

Herramienta de Simulación para sistemas de medida de nivel y caudal por medio de ANSYS

William Fernando Fuentes Ossa
Santiago Estrada Sotelo

Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Electrónica
Bogotá, Colombia
2023



Herramienta de Simulación para sistemas de medida de nivel y caudal por medio de ANSYS

William Fernando Fuentes Ossa
Santiago Estrada Sotelo

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

Ingeniero Electrónico

Director:
Ing. Gianina Garrido Silva. MSc.

Codirector:
Ing. Edwin Francisco Forero García. MSc.

Grupo de Investigación MEM (Modelado-Electrónica-Monitoreo)
Línea de Investigación:
Universidad Santo Tomás
Facultad de Ingeniería Electrónica
Bogotá, Colombia
2023

Autoridades de la universidad

RECTOR GENERAL

Fray José Gabriel Mesa Angulo, O.P.

VICERRECTOR ADMINISTRATIVO Y FINANCIERO GENERAL

Fray Wilson Fernando Mendoza Rivera, O.P.

VICERRECTOR ACADÉMICO GENERAL

Fray Eduardo González Gil, O.P.

SECRETARIO GENERAL

Doctora Ingrid Lorena Campos Vargas

DECANO DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

Fray Javier Antonio Hincapié Ardila, O.P.

SECRETARIA DE DIVISIÓN

Doctora Luz Patricia Rocha Caicedo

DECANO FACULTAD DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

Ph.D. Carlos Andrés Torres Pinzón

Nota de aceptación

Firma del tutor

Firma del jurado

Firma del jurado

BOGOTÁ D.C. _____ DE 2023

ADVERTENCIA

La Universidad Santo Tomás no se hace responsable de las opiniones y conceptos expresados en el trabajo de grado, solo velará por qué no se publique nada contrario al dogma ni a la moral católica y porque el trabajo no tenga ataques personales y únicamente se vea el anhelo de buscar la verdad científica.

Capítulo III –Art. 46 del Reglamento de la Universidad Santo Tomás.

Dedicatoria

Dedico este proyecto a mi familia, en especial a mis padres Luis Enrique y Martha Rocío junto con mi hermana Adriana Rocío, por su motivación, cariño y comprensión a lo largo de este proceso, ayudándome a llegar hasta este punto.

Santiago Estrada Sotelo

Dedico este proyecto a mi familia por su apoyo constante y paciencia a lo largo de mi desarrollo profesional como ingeniero electrónico.

William Fernando Fuentes Ossa

Agradecimientos

Agradezco a mi familia, en especial a mis padres Luis Enrique y Martha Rocío junto con mi hermana Adriana Rocío ya que, gracias a su cariño y apoyo incondicional, me brindaron ánimo y fuerzas para proseguir con mi formación profesional. Adicionalmente agradeciendo y denotando el gran esfuerzo que hicieron por mí.

Santiago Estrada Sotelo

Agradezco a toda mi familia y también a mi compañero Santiago por el apoyo recibido a lo largo del proceso de formación y crecimiento a manera profesional y personal.

William Fernando Fuentes Ossa

Contenido

Resumen.....	XI
Abstract	XII
Lista de Figuras	XIV
Lista de Tablas.....	XVI
Glosario	XVI
1. Introducción.....	1
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Objetivos	1
1.2.1. Objetivo General	1
1.2.2. Objetivos Específicos.....	2
1.3. Justificación.....	2
1.4. Impacto Social.....	3
2. Estado del Arte	4
2.1. ANSYS Y CFD	4
2.2. Industria 4.0.....	4
2.3. Uso de simulaciones.....	5
3. Marco Teórico.....	7
3.1. Fluido.....	7
3.2. Leyes de Fluidos	7
3.2.1. Conservación de la masa	8
3.2.2. Efecto Bernoulli	8
3.2.3. Ecuación de continuidad.....	8
3.3. Nivel.....	8
3.4. Caudal	9
3.5. CFD	9
3.6. ANSYS	10
4. Diseño Metodológico.....	12
4.1. Fases y Metodología.....	12
4.2. Cronograma	13
5. Desarrollo Conceptual.....	14
5.1. Escritura manual ANSYS.....	14
5.1.1. Curso ANSYS.....	14

