



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA
METROPOLITANA

División de Ciencias Naturales e Ingeniería

Departamento de Matemáticas Aplicadas y Sistemas

Licenciatura en Ingeniería en Computación

SIMULACIÓN DE UN FLUIDO CONFINADO

Presenta:

Ricardo Aguilar Vega

Emiliano Antonio Tovar Romero

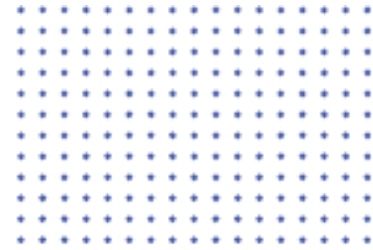
Asesores:

Luis Ángel Alarcón Ramos

Elsa Báez Juárez

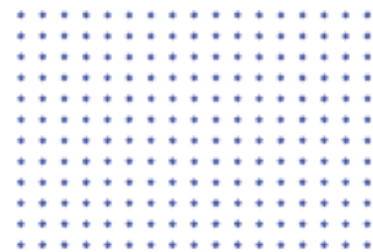


RESUMEN (ABSTRACT)



En el presente trabajo se realizó una simulación del movimiento de un fluido por medio de herramientas computacionales de simulación gráfica, la cual consistió en un contenedor rectangular tridimensional lleno de un líquido, cuya tapa superior se desliza horizontalmente con una velocidad constante. El líquido, al iniciar la simulación, se encuentra en un estado de reposo y conforme se desliza la tapa se espera que se viera afectado por ésta.

Se realizó una investigación sobre qué herramientas se podían ocupar para llevar a cabo con éxito el objetivo propuesto, se realizaron diversas pruebas para corroborar la funcionalidad de estas mismas y lograr obtener una o varias herramientas ideales con las cuales trabajar. A lo largo del proyecto, fueron surgiendo problemas como, falta de documentación, errores para lograr la simulación o incluso herramientas muy prometedoras que demostraron ser inviables. Aún con estas limitaciones, se pudo realizar la simulación deseada.



De manera general, se puede entender un fluido como una sustancia cuyas partículas se mantienen unidas por fuerzas de atracción débiles. Los fluidos pueden ser líquidos, los cuales se caracterizan, entre otras cosas, porque tienden a adquirir la forma del recipiente que lo contiene, ocupando un volumen determinado; o gaseosos, que ocupan la totalidad del recipiente que lo contiene. Los fluidos cuentan con propiedades que permiten diferenciar unos de otros, por ejemplo, densidad, viscosidad y tensión superficial, entre otros.

Estudiar, modelar y simular diversas clases de fluidos resulta ser de gran importancia debido al preponderante papel que éstos tienen en diversos aspectos de la ingeniería y la industria, en la presencia de fenómenos atmosféricos y climatológicos, e incluso en el funcionamiento del cuerpo humano, entre muchos otros.

En el presente trabajo, se pretende simular la dinámica de un fluido confinado utilizando herramientas de simulación gráfica. Por simplicidad, el fluido considerado es agua, el cual llena por completo una cavidad rectangular tridimensional cuya tapa superior puede deslizarse horizontalmente con velocidad constante. El fluido se encuentra inicialmente en reposo, y el movimiento de éste se produce a partir del momento en que la tapa superior se desliza horizontalmente. La dinámica del fluido se espera que se presente, primero, en zonas aledañas a la tapa deslizable, y poco a poco se transmita al resto del fluido que se encuentra en la cavidad.

Si bien existen muchas herramientas de simulación gráfica en el mercado, las que se preseleccionaron en este trabajo fueron las que creímos eran las más conocidas. Estas herramientas preseleccionadas tienen objetivos diferentes, por ejemplo; el objetivo de la herramienta “Unity” es la creación de videojuegos, mientras que el de “DualSPHysics” es la de simular fenómenos físicos.

Objetivos

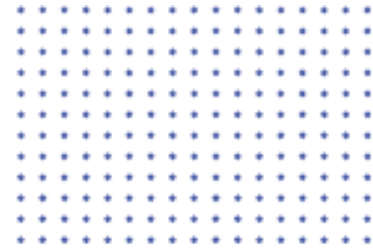
A continuación, presentamos los objetivos, general y específicos, del presente trabajo.

Objetivo general

Simular el movimiento del fluido que se encuentra confinado en una cavidad rectangular tridimensional cuando la tapa superior de ésta se desliza horizontalmente.

Objetivos específicos:

- Comprensión del fenómeno a simular.
- Revisión de herramientas computacionales que permitan simular un fluido.
- Elaboración de escenarios de prueba para identificar la herramienta a utilizar.
- Simulación del fenómeno de interés.



Actualmente simular fluidos no es algo imposible de hacer desde cualquier computadora, esto gracias a diversos software existentes en el mercado, sin embargo, se debe de tomar en cuenta que en función de los recursos de los equipos utilizados dependerá la complejidad de la simulación. En nuestro caso, se decidió evaluar estas herramientas a partir de características tales como:

- A. La capacidad para realizar la simulación del fluido deseada.
- B. Si la curva de aprendizaje es rápida.
- C. Recursos adicionales.
- D. El costo del software.
- E. Documentación.

Con base en lo anterior, la primera actividad a realizar es una investigación acerca de los software que permiten la simulación de fluidos. A continuación, se describen algunos de los paquetes encontrados que permiten desarrollar, en general, este tipo de simulaciones.

Descripción de las herramientas

Unity

Este es el primer software que se decidió tomar en cuenta, ya que es un motor gráfico utilizado para la creación de videojuegos, en el cual hay diversas herramientas para simular fluidos, entre éstas se encuentra una herramienta creada por la empresa Nvidia llamada Nvidia Flex la cual funciona dentro de Unity. Esta herramienta, para simulación de fluidos, emplea una técnica basada en partículas para efectos visuales en tiempo real.

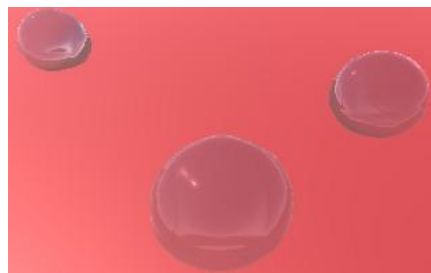


Fig. 1 Representación simple de tres gotas de un fluido en Unity.

Gracias a que se utiliza una representación unificada de partículas para todos los tipos de objetos involucrados, es posible lograr simulaciones en donde los diferentes fluidos pueden interactuar entre sí, por ejemplo, es posible simular un fluido que cae sobre otro y finalmente ambos se mezclan entre sí para formar uno solo. El objetivo de esta herramienta es sacar la máxima potencia posible de las tarjetas gráficas (GPU), y poder ejecutar simulaciones rápidas y lo más realistas posibles. En la Fig 1, se muestra una representación de tres gotas de un mismo fluido generado en este software, que podrían unirse y formar uno solo.

Para entender el uso de la herramienta se buscaron ejemplos de cómo usarla en un canal de YouTube “Diseñando Videojuegos con CR” [1], gracias al cual se logró instalar esta herramienta y verificar su funcionamiento. Implementamos algunos ejemplos en el software para observar si los efectos de viscosidad, tensión superficial y el efecto de fuerzas externas, como la gravedad, son manejados adecuadamente por esta herramienta. El resultado de una de estas pruebas, se puede apreciar en la Fig. 2, en donde se observa un objeto cuadrangular que ha caído sobre un fluido, haciendo que éste se distorsione.



Fig. 2. Distorsión de un fluido, creado en Unity al caerle un objeto.

Ventajas

- La herramienta Nvidia Flex:
 - o Permite crear simulaciones de manera rápida.
 - o Compatible con Windows y Linux.
 - o Buen desempeño al usar DirectX o CUDA con la GPU.
- Unity permite crear la simulación desde cero mediante C#, es decir, permite implementar en código C# el modelo matemático que se busca simular.
- Al ser un motor gráfico permite interacciones entre el fluido y diversos objetos.

Limitaciones

- Paquete obsoleto con nuevas versiones de Unity.
- Al ser una versión beta puede presentar fallos en la aplicación, por ejemplo generando un cierre inoportuno en cualquier momento de la simulación.

Unreal Engine

Unreal Engine, al igual que Unity, es un motor gráfico usado principalmente para videojuegos, aunque también se usa para crear animaciones y modelado, esto permite crear simulaciones de fluidos bastantes realistas y que interactúan con su entorno. Es una herramienta conocida a nivel mundial y usa el lenguaje de programación C++.

A pesar de ser prácticamente igual a Unity, exige crear la simulación de fluidos desde cero, esto es, desarrollar el código que resuelva el modelo matemático, que interprete los resultados y los muestre en pantalla. Por lo cual, no posee una curva de aprendizaje rápida.

Ventajas

- Permite procesar la simulación más rápidamente que otras herramientas.
- No requiere de una librería externa.
- Permite implementar código para simular el fluido desde cero con el lenguaje C++.

Limitaciones

- Consumo alto de recursos, haciendo que no se pueda usar en computadoras con poco poder de procesamiento.
- Las simulaciones creadas pueden ocupar mucho almacenamiento.
- El renderizado es tardado, aunque se cuente con una tarjeta gráfica.
- Difícil de usar al tener muchas cosas en pantalla que no son necesarias para los fines de nuestra simulación.

Blender

Blender es una herramienta de creación 3D, gratuita y de código abierto, compatible para hacer modelado, animación, simulación, renderizado, composición y seguimiento de movimiento; además, permite la edición de video y canalización de animación 2D. En blender, la simulación de fluidos se basa en el cálculo numérico de un sistema de partículas, a las cuales se les pueden asociar propiedades como viscosidad o masa, permitiendo la simulación de distintos fluidos.

