guía general para la etapa de preparación de desbaste y pulido de la muestra.

Etapas	Abrasivo	Lubricante	Paño
Desbaste grueso	SiC (180 o menor)	Agua corriente	
Desbaste fino	Grano 240	Agua corriente	
	Grano 320	Agua corriente	
	Grano 400	Agua corriente	
	Grano 600	Agua corriente	
	Grano 1200	Agua corriente	
Pulido fino	Alumina 0.05µm	Agua corriente	Rayón

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	65/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El desbaste es muy importante en la preparación de la muestra, ya que el daño introducido al momento del corte es eliminado en este paso, así también se garantiza la obtención de una superficie plana.

La preparación de la muestra debe llevarse a cabo cuidadosamente, de tal manera que se conserven todos los componentes microscópicos de la superficie y que el medio de desbaste no se encuentre incrustado en la muestra.

Para conseguir esto, el espécimen es desbastado en grados sucesivamente más finos del papel de abrasivo, siendo los más empleados los de SiC, esto porque es un abrasivo excelente para un desbaste plano, es muy duro y mantiene un filo de corte cuando se rompe durante el desbaste (Figura 3.1). Los abrasivos de SiC se enumeran típicamente por el tamaño de grano o número de malla (Tabla 3.4).

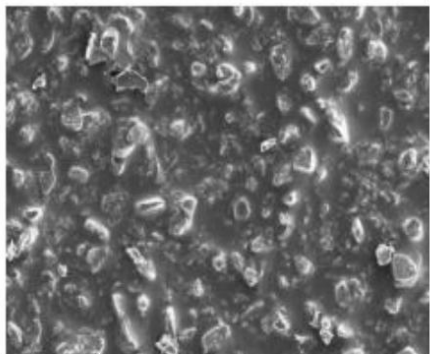


Figura 3.1. Imagen obtenida mediante microscopía electrónica de barrido de una lija abrasiva con tamaño de grano 600 a 150x.

Tabla 3.4. Tamaño de grano para las lijas abrasivas más comunes.

Tamaño estándar (No de granos por pulgada)	Diámetro promedio (μm)
60	250
80	180
100	150
120	106
150	90
180	75
220	63
240	58.5
280	46.2
320	40.5
360	30.5
400	25.75
500	18.3
600	15.3
800	6.5
1200	2.5

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	66/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Los especímenes se lijan hacia adelante en una dirección hasta que la superficie está completamente desbastada, es decir, hasta que sólo se pueden ver las marcas debidas al papel en particular en toda la superficie.

Para los siguientes pasos se van seleccionando lijas con un tamaño de grano cada vez más fino, en cada cambio la muestra se deberá desbastar formando un ángulo recto con el paso inmediato anterior. Dado que la muestra se mantiene con las rayas recién formadas en ángulo recto con respecto a las marcas introducidas por el desbaste anterior, de manera que la eliminación de las anteriores marcas se observa fácilmente.

Para algunas aleaciones tratadas térmicamente y en particular para muchos de los metales blandos, es una ventaja usar el papel abrasivo completamente mojado.

Se debe evitar la aplicación de una presión indebida ya que la perturbación de capa que se produce al generar la nueva superficie puede extenderse a una profundidad considerable y provocar un efecto indeseable. Como norma general se debe considerar aplicar una mayor presión con materiales más duros.

Es importante que el abrasivo no se transporte de una secuencia a otra. Por lo tanto, se deben lavar tanto los especímenes como las manos entre cada paso del desbaste completamente en agua hasta llegar al pulido.

5. Pulido

Durante la etapa de pulido, el objetivo es eliminar cualquier pequeña deformación generada en la etapa previa de desbaste, manteniendo un solo plano en la muestra y conservando todas las inclusiones o fases secundarias, así como la integridad de la microestructura.

El pulido mecánico puede realizarse mejor sujetando la muestra contra un disco giratorio cubierto con un paño adecuado que está impregnada con una suspensión de alúmina de pulido o aceite de polvo de diamante.

De preferencia, los bordes de los especímenes metálicos cilíndricos deben primero ser biselados para evitar dañar los paños de pulido. Para Mg y Al y sus aleaciones, se deben utilizar los paños de pulido de aluminio.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	67/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6. Ataque

El propósito del ataque es descubrir las características microestructurales tales como las fases y el tamaño de grano a observarse mediante las técnicas de microscopia. Sin embargo, de preferencia, la muestra pulida debe ser examinada primero sin atacar. De esta forma las inclusiones, defectos, rayas y otros defectos pueden ser observados de esta manera, y si se identifican antes del ataque, cualquier confusión y mala interpretación posterior pueden evitarse.