5.1.2.	Creación guía de herramientas	15
5.1.3.	Validación de la guía.....	16
5.2.	Simulaciones.....	17
5.2.1.	Repaso leyes de los fluidos	17
5.2.2.	Generar 2 simulaciones de sistemas de medición	18
5.3.	Validación de la simulación	27
5.3.1.	Corroborar funcionamiento de las simulaciones por medio del cumplimiento de las leyes de fluidos.....	27
5.3.2.	Probar las simulaciones anteriores con diferentes fluidos	33
5.4.	Comportamiento del sistema.....	34
5.4.1.	Corroboración de la ecuación de continuidad.....	34
5.4.2.	Corroboración ecuaciones de Bernoulli.	38
5.4.3.	Corroboración conservación de la masa.....	42
6.	Resultados y Discusión	43
6.1.	Guía de herramientas	43
6.2.	Validación de la guía.....	46
6.3.	Repaso de leyes de fluidos.....	47
6.4.	Generar 2 simulaciones de otros sistemas de medición	51
6.5.	Corroborar funcionamiento de las simulaciones por medio del cumplimiento de las leyes de los fluidos.....	53
6.5.1.	Corroboración de la ecuación de continuidad.....	54
6.5.2.	Corroboración de la ecuación de Bernoulli	54
6.5.3.	Corroboración de la ecuación de conservación de la masa.....	54
6.6.	Probar las simulaciones anteriores con diferentes fluidos	56
6.6.1.	Corroboración de la ecuación de continuidad.....	56
6.6.2.	Corroboración de la ecuación de Bernoulli	57
6.6.3.	Corroboración de la ecuación de la masa.....	58
6.7.	Parámetros de nivel y caudal de los sistemas.....	62
6.7.1.	Caudal	62
6.7.2.	Nivel.....	65
7.	Conclusiones y Trabajos futuros.....	68
7.1.	Conclusiones	68
7.2.	Trabajos futuros.....	69
8.	Anexos.....	70
8.1	Anexo A.....	70

8.2 Anexo B.....	123
9. Referencias Bibliográficas.....	128

Resumen

Contexto.

El presente proyecto de grado se centra en la comprobación de las tres leyes de fluidos por medio de ANSYS partiendo con la simulación de un sistema encontrado en los laboratorios de la universidad Santo Tomas, sistema el cual trabaja únicamente con agua, para después crear dos nuevas simulaciones, las cuales tendrán 2 fluidos aparte del agua cuando se comprueben las tres leyes con agua como fluido principal. Con el fin de poder implementar simulaciones en ANSYS en el espacio de Sensores y Actuadores Industriales en temática de nivel y caudal.

Método.

Se implemento metodología de investigación puesto que es una metodología rigurosa y sistemática así que proporciona un marco claro y definido para llevar a cabo la investigación. Otra razón por escoger esta metodología es por la flexibilidad de la misma, por ende, puede adaptarse a diferentes tipos de problemas de investigación

Resultados.

Los resultados presentan por medio de los casos de prueba la comprobación de las tres leyes de los fluidos en dos sistemas un manómetro y una boquilla, en los cuales se realizaron pruebas con dos fluidos a parte del agua siendo el aceite de motor y el combustible Diesel, permitiendo retomar estas simulaciones o la creación de unos nuevos problemas centrados en el nivel y caudal de estos sistemas. En donde fue posible hacer uso de estos sistemas para hallar los parámetros de nivel y caudal dando posibilidad a la implementación de este tipo de simulaciones para el estudio de esta temática.

Conclusiones.

ANSYS puede ser una herramienta útil cuando se trata del diseño nuevo de metodologías de aprendizaje como en el presente proyecto simulación de diversos sistemas de fluidos, cuando la infraestructura no permita ya sea una gran cantidad de fluidos ni sistemas de medición los cuales son usados para realizar prácticas relacionadas con la temática de nivel y caudal.

Palabras clave: ANSYS, Dinámica de Fluidos Computacional, Fluido, Nivel, Caudal.

Abstract

Context.

This project focuses on verifying the three laws of fluids through ANSYS, starting with the simulation of a system found in the laboratories of Santo Tomas University. This system works exclusively with water. Subsequently, two new simulations will be created, involving two fluids in addition to water when verifying the three laws with water as the main fluid. The goal is to implement simulations in ANSYS within the space of Industrial Sensors and Actuators, specifically addressing level and flow topics.

Method.

Research methodology was implemented because it is a rigorous and systematic methodology and thus provides a clear and defined framework to carry out the

research. Another reason for choosing this methodology is because of its flexibility, therefore, it can be adapted to different types of research problems.

Results.

The results, presented through test cases, confirm the three laws of fluids in three systems. Two of these systems underwent tests with fluids other than water, allowing for the continuation of these simulations or the creation of new problems focused on the level and flow of these systems.

Conclusions:

ANSYS can be a useful tool when designing new learning methodologies, as in this project, simulating various fluid systems. This is particularly valuable when infrastructure constraints limit the use of a large quantity of fluids or measurement systems used for practices related to the level and flow theme.

Keywords: ANSYS, Computational Fluid Dynamics, Fluid, Level, Flow.