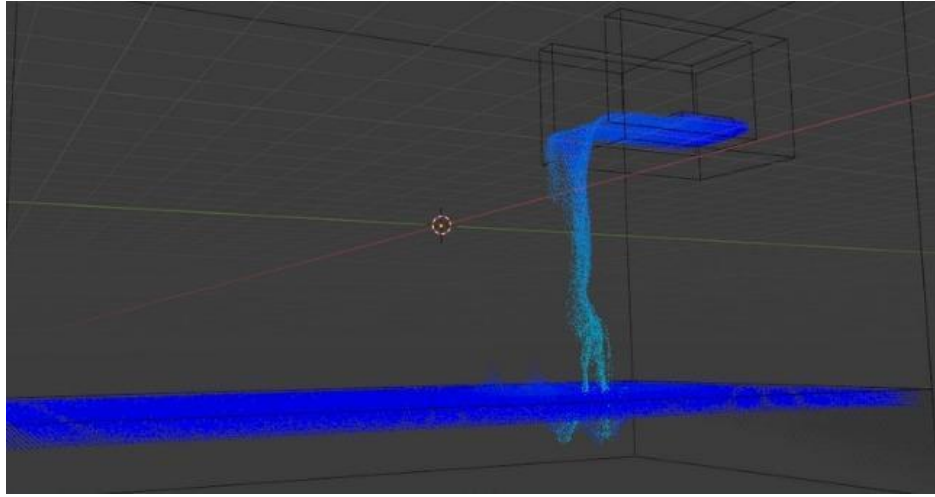


Fig. 3. Simulación en Blender, donde el líquido de la parte superior se ve influenciado por la fuerza de gravedad y cae sobre otro líquido, provocando movimientos en este último.

Para comprobar si esta herramienta es viable y útil para lo que deseamos hacer, se siguió un video del canal de YouTube “Eme Uve” [3]. En este video se observa un líquido que se deja caer sobre otro, simulando una cascada, como se puede observar en la Fig. 3. Lo que permite darnos una idea de cómo funciona este software, así como ver el manejo de fluidos en éste, incluyendo fluidos confinados.

Ventajas

- Buena documentación sobre la herramienta.
- Herramienta gratuita.
- Actualizado regularmente.

Limitaciones

- Es necesario hacer configuraciones extra para obtener el mejor rendimiento posible, por ejemplo, especificar si se está utilizando una tarjeta gráfica.
- Es poco intuitiva, sobre todo si el usuario no tiene conocimientos sobre este tipo de herramientas.

SolidWorks

Es un software de diseño el cual proporciona herramientas de análisis integradas para diseñadores, ingenieros y analistas, las cuales permiten hacer diversos tipos de simulaciones, tales como el análisis estructural y la dinámica computacional de fluidos, e incluso la simulación de moldeo por inyección.

Las simulaciones son posibles gracias a Solidworks Flow Simulation, una herramienta que permite simular de forma rápida y sencilla flujos de fluidos, líquidos y gaseosos, los cuales cruzan alrededor de objetos creados previamente para ponerlos a prueba, por ejemplo el modelado estructural de una turbina que debe ser atravesada por un fluido.

Ventajas

- Contiene una amplia gama de funciones para realizar la simulación del fluido.
- Herramienta creada desde un inicio para simulación de fluidos.
- Cuenta con buena documentación.

Limitaciones

- Solo se puede simular el flujo de fluidos líquidos o gaseosos.
- Esta herramienta está únicamente disponible con una suscripción extra a la licencia base del programa.
- Posee una curva de aprendizaje lenta, es decir, el aprendizaje en el manejo de la herramienta no es rápido a menos que se posea experiencia en herramientas similares.

DualSPHysics

Es un conjunto de códigos de C++ y CUDA, utilizado para simular la dinámica de medios continuos, tales como la mecánica de fluidos. Utiliza un método en el cual las coordenadas se mueven con el fluido y la resolución se puede ajustar fácilmente con respecto a variables tales como la densidad. Se hace uso de elementos denominados partículas, que son un conjunto de elementos discretos que surgen a partir de la división microscópica de un fluido.

Para poner a prueba este software se siguieron los videos que proporcionan en su página oficial para un ejemplo simple y se complementó con otros videos, los cuales eran la traducción de los videos oficiales. A pesar de tener una curva de aprendizaje lenta, es decir, se tienen que seguir los manuales y documentación oficial, fue posible replicar y ver cómo trabaja el software con una simulación de un fluido simple, en la cual se libera un fluido, el cual choca posteriormente con un objeto, como se observa en la Fig. 4.

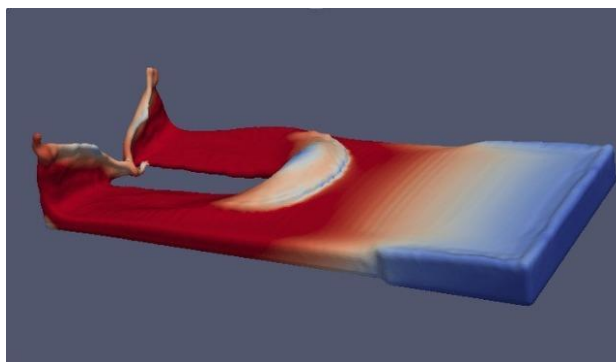


Fig. 4. Simulación de fluido en DualSPHysics, el fluido en color rojo es el que tiene más velocidad.

Ventajas

- Garantiza la conservación de la masa sin esfuerzo computacional adicional, es decir, el fluido puede mantener su forma mejor, que en otros software.
- Disponible en cualquier sistema operativo.

Limitaciones

- Baja precisión en el movimiento de las partículas, haciendo que sea necesario tener muchas partículas para una buena simulación.
- Es necesario tener a la mano la documentación para evitar errores en la simulación.

Three.js

Three.js es una biblioteca liviana de WebGL para crear animaciones 3D para navegadores web, escrita en JavaScript. Ésta es una gran librería que permite crear simulaciones de líquidos con poco poder de cómputo, sin embargo, al igual que pasó con Unreal Engine, es necesario el crear el código que resuelva el modelo matemático y procese los datos para crear la simulación, lo cual motivó a no considerarlo.

Ventajas

- Proporciona ejemplos en su WEB oficial.
- Al usar navegadores WEB permite crear la simulación en un servidor de una manera bastante rápida.

Desventajas

- Al tener que crear el modelo matemático desde cero, generaría un desafío adicional que posiblemente, para los fines del presente trabajo, no de el tiempo de implementar.
- La documentación para realizar simulaciones es muy pobre.

Autodesk Maya

Es un software de animación 3D, modelado, simulación y renderización, caracterizado por la facilidad y rapidez para trabajar en animaciones, así como por poder hacer cambios en tiempo real en la escena que contiene la simulación. Además, proporciona conjuntos de herramientas de personajes y efectos de gran calidad, haciendo posible la realización de cualquier proyecto que tenga que ver con la animación de objetos, incluyendo simulaciones de fluidos.

Se replicó una simulación realizada por el canal de YouTube “Arumadigital” [6] donde se utiliza este software, para lograr familiarizarnos con ésta y ver el potencial que tiene para lo que deseamos realizar. Se logró replicar este ejemplo y, al mismo tiempo, se pudo observar qué ventajas y limitaciones tiene este

software para realizar el objetivo del presente trabajo. Una imagen del ejemplo reproducido, se muestra en la Fig. 5.

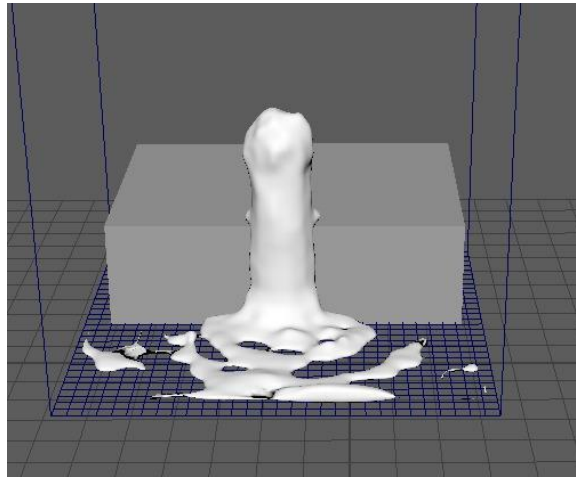


Fig. 5. Simulación en Maya, donde en la parte del centro se genera continuamente un líquido y éste cae sobre un objeto.

Ventajas

- Herramienta intuitiva para personas que tienen poca experiencia con este software.
- Permite simular fenómenos reales como la gravedad, viento o fricción y aplicarla a partículas o fluidos.

Limitantes

- En comparación con los otros software puede consumir muchos recursos al hacer simulaciones.
- El costo de adquisición del software puede ser elevado.

Métodos de Simulación

Con el propósito de investigar el funcionamiento de los software previamente descritos, se llevó a cabo una muy breve investigación de tres de los métodos que ocupan éstos para realizar el movimiento de las partículas que forman al fluido. En el proceso, se detectó que algunos de estos software combinan al menos dos métodos.

Software	Método de solución de ecuaciones involucradas
Blender	Método de red de Boltzmann (LBM).
DualSPHysics	Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH).
Maya	Método de volumen de control.