El ataque altera selectivamente la superficie, a través de una oxidación controlada, cuya velocidad dependerá de los reactivos, su concentración, la composición del material, el estado de tratamiento térmico y los esfuerzos internos. La técnica más común para revelar la microestructura es el ataque químico selectivo, para lo cual se han desarrollado al paso del tiempo diferentes formulaciones de reactivos, cuya selección dependerá de la composición del material a estudiar, así como de los microconstituyentes que se pretenden observar. En la Tabla 3.5 se presentan algunos de los reactivos más comúnmente utilizados en la práctica metalográfica.

En lo que respecta al tiempo de ataque, es imposible establecer reglas generales para éste. Por lo general, el efecto deseado se producirá entre diez segundos y dos minutos. El espécimen después del ataque debe ser lavado en agua corriente. La superficie debe ser secada, sin tocarse, manteniendo la corriente de aire. Cuando se seleccionan tiempos de ataque, es más deseable una falta de ataque que sobreatacar. Si se comprueba que una muestra está insuficientemente atacada después de un primer intento, el proceso de ataque normalmente puede repetirse sin preparación adicional de la superficie. Un espécimen que está sobreatacado sólo se puede corregir repuliendo y luego reatacando por un tiempo más corto.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	68/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 3.5. Algunos de los ataques químicos más comúnmente empleados.

Ataque	Composición	Aplicación	Condiciones	Comentarios
Ataque de Keller	190ml Agua destilada 5ml Ácido nítrico 3ml Ácido clorhídrico 2ml Ácido fluorhídrico	Aleaciones de aluminio	10-30s de inmersión.	Sólo usar ataques frescos.
Reactivo de Kroll	92ml Agua destilada 6ml Ácido nítrico 2ml Ácido fluorhídrico	Titanio	15 s	
Nital	100ml Etanol 1-10ml Ácido nítrico	Aceros al carbono, estaño y aleaciones de níquel	Segundos a minutos	
Reactivo de Kallings	40ml Agua destilada 2g Cloruro de cobre (CuCl ₂) 40ml Ácido clorhídrico 40-80ml Etanol (85%) o Metanol (95%)	Aceros inoxidables forjados, aleaciones Fe-Ni-Cr	Inmersión o aplicación con un algodón humedecido por unos pocos segundos a minutos	
Reactivo de Lepito	50ml Ácido acético 50ml Ácido nítrico	Aceros de alta temperatura	Aplicación con un algodón humedecido	
Reactivo de Marble	50ml Agua destilada 50ml Ácido clorhídrico 10g Sulfato de cobre	Aceros inoxidables, aleaciones de níquel	Inmersión o aplicación con un algodón humedecido por unos pocos segundos	
Reactivo de Murakami	100ml Agua destilada 10g K ₃ Fe(CN) ₈ 10g NaOH o KOH	Aceros inoxidables forjados, aleaciones de tungsteno, de plata, SiC, B ₄ C	Inmersión o aplicación con un algodón humedecido por unos pocos segundos a minutos	Usar fresco
Picral	100ml Etanol 2-4g Ácido pícrico	Hierro y acero, aleaciones de estaño	Segundos a minutos	No dejar que cristalice o seque-explosivo
Reactivo de Vilella	45ml Glicerol 15ml Ácido nítrico 30ml Ácido clorhídrico	Aceros inoxidables, aceros al carbono, fundiciones de hierro	Segundos a minutos	

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	69/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3.3.2 OBSERVACIÓN DE MACRO Y MICROESTRUCTURA

Macroscopía

La macroscopía se refiere a la observación de la macroestructura, la cual se efectúa sin aumento o con aumentos menores de aproximadamente 30x. La estructura puede aparecer después de tratamientos especiales de ataque. Estos hacen aparentes algunos de los defectos en el material, principalmente las heterogeneidades tales como:

- Segregaciones; se trata de distribuciones de concentración desiguales de algún elemento, como, por ejemplo: azufre, fósforo, silicio, etc.
- Fibras; durante la deformación plástica del material ocurre un alargamiento de las inclusiones y de los granos, lo cual lleva a un aspecto fibroso del material con éstas orientadas en una dirección paralela a la deformación principal.
- Texturas; se trata de orientación preferencial de los cristales debido a fenómenos de recristalización, deformación o recocido.