Método de redes de Boltzmann (LBM)

Este método está basado en los conceptos de redes neuronales y de autómatas celulares, el cual se construye sobre un espacio de redes o retículas que contiene partículas del fluido simulado. Se basa en la idea original de los autómatas celulares de gases en redes. En el dominio, cada retícula representa un elemento de volumen del fluido, este elemento consiste de un grupo de partículas, cuyo movimiento se especifica a través de una función de distribución de partículas o de densidad (FDP).

En cada paso de tiempo las partículas se mueven hacia las retículas adyacentes (paso de propagación) y colisionan con otras partículas que vienen o viajan hacia la misma retícula desde diferentes direcciones (paso de colisión). Las variables macroscópicas, como la densidad y la velocidad, se calculan a partir de las FDP.

Smoothed Particle Hydrodynamics

El Método de Hidrodinámica Suavizada de Partículas, SPH por sus siglas en inglés, permite obtener soluciones numéricas aproximadas de las ecuaciones de la dinámica de un fluido, considerando a este último como un conjunto de partículas. El método SPH es una técnica genérica de discretización de ecuaciones en un medio continuo, y representa una alternativa a los métodos de diferencias, elementos o volúmenes finitos, con la característica de que discretizan el medio usando partículas que se mueven en él y transportan sus propiedades en forma lagrangiana (esto es, se sigue el movimiento de las partículas a través del espacio y el tiempo; a diferencia de la forma euleriana, la cual se centra en observar el movimiento del fluido en puntos fijos del espacio), sin requerimiento de malla.

Método de volumen de control

Este método involucra descomponer el dominio en volúmenes de control, formular las ecuaciones integrales de conservación para cada uno de estos volúmenes de control, aproximar numéricamente las ecuaciones en forma integral, las cuales representan las leyes de conservación del problema, aproximar los valores de las variables, así como las derivadas que involucran las variables nodales, ensamblar y resolver el sistema algebraico resultante.

Herramientas adicionales

Además, se realizó una investigación sobre las posibles herramientas adicionales, también llamadas “plug-in”, que pueden ayudar a hacer más fácil el uso del software, a hacer mejoras visuales, a reducir el tiempo con el que se hace la simulación sin comprometer la calidad de la misma. A continuación, se muestran algunas herramientas y se da una breve explicación de su utilidad dentro del software.

FreeCAD y DesignSPHysics (DualSPHysics)

FreeCAD es una herramienta de diseño de código abierto, es decir, que cualquiera puede modificarla para cumplir con lo que se desea simular. Es por esto que los encargados de DualSPHysics crearon una herramienta para crear las simulaciones en conjunto con FreeCAD, llamada DesignSPHysics, así como ejecutarlas y hacer el postprocesado de toda la simulación, aligerando la carga del proyecto al no tener que crear todo con archivos XML o con el uso de línea de comandos. Esta característica, llamada *Macro*, es una forma de reproducir acciones complejas, ya que, una vez que se graban las acciones a realizar, se guardan y se pueden reproducir cuando se requiera.

Con lo dicho anteriormente, DesignSPHysics es un conjunto de acciones ya hechas que permite enlazar todo el escenario de la simulación con DualSPHysics, de forma que podemos tener, en poco tiempo, diversos objetos dentro de la simulación, o bien un fluido con una forma inicial específica, sin tener que hacer uso de la terminal de las computadoras o archivos XML. La interfaz de esta herramienta es bastante intuitiva, como podemos ver en la Fig. 6, ya que el usuario no tiene tantas controles en pantalla.

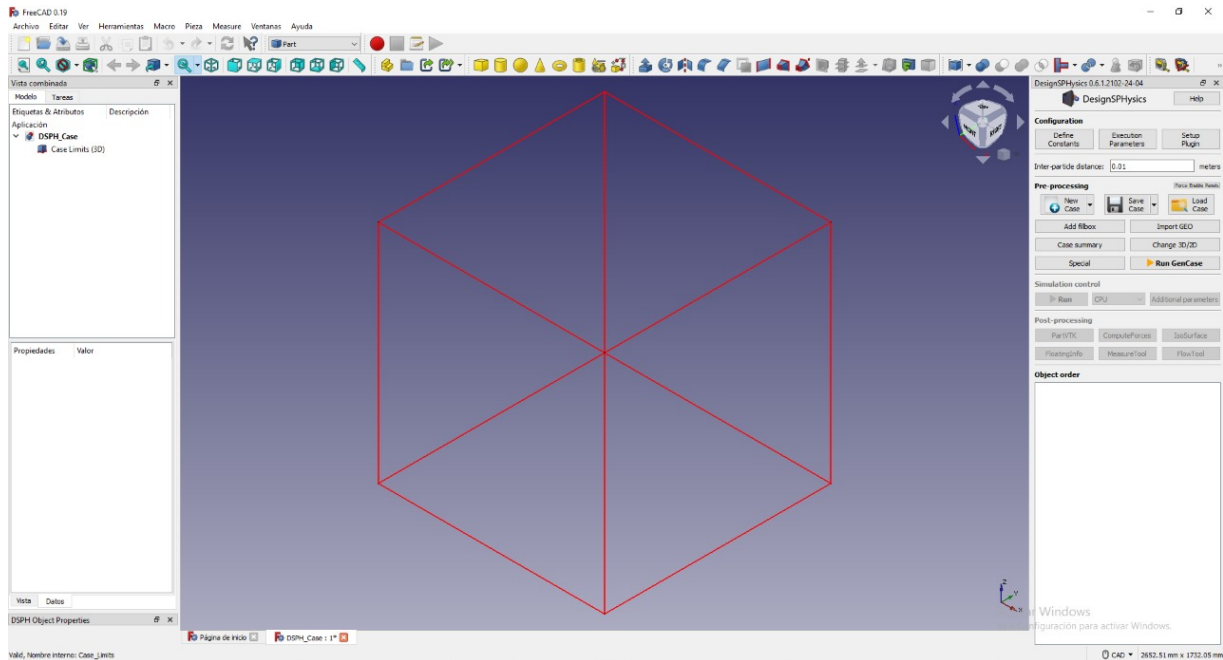


Fig. 6. Pantalla de FreeCad trabajando con DesignSPHysics.

Mantaflow (Blender)

Es un conjunto de bibliotecas que trabaja sobre blender, y sirve para generar una simulación con un mejor rendimiento. También hace que las simulaciones no requieran tanto poder de cómputo, es decir, mejora el rendimiento de éstas. Generalmente, las simulaciones necesitan de mucho poder de cómputo, sin embargo, con esta herramienta es posible lograr algunas simulaciones básicas en computadoras que no sean muy potentes.

Bifröst Fluids (Maya)

Bifröst es un sistema de simulación perteneciente a las múltiples herramientas del software Maya, esta herramienta se encarga de brindar una alta resolución en la render del fluido, sin descuidar la parte del movimiento de las partículas.

Resultados de la evaluación

Finalmente, a partir de los software investigados, así como de los puntos considerados para su evaluación, la tabla siguiente condensa los resultados de esta evaluación.

	Software gratuito	Herramientas adicionales	Curva de aprendizaje	Consumo de recursos	Documentación
Autodesk Maya	x	✓	Normal	Alto	Normal
Blender	✓	✓	Normal	Alto	Normal
DualSPHysics	✓	✓	Lenta	Bajo	Normal
Unreal Engine	✓	✓	Lenta	Normal	Normal
Unity	✓	✓	Rápida	Normal	Bajo
Three.js	✓	✓	Lenta	Normal	Bajo
SolidWorks	x	✓	Lenta	Alto	Bajo

A continuación, exponemos algunas observaciones que sintetizan la investigación de las herramientas y que permitieron seleccionar una de éstas para el objetivo propuesto en este proyecto terminal.

Autodesk Maya

El uso de este software es algo complicado debido a la gran cantidad de herramientas y datos que contiene, lo que hizo que su manejo fuera complicado. Además, no se encontró una manera para visualizar las partículas específicas contenidas en el líquido, es decir, solo se podía apreciar al líquido como un todo, véase la Fig. 5.

Blender

El funcionamiento de este software resultó, en general, sencillo de comprender, lo cual facilitó avanzar en la simulación deseada, sin embargo, los problemas se presentaron al intentar correrla, pues la tapa superior de la cavidad no interactuaba con el fluido al deslizarse. Si bien se hicieron varios intentos para resolver este problema, la simulación resultante mostró comportamientos extraños.

Otro punto para descartar este software es, que el espacio que contenía a las partículas que forman el fluido, no se llenaba completamente, por lo que en la parte inferior del contenedor era nula la cantidad de partículas. Las partículas se veían en la parte inferior únicamente cuando se interactuaba con ellas, esto se

puede apreciar en la Fig. 3, donde las partículas descienden por la fuerza que es aplicada por el chorro de la cascada.

DualSPHysics

DualSPHysics fue considerada como la herramienta adecuada para lograr realizar este proyecto gracias a las ventajas que se observaron comparadas con las del resto de los software investigados, entre dichas ventajas, se pueden mencionar la facilidad para crear un fluido, para modificar el entorno de la simulación (como la gravedad y temperatura) y también para permitir representar los datos de distintas formas. Todo ésto, unido a la herramienta de apoyo DesignSPHysics, permite cumplir con la simulación deseada en poco tiempo y cumpliendo con lo planteado.

Unreal Engine

Aunque es una herramienta sumamente completa y con una gran capacidad gráfica, presenta ciertos problemas que otros software similares no tienen, por ejemplo, la gran cantidad de opciones que te presenta en pantalla y que posiblemente no se usen para crear la simulación. Consideramos que para poder utilizar con cierta soltura esta herramienta, se requiere que el usuario debe dedicar, como mínimo, un par de semanas para entender su uso y su funcionamiento básico, y aún con ese tiempo, no es posible asegurar que sea suficiente para lograr crear una simulación de fluidos. Por lo anterior no cumple con tener una curva de aprendizaje rápida.

Unity

Este software cuenta con una herramienta destinada a la simulación de fluidos bastante completa, la cual permite modificar el código fuente para representar el modelo matemático del fenómeno a simular. Desafortunadamente, las actualizaciones más recientes de la herramienta, ya no la hacen compatible con el software, lo que genera problemas que ocasionan que Unity deje de funcionar. Esta situación hace inviable su uso para este proyecto ya que, por ejemplo, al dejar corriendo una simulación existe un alto riesgo de que el software deje de funcionar y no se pueda concluir con la simulación. Lo anterior representa una de las principales razones para no utilizar este software, ya que existe una alta probabilidad de que no funcione correctamente, además, tampoco cuenta con suficiente documentación para su manejo.

Three.js

Es una herramienta que, para simular un fluido, requiere de programar toda la parte matemática, como son los modelos matemáticos basados en ecuaciones derivadas parciales como el conjunto de Navier-Stokes. Además, se requiere verificar que el modelo matemático creado no genere problemas con el navegador web necesario para el funcionamiento de este software. Además de lo anterior, no cumple con documentación suficiente para lograr la simulación y la curva de aprendizaje del paquete es lenta, es decir, se requiere de una buena cantidad de esfuerzo y tiempo para comprender el funcionamiento del paquete.

SolidWorks

Este software tiene varias limitaciones para lograr el objetivo de este trabajo, ya que como puede verse en la tabla, la curva de aprendizaje es lenta, además de tener un costo elevado, poca documentación y finalmente solo permite simular flujo de fluidos y no fluidos confinados.

CONSTRUCCIÓN DEL EXPERIMENTO EN DUALSPHYSICS CON DESIGNSPHYSICS Y FREECAD



A continuación, describiremos los pasos que permitieron poner en marcha la simulación de un fluido confinado en una cavidad cuadrangular, sometido al movimiento de una tapa superior deslizante.

Para el escenario de simulación se usó el software de diseño FreeCAD en su versión 0.19.4, así como la Macro de DesignSPHysics en su versión 0.6.1.2102-24-04.

Inicio de un nuevo proyecto

Para iniciar el proceso de simulación, se procede a abrir la página principal de FreeCAD, en la cual aparece un menú de opciones, así como varios ejemplos de lo que se puede hacer con esta herramienta. Una de las opciones del menú principal corresponde a la pestaña denominada "Macro", y recordando que FreeCAD hace uso de Macros para reproducir acciones complejas, es importante activar la característica Macro para DesignSPHysics, para ello damos clic en la opción "Macro" > "Macros...", tal como se observa en la Fig. 7.

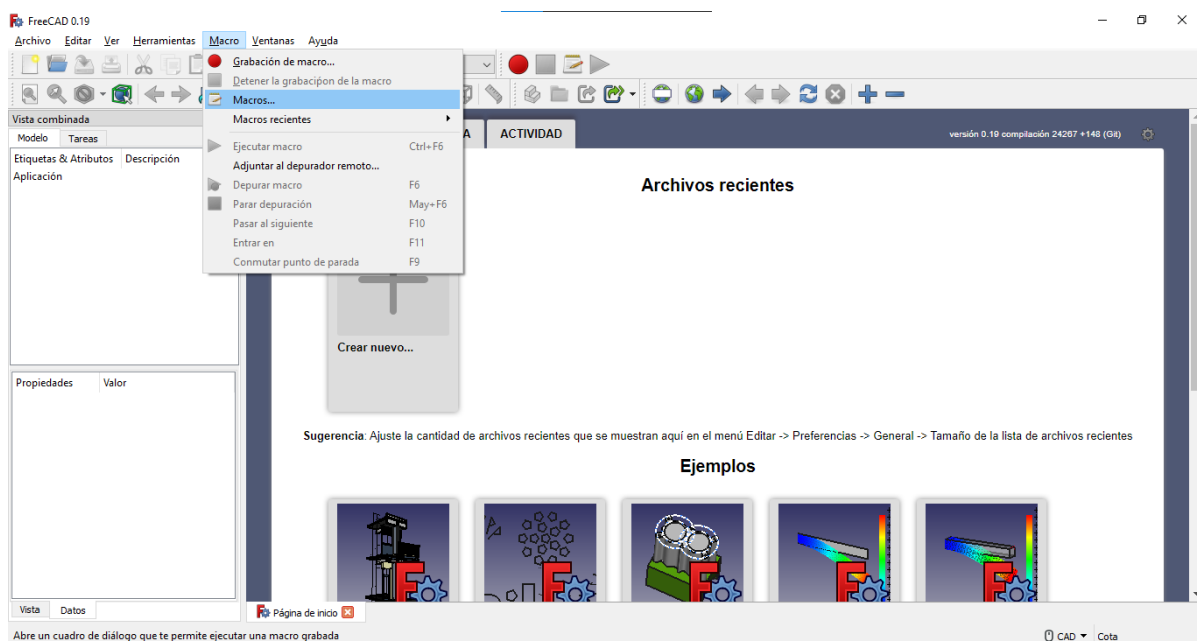


Fig. 7. Pantalla Principal de FreeCAD para activar la Macro de DesignSPHysics

Una vez hecho lo anterior, se despliega una ventana en donde están las macros disponibles en nuestra computadora, ver Fig 8, en donde debemos confirmar que en la barra de búsqueda inferior esté la carpeta de DesignSPHysics y, en el recuadro de macros del usuario, debe aparecer el archivo DesignSPHysics.FCMacro. Una vez verificado lo anterior, procedemos a presionar el botón de “Ejecutar” para cargar todos los elementos para trabajar.

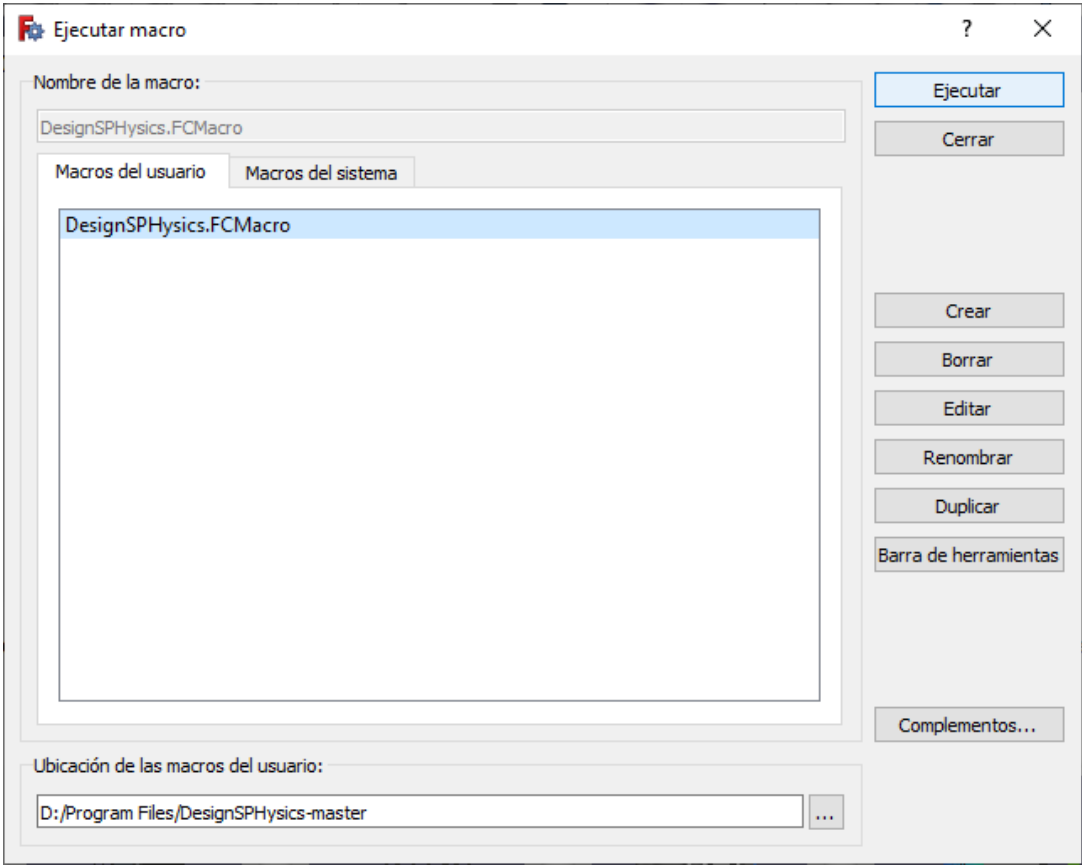


Fig. 8. Ventana de Macros en FreeCAD

Una vez que se carga la herramienta, aparecen todas las opciones de DesignSPHysics en el lado derecho de la ventana, con lo que es posible iniciar nuestro proyecto dando clic en la opción New Case de la sección Pre-Processing, como se observa en la Fig. 6.

Agregar objetos y fluidos a la simulación

Una vez que se ha creado el proyecto, podemos proceder a agregar diversos tipos de figuras dentro del objeto “Case Limits”, el cual delimita el tamaño y contiene todo lo que habrá en la simulación. Para el presente proyecto se procede a incluir tres cubos:

- El primero será nuestra caja que contendrá el fluido

- El segundo será la tapa de la caja que transmitirá el movimiento al fluido
- El último, será un contenedor de los objetos anteriores para evitar fallos en la simulación.