El examen macroscópico permite obtener conclusiones referentes a los procesos de conformado previos y a la calidad del material utilizado.

Microscopía

La microscopía se refiere a la observación de la estructura del material con ayuda de elementos que permitan distinguir detalles que a simple vista o bajos aumentos son imposibles de observar tales como tamaño de grano y fases presentes (Figura 3.2). Este tipo de observaciones se puede hacer con luz visible, ultravioleta, Rayos X, así como con el auxilio de haz de electrones o de iones, los cuales se consideran generalmente como partículas, pero se comportan como radiación.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	70/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Figura 3.2. Microscopio metalográfico convencional (de reflexión) de luz visible y partes importantes.

Normalmente en los metales, es suficiente para su observación, contar con ampliaciones de hasta 1000 X, lo cual se puede realizar mediante microscopía con luz visible, de luz ultravioleta y en caso de contar con la facilidad, microscopía electrónica de barrido en el caso que se requieran más de 2000x. Estas técnicas permiten distinguir defectos de dimensión 1 (dislocaciones, éstas de manera indirecta por la aparición de picaduras), dimensión 2 (tamaño de grano, distribución de fases, etc) y dimensión 3 (inclusiones, distribución de precipitados, entre otros).

El uso de películas delgadas o réplicas que son transparentes a los electrones permiten la observación con mayores aumentos (hasta 1 000 000x) y con mayor poder de resolución (hasta unos 3 Å).

3.3.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS MICROCONSTITUYENTES Y FASES

Los microconstituyentes son los diferentes elementos microestructurales que se observan en la muestra. Por ejemplo, en el caso de un acero de bajo contenido de carbono (AISI 1020) se tienen dos microconstituyentes: ferrita ($\text{Fe-}\alpha$) y perlita (mezcla de $\text{Fe-}\alpha$ y Fe_3C). La perlita es un microconstituyente del acero que consta de dos fases, ferrita ($\text{Fe-}\alpha$) y cementita (Fe_3C o carburo de hierro). En la figura 3.3 se observan estos dos microconstituyentes, sin embargo, el aumento de la imagen no es suficiente para poder distinguir la mezcla de las dos fases en la perlita. En la figura 3.4 se pueden distinguir claramente las dos fases. Para esto es importante notar la barra de escala de las dos imágenes.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	71/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

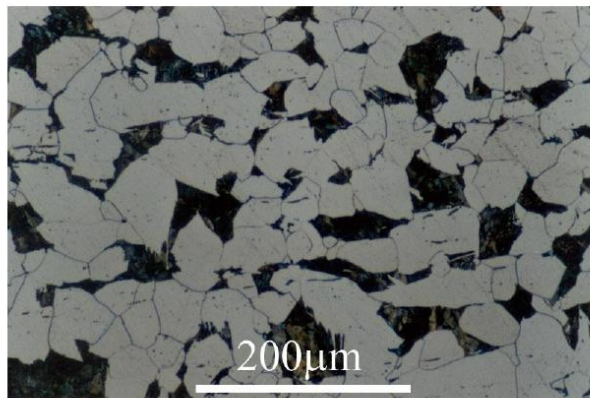


Figura 3.3. Microestructura de un acero AISI 1020. Los granos claros corresponden a la fase ferrita, los oscuros a la perlita [Tomada de www.doitpoms.ac.uk/miclib/index.php].

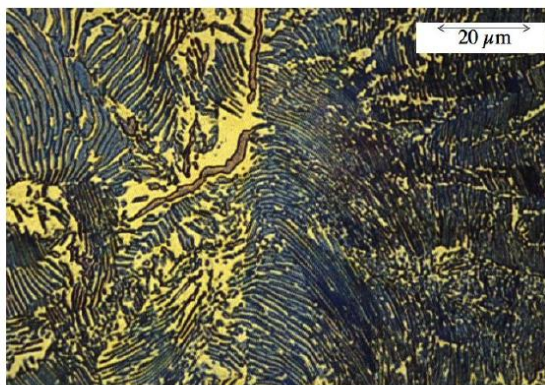


Figura 3.4 En un grano de perlita se tienen dos fases: ferrita (zonas claras) y cementita (zonas oscuras). Estas dos fases en el microconstituyente perlita solo se pueden ver a grandes aumentos [Tomada de www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2008/Steel_Microstructure/SM.html].