En la Fig. 9, los cubos antes mencionados aparecen en la parte central de la pantalla y listados en la parte izquierda. Note que, todo lo que se agregue debe estar dentro de los límites de color rojo (“Case Limits”). Debajo de la lista, parte izquierda en la Fig. 9, aparecerán las propiedades del objeto seleccionado, con lo cual podremos modificar su tamaño y ubicación en la escena .

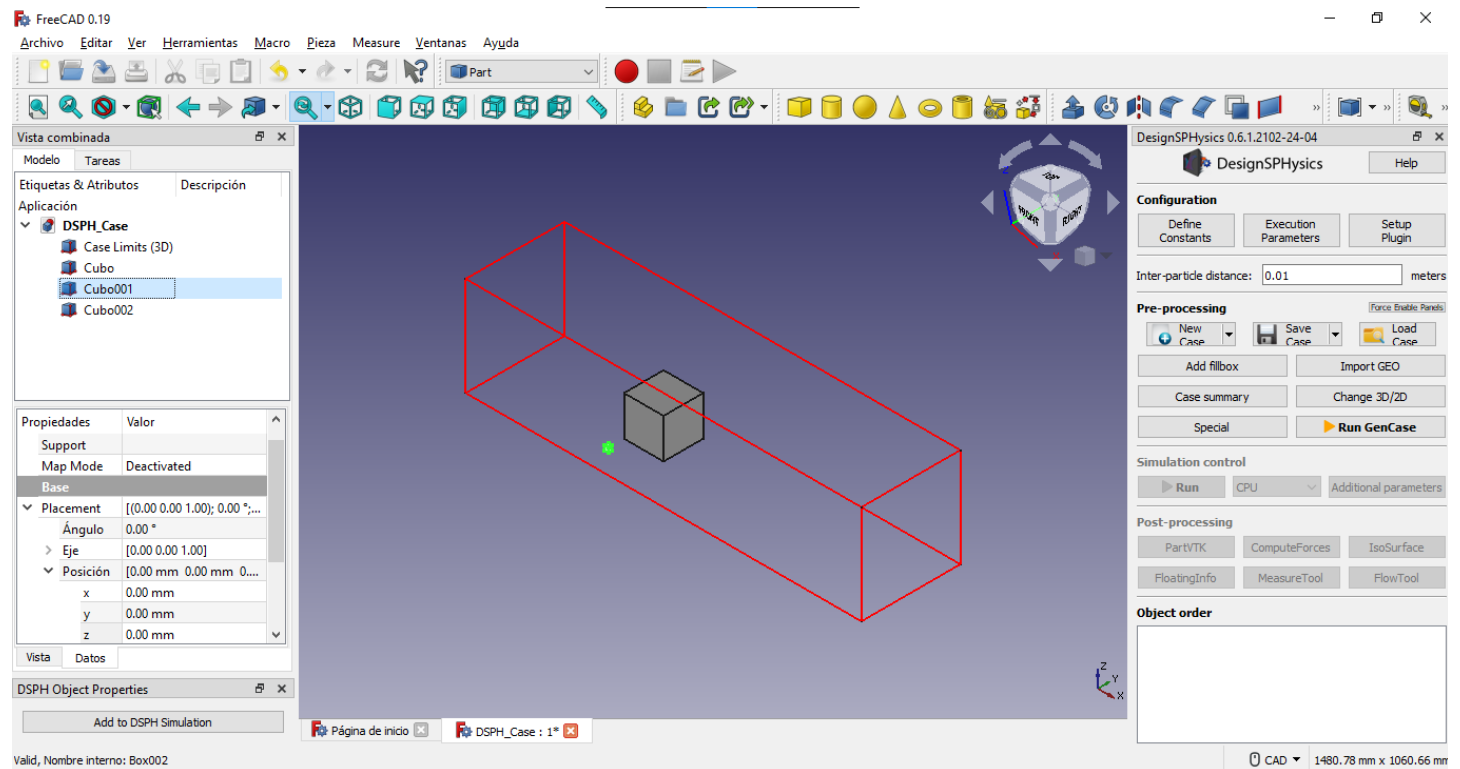


Fig. 9. Listado de objetos y propiedades dentro de “Case Limits”.

Es importante mencionar que, el fluido que deseamos simular no puede estar en el vacío, sino que debe aparecer contenido dentro de una cavidad, en este caso, dentro del cubo de color gris (Fig. 9), en caso contrario la simulación no podrá realizarse, ya que las partículas del fluido quedarán fuera de los límites del dominio que lo contiene, y por lo tanto aparecerá un mensaje de error.

Los objetos deben acomodarse de manera que el cubo gris tenga una longitud por lado de 100 mm, y esté posicionado en el centro de la simulación. El segundo cubo, en color naranja, en la Fig. 10, servirá como tapa deslizante del contenedor del fluido (cubo gris), el cual, al inicio de la simulación, se encuentra en reposo. Dado que la tapa se desliza horizontalmente a la derecha, y ésta a su vez genera la dinámica del fluido mientras se encuentre en movimiento, se consideró como dimensiones de la tapa: 400 mm x 100

mm x 5 mm. Finalmente, para evitar problemas con que se salgan las partículas y falle la simulación, el pequeño cubo en color gris, deberá tener el mismo tamaño del “Case Limits”.

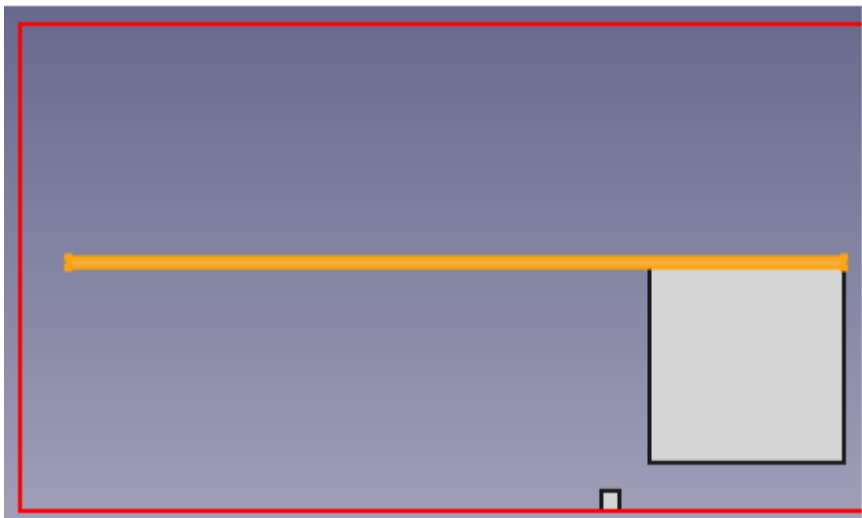


Fig. 10. Vista lateral del escenario con la tapa del contenedor en color naranja

Al concluir el proceso anterior, tendremos el “esqueleto” del escenario, sin embargo, es necesario dotar de ciertas características y propiedades a estos elementos (cubos) para lograr la simulación deseada. Para ello, debemos seleccionar cada uno de los objetos desde la lista que se ubica en el panel izquierdo (ver Fig. 9), y dando clic en el botón situado en la zona inferior de las propiedades, llamado “Add to DSPH Simulation”, como se observa en la Fig. 11.1, se desplegará una lista de propiedades, de las cuales podremos seleccionar algunas de ellas, para caracterizar al objeto, Fig. 11.2.

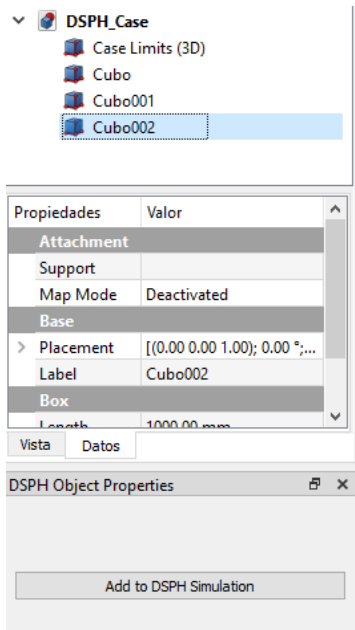


Fig. 11.1. Panel lateral de FreeCAD para seleccionar los objetos en el escenario, y dotarlos de propiedades con el botón “Add to DSPH Simulation”.

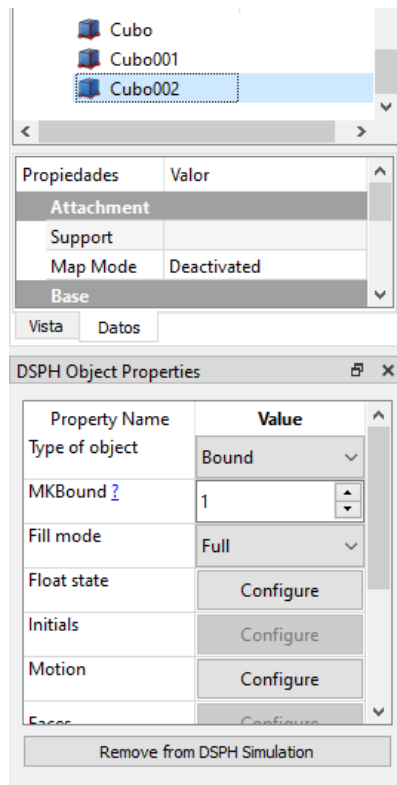


Fig. 11.2. Menú de las propiedades del objeto en DesignSPHysics.