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	72/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3.4 MATERIAL Y EQUIPO

1. Probetas de 25.4 mm de diámetro por 18mm de alto de diferentes aleaciones metálicas, ocupándose como mínimo tres aleaciones diferentes. Por ejemplo, considerando el material existente en el laboratorio, pueden ocuparse las siguientes:

- Acero AISI 1018
- Acero AISI 1045
- Latón (CW603-CuZn36Pb3-)

Sin limitarse a los materiales antes referidos; por ejemplo, en el caso de las aleaciones ferrosas pueden emplearse otros aceros de bajo, medio y alto contenido de carbono, mientras que en el caso de las no ferrosas podrían utilizarse otras aleaciones de cobre o de aluminio en función de la disponibilidad del material del laboratorio, empleando de preferencia una aleación en lugar de un material puro, para que sea más ilustrativa la práctica.

2. Cortadora de disco abrasivo (opcional).
3. Discos de corte abrasivo para materiales ferrosos (y no ferrosos, opcional).
4. Alúmina gris.
5. Alúmina blanca.
6. Nital (preferentemente, al 2%).
7. Alcohol.
8. Papel de lija abrasivo (carburo de silicio) de los siguientes grados: 180, 240, 360, 400, 500 y 600. O similares.
De manera opcional, se pueden ocupar lijas de 80, 1000 o mayores. Todas, proporcionadas por los alumnos.
9. Desbastadora de banda (opcional).
10. Desbastadoras manuales.
11. Pistola de aire.
12. Esmeril.
13. Pulidora.
14. Microscopio metalográfico.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	73/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3.5 DESARROLLO

Sesión 1: Preparación de las muestras: selección de superficie y desbaste profundo.

1. El profesor de laboratorio proporcionará, a cada alumno y al azar, las muestras a estudiar de tal manera que analicen diferentes tipos de materiales.

2. Los alumnos que reciban muestras de aleación ferrosa, deben revisarlas e identificarlas. En caso de identificar alguna con un muy mal acabado superficial (notables efectos del corte), para evitar un daño en las lijas de papel abrasivo que se ocuparán más adelante, deberán emplear la desbastadora para desaparecer éstas.

3. Dado que algunas muestras provienen de un proceso de laminación, se debe de identificar la dirección de laminado, de tal manera que se cuente con muestras cuya superficie a preparar sea paralela (longitudinal) al eje de laminación, o bien, con superficies que sean perpendiculares a éste (transversal). En caso de que no se cuente con muestras previamente cortadas, la primera fase de la práctica corresponderá con esta actividad. Para esto primero deberán de verificar si la cortadora tiene instalado un disco de corte adecuado al material a cortar, ya que de otra forma primero se deberá cambiar éste, asimismo. Para el empleo de la cortadora, deberán tener especial cuidado con la fuerza y velocidad que se aplican para evitar la fractura del disco empleado o el incremento desmedido de la temperatura y de la región deformada plásticamente, lo cual modificara la estructura del material.

El corte de la muestra también puede realizarse mediante otros métodos, que pueden generar superficies con mayor o menor deformación, y que pueden ser usados en función de la disponibilidad del equipo de laboratorio.

4. El desbaste se realiza con lijado manual, el cual se debe de efectuar mediante el uso de las desbastadoras, o bien, sobre una superficie inclinada, en donde debe verterse agua con cierta periodicidad, el movimiento de la muestra respecto de la lija se realiza de arriba hacia abajo. Mientras que se ocupe una lija con determinado tamaño de grano, no se debe rotar la muestra, de tal forma que al enjuagar el área de preparación se observen líneas de desbaste en una sola dirección. Solamente se debe rotar 90° la muestra, respecto de las rayas de desbaste, al pasar a una lija con diferente tamaño de grano, a través de lo cual se busca el tener una referencia de la lija empleada y su avance respecto de una precedente.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	74/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Lo anterior es con el objetivo de eliminar la zona de deformación provocada por el corte, sin importar el método empleado. Además, se pretende que la superficie de interés no sea lastimada durante la preparación, por lo que debe tenerse especial precaución con la fuerza ejercida y como se distribuye ésta durante el lijado, así como que las partículas previamente removidas no se incrusten en la probeta.

En caso de no utilizar la desbastadora de banda, se puede iniciar el desbaste grueso con la lija de 80 en las desbastadoras manuales.

Posteriormente se puede continuar con el proceso de desbaste con la lija de 180, esto hasta desaparecer las rayas y marcas del corte. Posteriormente se procede con la de 240, 360 o 400.

El uso de la desbastadora previo al lijado es opcional y debe utilizarse sólo en casos muy particulares, como por ejemplo si la superficie a preparar presenta marcas muy profundas, ya que es muy fácil generar más de un plano al ocuparla, por lo que debe tenerse especial cuidado.

Sesión 2: Desbaste fino y pulido de superficies a analizar en la probeta.

1. Terminada la etapa de desbaste con lija de grano grueso se procede al desbaste fino, el cual utiliza lijas de grano 400, 500, 600. Si el profesor lo considera pertinente, se usarán lijas de grano más fino (1000, 1500 o 2000), las cuales se utilizan hasta desaparecer en su totalidad las rayas dejadas por la lija previa.

2. Una vez terminada la etapa de desbaste fino, se procede al pulido de la muestra, para el cual se ocupa primeramente un polvo abrasivo con un tamaño de diámetro de grano $3\mu\text{m}$ (alúmina gris) y posteriormente un polvo de alúmina de grado metalográfico (alúmina blanca) con un tamaño de diámetro de grano $1\mu\text{m}$, hasta obtener una superficie lisa y reflejante como la de un espejo.

De preferencia deberá prepararse una pasta con la alúmina indicada y agua destilada.

Sesión 3: Identificación de los microconstituyentes, fases presentes e identificación de inclusiones (aceros)

1. Una vez pulida a espejo la superficie a observar se procederá al correspondiente ataque, el cual depende de la composición del material, su tratamiento y los microconstituyentes que son de interés. En caso de utilizar un ataque de tipo químico, la tabla 3.5 muestra el tipo de soluciones que pueden prepararse para tal fin, y para realizarlo basta con depositar un poco en un vidrio de

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	75/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

reloj o en una caja de Petri, de tal manera que la cantidad depositada alcance para cubrir la superficie a preparar.

El tiempo de ataque varía en función del reactivo y de la muestra pudiendo ser desde unos pocos segundos hasta algunos minutos. Una recomendación es sumergir la superficie a atacar durante unos pocos segundos, enjuagar con agua corriente y observar el nivel y la uniformidad del “oscurecimiento” generado por el ataque, y en el caso que esto sea deficiente se debe repetir el ataque por unos cuantos segundos más.

Una vez que la superficie de interés se ha atacado de manera adecuada, debe enjuagarse ésta, agregar alcohol y pasar al secado con aire caliente.

Al concluir, se observa la pieza en el microscopio. En caso de que durante esta observación se note la presencia de rayas provenientes del desbaste, casi imperceptibles a simple vista, se recomienda repetir las etapas de pulido y ataque unas cuantas veces hasta desaparecerlas.

2. Se procede a la observación en el microscopio metalográfico. Ésta debe comenzarse a 100x, que es el aumento de referencia (para esto será necesario ajustar el objetivo y los oculares para alcanzar el nivel de amplificación antes enunciado, se debe de recordar que la amplificación está dada por el producto de la amplificación del objetivo por la correspondiente a los oculares). En caso de observar un sitio de interés, posteriormente puede ser visto a mayores aumentos.

El primer ejercicio a realizar en esta observación es la identificación las fases presentes en la aleación en cuestión.