Para formar el contenedor del fluido, seleccionamos el primer cubo (gris) y procedemos a configurarlo, de manera que solo tenga caras laterales e inferior, con lo cual tendremos un cubo hueco. Esto se logra a través de la propiedad de “Fill mode” y dando clic en el botón “Full” > “Face” y se configuraran las caras de nuestro cubo para que solo tenga las caras laterales y la inferior, esto se hace a través de una propiedad llamada “Faces”, que se encuentra dentro del menú. Al dirigirnos a esa propiedad podremos visualizar un botón llamado “Configure”, que al darle clic nos desplegará una nueva ventana, como la que se puede apreciar en la Fig. 12. donde quitaremos la selección de “All Faces” y seleccionaremos únicamente las caras que necesitamos.

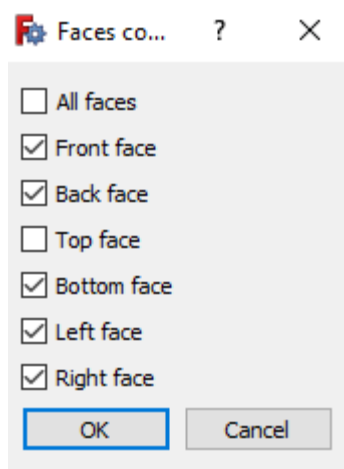


Fig. 12. Menú de configuración de la propiedad “Faces”.

La tapa móvil del contenedor estará representada por el segundo cubo, y se configura de manera similar al cubo anterior, es decir en la propiedad “Fill Mode” y dando clic en el botón “Full” > “Face”, pero únicamente dejando la cara inferior, a continuación se le da movimiento para que se cumpla el objetivo del presente proyecto, por lo que seleccionamos el botón “Configure” de “Motion” de las propiedades del objeto, esto desplegará una nueva ventana parecida a la que se encuentra en la Fig. 13, donde cambiaremos la opción “Set motion” a “True”, lo cual permitirá configurar el movimiento del objeto.

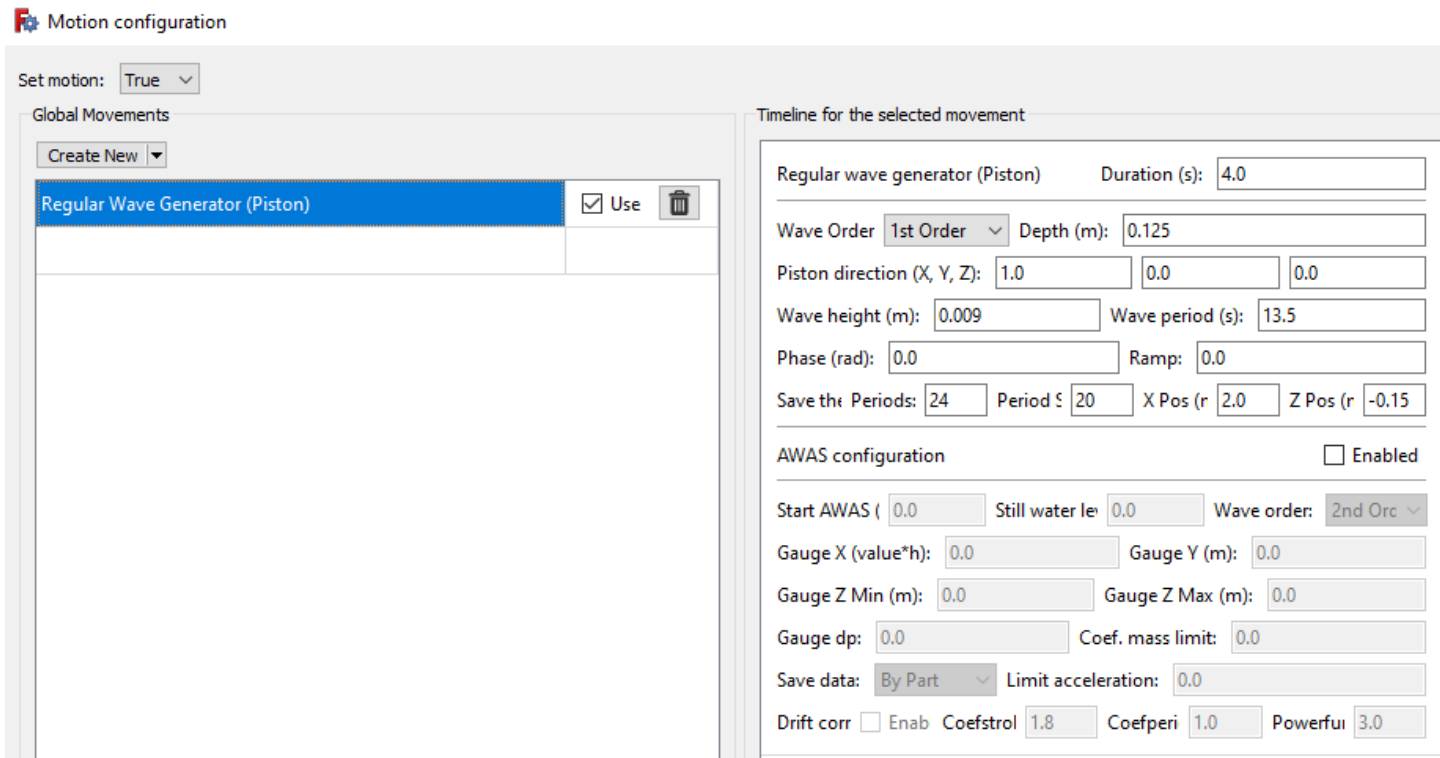


Fig. 13. Ventana de configuración del movimiento de un objeto.

Para está simulación usamos un movimiento de tipo “Regular Wave Generator (Piston)”, la cual consiste en darle movimiento oscilatorio a la tapa (ir y venir), con una duración de movimiento de cuatro segundos. Le colocaremos la altura a la que está nuestro objeto en metros, por lo cual convertimos 125 mm, que es la distancia desde la base hasta nuestro objeto a metros y quedá como resultado 0.125 m, después se configura la altura máxima para la ola que se llegue a formar en “Wave heigth” de 0.009 m y que el periodo del movimiento de un lado al otro sea de 13.5 s, con eso nuestro segundo cubo que servirá de tapa que se podrá mover y transferir el movimiento al fluido, todo esto se ve en la Fig. 13.

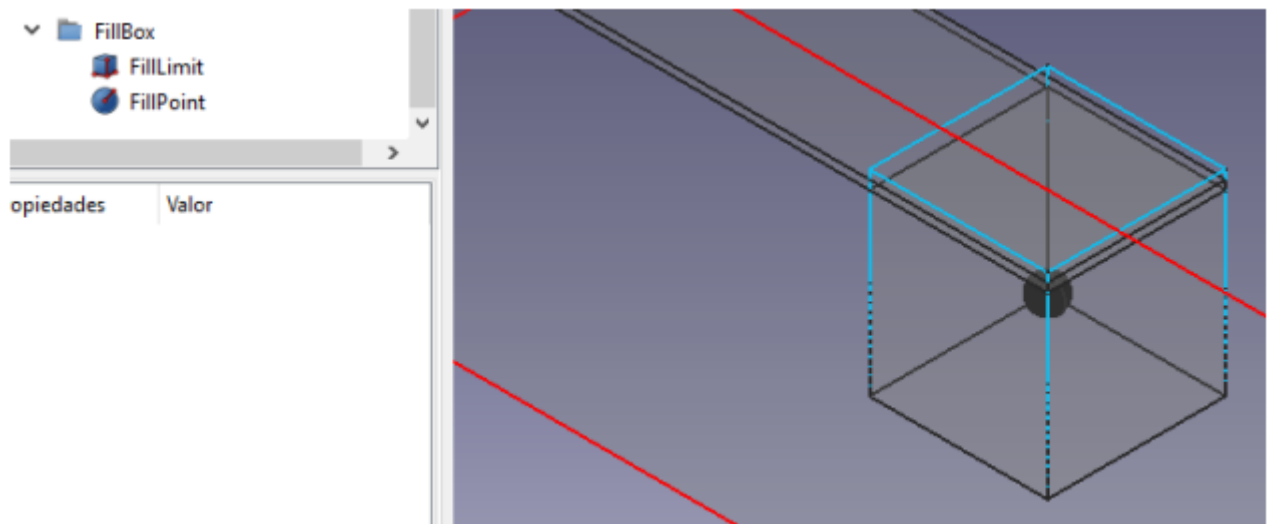


Fig. 14. Objetos generados por el “Fill Mode” y como se ven en el escenario ya centrados y ocupando el espacio del primer cubo.

Para el tercer cubo, el que ocupa el tamaño del “Case Limits”, se le configura un “Fill Mode” de tipo “Wire”. Finalmente, para agregar el fluido a la simulación debemos dar clic en el botón del lado derecho de la pantalla llamado “Add fillbox”, el cual se encarga de generar dos objetos, los cuales sirven para generar un fluido desde un punto (“Fill Point”, punto en color negro en la Fig. 14) y el límite que ocupará el fluido generado (“Fill Limit”, líneas de color azul en la Fig. 14), por lo cual el “Fill Point” siempre debe estar dentro del “Fill Limit”. Para nuestra simulación, ajustamos la posición y el tamaño del “Fill Limit” para que ocupe el mismo espacio que el primer cubo que lo contendrá y que el “Fill Point” debe estar en el centro de este mismo cubo, tal como se muestra en la Fig. 14. Con esto realizado, debemos darle las propiedades para la simulación como lo hicimos con los cubos, por lo cual seleccionamos el grupo de objetos llamado “Fill Box” que se encuentra en la parte izquierda como se ve en la Fig. 14, y después debemos dar clic en el botón “Add to DSPH simulation”, al igual que como lo hicimos con los cubos. Este botón estará en la parte inferior izquierda, como se ve en la Fig. 11.1 y, al darle clic (veremos algo parecido a lo de la Fig. 11.2), notaremos que ya es un objeto de tipo fluido en dichas propiedades.