A partir de la observación a bajos aumentos, comenzando con la de referencia que es a 100x, deben identificarse las inclusiones presentes en las probetas de acero al carbono (de bajo contenido -1018- y de medio contenido -1045-). De acuerdo con las Figuras 3.5 a la 3.8, se indican encerradas en color morado a la alúmina, en verde a los óxidos, en azul se tienen a los silicatos y en rojo a los sulfuros.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	76/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

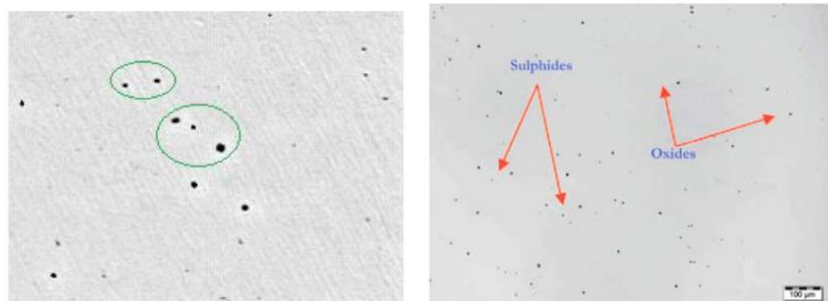


Figura 3.5. Imagen de un óxido. Este tipo de inclusiones se caracteriza por ser de geometría globular y tener una tonalidad oscura.

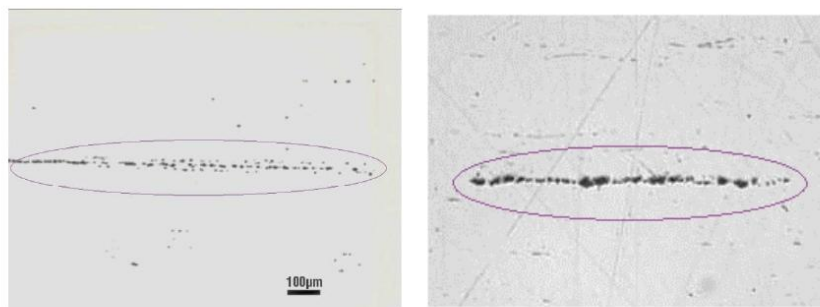


Figura 3.6. Imagen de una inclusión de alúmina. Este tipo de inclusiones se caracteriza por ser de geometría irregular, así como por estar acompañados de varios de estos alineados en una cierta longitud. Poseen una tonalidad gris.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	77/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

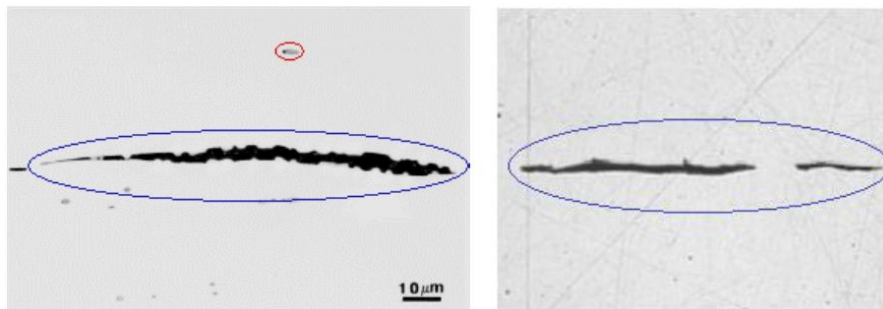


Figura 3.7. Imagen a 100x de una inclusión de silicato. Se caracteriza por tener bordes afilados. Al atacar con nital también se observa que posee una tonalidad oscura (negro).

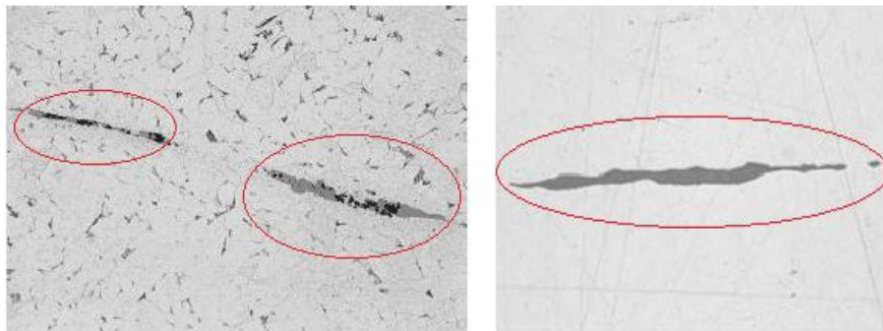


Figura 3.8. Imagen a 100x de una inclusión de un sulfuro. Este tipo de inclusiones sólo es posible visualizarla en un corte longitudinal, en una transversal se vería con una geometría redonda, y se caracteriza por tener bordes más suaves y redondeados. Al atacar con nital también se observa que posee una tonalidad gris claro.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	78/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Determinación del tamaño de grano

La determinación del tamaño de grano representa una importante práctica de la metalografía, debido a la influencia de este parámetro en las propiedades y comportamiento del material (por ejemplo, para verificar esto, se puede considerar la ecuación de Hall-Petch con las reservas de cada caso, ya que es válida para un tamaño de grano homogéneo y considerando un material con no más de dos fases).

Sin embargo, se trata de medir un elemento tridimensional a partir de su observación en el plano.

Para esto se han definido el tamaño de grano planar, que no son otra cosa que mediciones que pueden usarse para expresar el tamaño de grano, como:

- Diámetro promedio
- Área promedio
- Número de granos por unidad de área
- Intercepción promedio sobre una longitud
- Número de granos por unidad de volumen
- Diámetro promedio basado en el volumen promedio del grano

Es entonces que las diferentes técnicas para medir el tamaño de grano planar están definidas en la norma ASTM E112.

- Una de estas es el tamaño de grano ASTM (G) o Tinken. A partir de ésta se determina un tamaño de grano promedio, por lo cual se limita a materiales con granos equiaxiales y de un tamaño homogéneo. Ésta se define como el número de granos por pulgada cuadrada observados a un aumento estándar o de referencia de 100x y se calcula de acuerdo a:

$$N = 2^{G-1}$$

$$G = \frac{\log N}{\log 2} + 1$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	79/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

donde

N -número de granos por pulgada cuadrada a 100x

G -Tamaño de Grano ASTM

Por ejemplo, para determinar este parámetro se traza una cuadrícula de 1x1in en una micrografía tomada a 100x y se realiza el conteo de granos dentro de la cuadrícula, los cuales cuentan como uno, y los granos que son cortados por la cuadrícula, los cuales cuentan como una mitad de grano (por ejemplo, los granos encerrados en óvalos anaranjados en la figura 3.9).

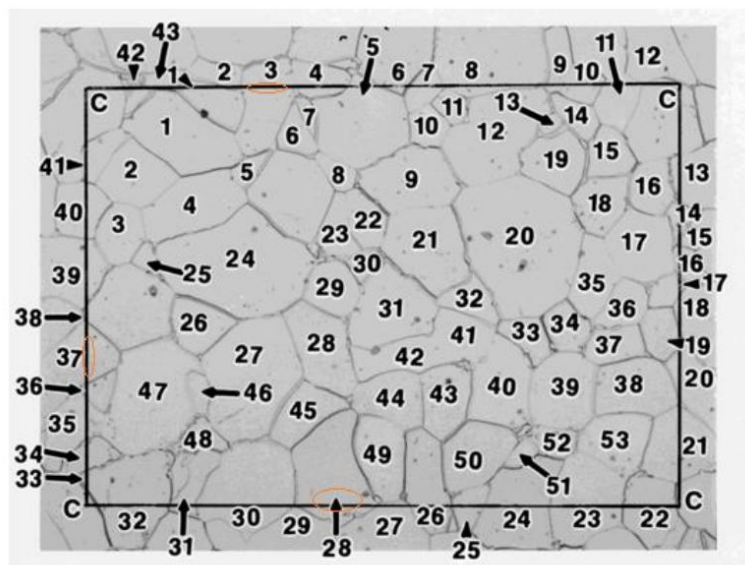


Figura 3.9. Imagen a 100x donde se ha dibujado la cuadrícula de 1in por lado, y el respectivo conteo de granos dentro de esta, para determinar el tamaño de grano.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	80/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Con diferentes aumentos al de referencia (100x), es posible determinar el tamaño de grano, este será mayor en un factor Q que el tamaño de grano aparente determinado a un cierto aumento diferente del de referencia.

$$Q = 6.64 \log \frac{M}{M_b}$$

donde

M - número de aumentos en los que se determinó un tamaño de grano aparente

M_b - número de aumentos de referencia (100x)

Por ejemplo si a 200x se determinó un tamaño de grano aparente $G_{ap200x}=8$, entonces se tiene que:

$$\Rightarrow Q = 6.64 \log \frac{200}{100} = 2$$

$$\therefore G = G_{ap200x} + Q = 8 + 2 = 10$$

- Método de intercepción lineal o de Heyn. Éste es ideal para la medición de materiales con granos no equiaxiales. Ésta se define a partir de los siguientes parámetros:

$$S_v = 2N_L$$

$$N_L = \frac{N}{L_T/M}$$

$$\bar{L} = \frac{1}{N_L}$$

$$G = [-6.6457 \log \bar{L}] - 3.298$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	81/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

donde

N_L - número de intercepciones por unidad de longitud

S_V - área superficial por unidad de volumen de límites de grano

N - número de granos interceptados

M - número de aumentos de la micrografía de trabajo

L_T - longitud total de la línea [mm]