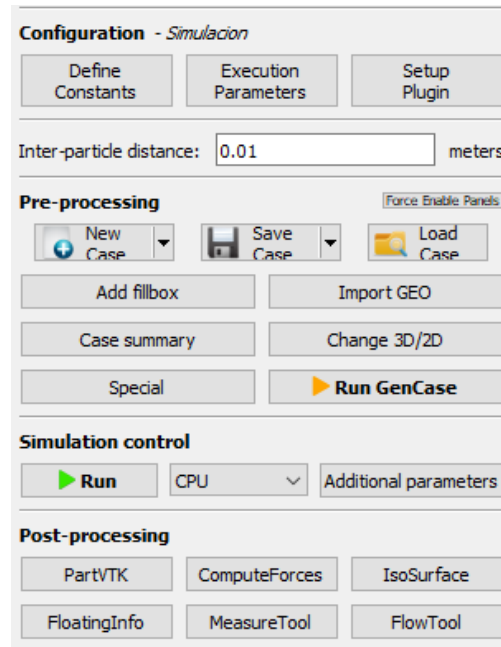


Fig. 15. Menú de la Macro de DesignSPHysics

Entre los últimos pasos, para poder visualizar la simulación, se encuentra el ajuste de los parámetros de ejecución. Así, se determinó establecer el tiempo de ejecución en 5 segundos, el tiempo de recepción de datos en 0.01 segundos, mientras que la distancia entre partículas se fija en 0.005 m. Para correr la simulación, nos vamos a la sección “Pre-processing” que se encuentra en el lado derecho de FreeCAD, como se ve en la Fig. 15, y se da clic en el botón “Run GenCase”, con lo cual se despliega una ventana, donde se puede ver la cantidad de partículas que se generarán para la simulación; posteriormente, en la sección de “Simulation control”, se elige si la simulación se correrá utilizando el procesador o una tarjeta gráfica. Al final se oprime el botón “Run” de la misma sección, lo cual hará que se aparezca una ventana donde se muestra alguna información relacionada con la ejecución, incluyendo el tiempo de ejecución de la simulación, ver Fig. 16.

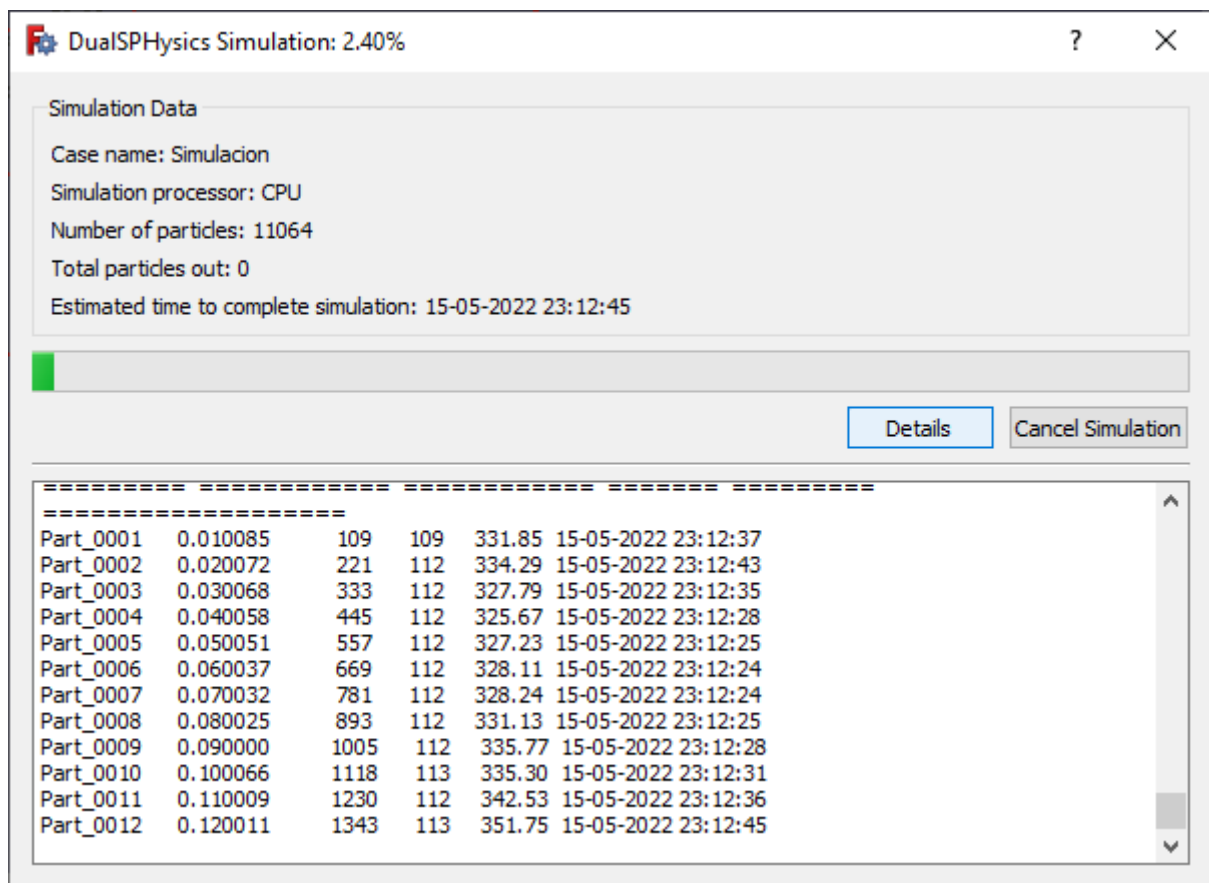


Fig. 16. Información de la ejecución de la simulación en DesignSPHysics.

Una vez concluida la ejecución de la simulación, es posible realizar un postprocesamiento de los datos para poder mostrarlos de forma gráfica, por lo cual en la sección "Post-processing" elegimos la opción "PartVTK", donde se puede elegir hacer el post procesamiento de la simulación completa, o solo de los objetos dotados de movimiento, estos los mostrará en su forma de partículas. Otra opción es el postprocesado con la opción "IsoSurface", para tener una mejor vista del fluido, esta sección se puede ver claramente en la Fig. 15.

Visualización de la simulación

Una vez terminado el postprocesado de los datos podemos usar distintas herramientas para lograr ver los resultados, en nuestro caso se usó Paraview en su versión 5.10.1 para poder reproducir esta simulación. Para ello, se abre el grupo de archivos denominados "PartAll", si se realizó el post procesado con "PartVTK", o bien el grupo de archivos "FileIso", si el post procesado fue con "IsoSurface", desde el menú "Open File". Posteriormente, se habilitarán una serie de propiedades en la parte inferior izquierda, en nuestro caso se dejaron por defecto, por lo cual solo se le debe dar clic al botón "Apply" remarcado en verde y visto en la Fig. 17.

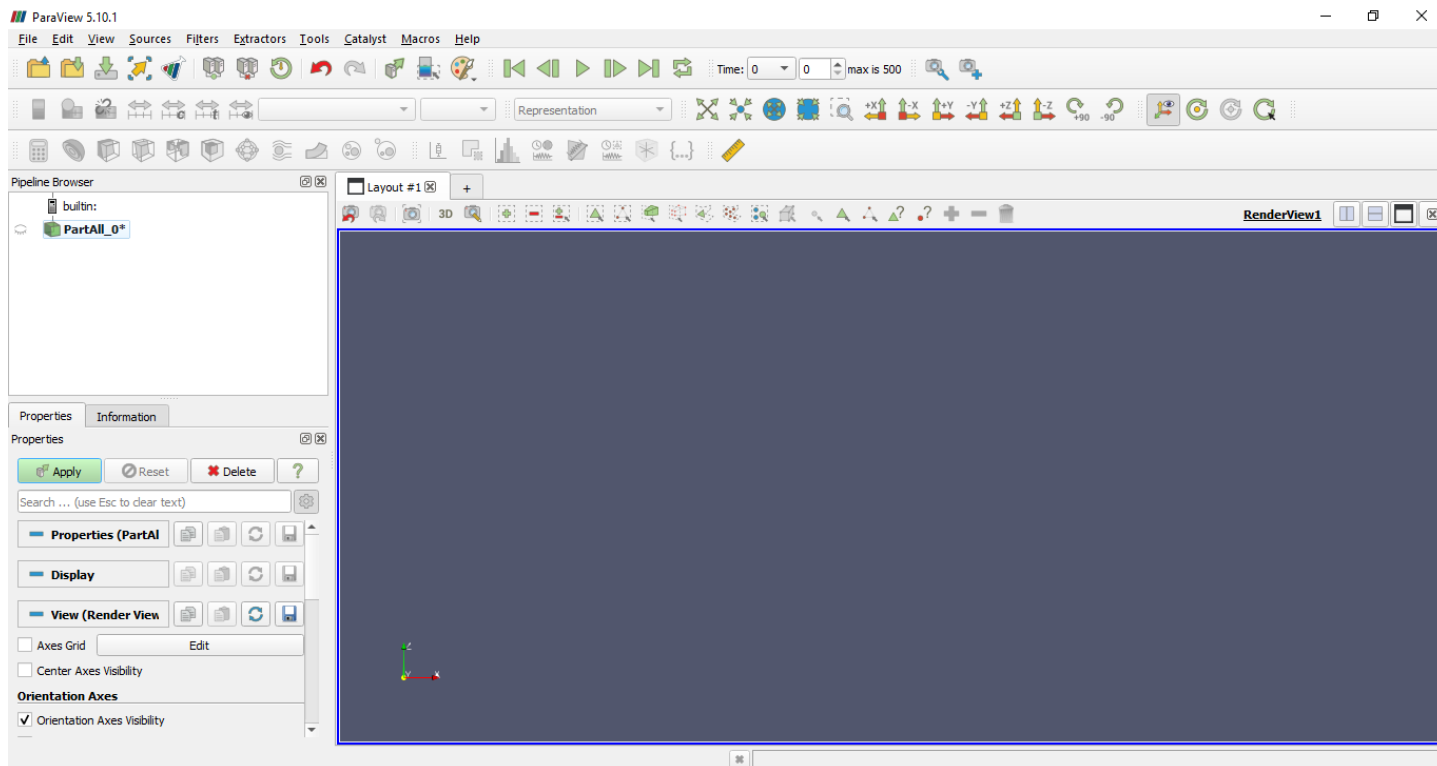


Fig.17. Ventana de Paraview para mostrar la simulación.