$\bar{L}$ - número de intercepciones por milímetro [1/mm]

La longitud de la línea se define al gusto del usuario, sin embargo, se recomienda elegir una línea que contenga entre 50 a 150 intercepciones.

Por ejemplo, para determinar este parámetro se traza una línea, que puede o no ser tomada a 100x, y se realiza el conteo de granos interceptados los cuales cuentan como uno, para las intercepciones de triple punto se cuenta como uno y medio, si la línea queda tangente a un límite de grano se cuenta como medio y si la línea trazada acaba dentro de un grano se cuenta como medio también (figura 3.10). Esto para materiales con estructuras con una sola fase. Para estructuras con dos fases o más, estas reglas de conteo cambian.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	82/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

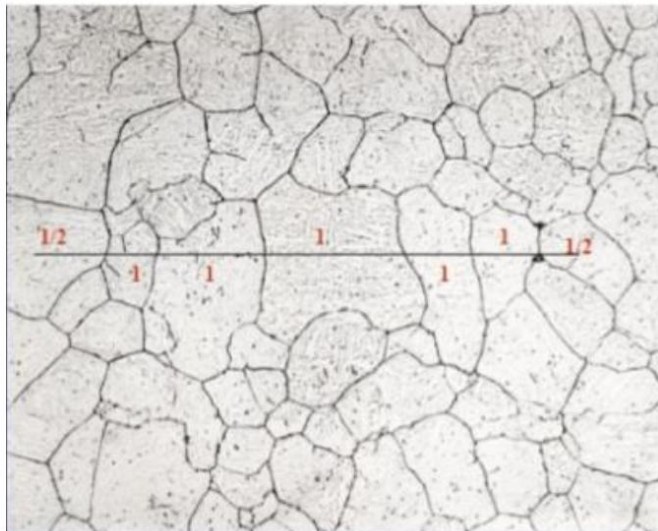


Figura 3.10. Imagen a 100x donde se han realizado el conteo del número de granos interceptados con una línea de cierta longitud. Se recomienda que al menos se intercepten 50 granos.

3.6 RESULTADOS

Los resultados de gráficos corresponden a micrografías obtenidas con el microscopio óptico a 100x, 200x o 500x, según considere apropiado.

Utilizando dichas micrografías, deberá interpretarse la microestructura que presenta el material analizado, presencia de fases, inclusiones, orientación de conformado, etc.

Por otra parte, y utilizando la imagen adecuada, deberá determinarse el tamaño de grano ASTM en base en el procedimiento numérico descrito anteriormente.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales	Código:	MADO-91
		Versión:	01
		Página	83/121
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2017
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con base en lo anterior, el alumno discutirá los resultados observados, relacionando el material proporcionado con la morfología detectada.

3.8 CONCLUSIONES

El alumno elaborará sus conclusiones, comentando su experiencia en el desarrollo de la práctica.

3.9 REPORTE

El reporte se entregará de manera individual con el siguiente contenido:

- Carátula de la práctica con los siguientes datos:
- Nombre del profesor, materia, grupo, número de práctica, nombre del alumno, semestre, fecha
- de entrega y espacio para calificación.
- Objetivo.
- Resultados e imágenes capturadas, correspondientes a las micrografías obtenidas, así como el análisis de éstas.
- Conclusiones generales, indicando, además, si se alcanzaron los objetivos planteados.

3.10 BIBLIOGRAFÍA

Vander Voort G. F., Metallography Principles and Practice, American Society for Metals (ASM) International, Estados Unidos, 1999.

Kehl G. L., The Principles of Metallographic Laboratory Practice, Metallurgy and Metallurgical Engineering Series, Mc Graw-Hill, Estados Unidos, 1949.

American Society for Metals (ASM), Metals Handbook, Vol. 8: Metallography, Structures and Phase Diagrams, American Society for Metals 8a edición, Estados Unidos, 1973.