Para concluir, se puede ver la simulación dando clic en el botón de reproducir, en la parte superior de la pantalla, o bien guardando la animación como un video, y poder compartirla.

RESULTADOS

La simulación presentada en este proyecto fue realizada con 395 781 partículas, en la cual fue posible ver el movimiento del fluido confinado generado por la tapa, y el cómo las partículas interactúan entre sí. Como se observa en la Fig. 18, aún cuando el fluido es representado por un conjunto de partículas, es posible verlo de manera uniforme cuando hay una gran cantidad de éstas, algo que en fases anteriores y con menos partículas, no era posible e incluso podía existir una separación visible entre la tapa y el fluido por tan pocas partículas.

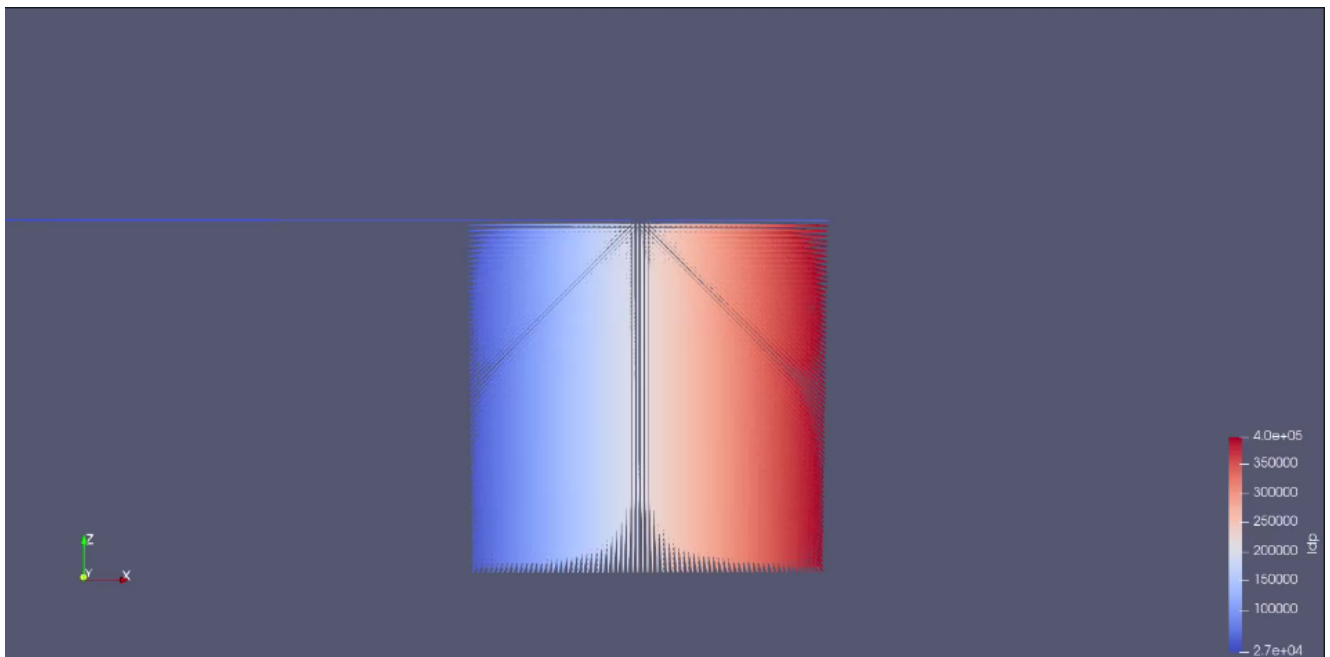


Fig. 18. Escena inicial de la simulación del fluido contenido.

Para lograr observar de una mejor manera este experimento se realizó un video, que se puede visualizar en la siguiente liga “<https://youtu.be/g3796T55g34>”.

CONCLUSIONES

Crear simulaciones de fluidos no es algo del todo fácil, sin embargo, existen todo tipo de herramientas computacionales que ayudan a cualquier persona que desee crear una simulación el poder hacerla. Por supuesto, no es algo que todos quieran hacer hoy en día, lo que hace que las herramientas especializadas tengan un costo para el público o en caso contrario el usuario debe tener un proceso de formación para crear lo que desea. Es ahí donde nosotros encontramos diversas limitantes, por ejemplo, con Blender y Autodesk Maya se presentaron problemas con respecto a cómo se desarrollaba la simulación, haciendo que tuvieran que ser descartadas aún con algunos ejemplos ya realizados, pues no era viable el completar el objetivo principal al no lograr darle movimiento a la tapa o bien lograr que el fluido se quedara confinado.

También encontramos limitantes en DualSPHysics mientras se creaba la simulación pues en ese momento desconocíamos sobre los errores que se generaban si el fluido lograba salir de la caja, lo cual nos generó un retraso a lo largo del desarrollo e incluso se llegó a pensar en cambiar el objetivo del proyecto. Sin embargo, gracias a que esta herramienta permite modificar la cantidad de partículas existentes en la simulación de una manera muy rápida, se logró encontrar ese error y se solucionó colocando un contenedor que evitará que el fluido que saliera de la caja se saliera de los límites de la simulación. Así mismo, en las simulaciones observamos la dinámica del fluido al tener pocas partículas ante el movimiento de la tapa, y notamos que existe diferencia comparando el caso cuando hay una gran cantidad de partículas, es decir, las simulaciones presentan un comportamiento más cercano a lo que se espera cuando el número de partículas aumenta.

Trabajo Futuro

Dado el amplio campo de trabajo en fluidos es posible continuar investigando en diferentes vertientes, utilizando el software utilizado, entre los cuales se pueden mencionar:

- Ejecutar esta simulación en un servidor con un poder computacional mayor al disponible por nuestros equipos personales, esto permitiría, por ejemplo: aumentar el tamaño de nuestros objetos y aumentar el tiempo de la simulación.

- Profundizar en la dinámica del fluido utilizado (agua), bajo las circunstancias físicas manejadas con objeto de determinar si se llega al estado estacionario, la interacción específica entre el fluido y las paredes de la cavidad, el efecto de la relación entre las longitudes de las paredes sobre la dinámica del fluido, etc.
- Investigar el comportamiento de un fluido parecido al aceite, jabón u otro fluido de interés bajo las características manejadas en el presente trabajo.
- Ajustar o adecuar las simulaciones (en cuanto a propiedades, características o alguna otra variable) de tal forma que, las simulaciones puedan servir como punto de partida a las simulaciones de fluidos que emplean algún método numérico, con objeto de hacer un comparativo entre ambos resultados.
- Si bien se hizo una breve revisión de los métodos de simulación, empleados por algunas de las herramientas aquí estudiadas, es importante realizar un estudio más profundo de estos métodos, con la finalidad de tener otro criterio de evaluación que permita mejorar los resultados aquí presentados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Diseñando Videojuegos con CR, «01 - NVIDIA FleX - Simulando material granular y líquido [Unity],» YouTube, 05 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/playlist?list=WL>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [2] J. M. Aguilera, «Aprende Unreal Engine,» 16 Marzo 2020. [En línea]. Available: <https://www.aprendeunrealengine.com/simulacion-de-fluidos/>. [Último acceso: Septiembre 2021].
- [3] Eme Uve, «Crear líquidos en Blender Blender español para principiantes Físicas de fluidos Mantaflow,» YouTube, 28 Abril 2020. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=CUxEZ0yNJgY&t=882s>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [4] DualSPHysics, «DualSPHysics,» 02 Diciembre 2018. [En línea]. Available: <https://dual.sphysics.org/tutorials/>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [5] F. Garzón, «Cómo simular un fluido. DualSPHysics, descarga y corriendo un ejemplo en Windows. 1,» YouTube, 27 Febrero 2021. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=1wXtm6X6IMI>. [Último acceso: Agosto 2021].
- [6] J. M. B. Cruz, «3D Maya 144 Dinamicas Fluids liquido avanzado,» YouTube, 16 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=uJfI4mgQcoQ>. [Último acceso: Septiembre 2021].
- [7] J. Vega, «Empezando con Mantaflow (líquidos),» Zao3D, 2021. [En línea]. Available: <https://zao3d.com/tutorial/empezando-con-mantaflow-liquidos/>. [Último acceso: Octubre 2021].