Lista de Figuras

Figura 4.1.1 Diseño metodológico. Fuente: Autoría propia.....	12
Figura 4.2.1 Cronograma. Fuente: Autoría propia.	13
Figura 5.2.1 Planta Venturi. Fuente: Autoría propia.....	19
Figura 5.2.2 Planta Venturi en ANSYS. Fuente: Autoría propia.	20
Figura 5.2.3 Cambio tipo análisis 2D. Fuente: Autoría propia.	21
Figura 5.2.4 Dimensiones triangulo rectángulo. Fuente: Autoría propia.	21
Figura 5.2.5 Dimensiones rectángulo. Fuente: Autoría propia.	22
Figura 5.2.6 Dimensiones A6 y figura resultante. Fuente: Autoría propia.....	22
Figura 5.2.7 Figura resultante. Fuente: Autoría propia.	23
Figura 5.2.8 Geometría final. Fuente: Autoría propia.....	24
Figura 5.2.9 Malla inestructurada. Fuente: Autoría propia.....	24
Figura 5.2.10 Malla generada. Fuente: Autoría propia.	25
Figura 5.2.11 Malla final. Fuente: Autoría propia.	26
Figura 5.2.12 Dibujo sistema. Fuente: Autoría propia.....	27
Figura 5.3.1 División de la tubería para hallar el área de ambas secciones. Fuente: Autoría propia.	28
Figura 5.3.2 Valores dimensiones de la sección 1 simulación 1. Fuente: Autoría propia.	29
Figura 5.3.3 Valores dimensiones de la sección 2 simulación 1. Fuente: Autoría propia.	30
Figura 5.3.4 Configuración reporte de flujo de masa. Fuente: Autoría propia.	31
Figura 5.3.5 División de la tubería para hallar el área de ambas secciones simulación 2. Fuente: Autoría propia.....	32
Figura 5.3.6 Importación aceite de motor. Fuente: Autoría propia.	33
Figura 5.3.7 Importación combustible Diesel. Fuente: Autoría propia.....	34
Figura 5.4.1 Resultado velocidad aceite de motor simulación 1. Fuente: Autoría propia.	35
Figura 5.4.2 Resultado velocidad combustible Diesel simulación 1. Fuente: Autoría propia.	36
Figura 5.4.3 Resultado velocidad aceite de motor simulación 2. Fuente: Autoría propia.	37
Figura 5.4.4 Resultado velocidad combustible Diesel simulación 2. Fuente: Autoría propia.	38

Figura 5.4.5 Resultado presión aceite de motor simulación 1. Fuente: Autoría propia.	39
Figura 5.4.6 Resultado presión combustible Diesel simulación 1. Fuente: Autoría propia	40
Figura 5.4.7 Resultado presión aceite de motor simulación 2. Fuente: Autoría propia.	41
Figura 5.4.8 Resultado presión combustible Diesel simulación 2. Fuente: Autoría propia	42
Figura 6.1.1 Progreso del curso A Hands-on Introduction to Engineering Simulations correspondiente al autor 1. Fuente: Autoría propia.	43
Figura 6.1.2 Progreso del curso A Hands-on Introduction to Engineering Simulations correspondiente al autor 2. Fuente: Autoría propia.	43
Figura 6.1.3 Resultado capítulo 1 guía de herramientas. Fuente: Autoría propia.	44
Figura 6.1.4 Resultado capítulo 3 guía de herramientas. Fuente: Autoría propia.	45
Figura 6.1.5 Resultado capítulo 4 guía de herramientas. Fuente: Autoría propia.	45
Figura 6.1.6 Resultado capítulo 5 guía de herramientas. Fuente: Autoría propia.	46
Figura 6.2.1 Resultado formulario validación. Fuente: Autoría propia.	47
Figura 6.3.1 Resultado definición fluidos. Fuente: Autoría propia.	48
Figura 6.3.2 Resultado definición ley de continuidad. Fuente: Autoría propia.	49
Figura 6.3.3 Resultado definición ley de Bernoulli. Fuente: Autoría propia.	50
Figura 6.3.4. Resultado definición ley de conservación de la masa. Fuente: Autoría propia.	50
Figura 6.4.1 Resultado velocidad en manómetro. Fuente: Autoría propia.	51
Figura 6.4.2 Resultado velocidad en manómetro. Fuente: Autoría propia.	52
Figura 6.4.3 Resultado velocidad en la boquilla. Fuente: Autoría propia.	53
Figura 6.4.4 Resultado presión en la boquilla. Fuente: Autoría propia.	53
Figura 6.5.1 Resultados residuos y reporte de flujo de masa simulación 1. Fuente: Autoría propia.	55
Figura 6.5.2 Resultados residuos y reporte de flujo de masa simulación 2. Fuente: Autoría propia.	56
Figura 6.6.1 Resultados residuos aceite simulación 1. Fuente: Autoría propia.	59
Figura 6.6.2 Reporte de flujo de masa aceite simulación 1. Fuente: Autoría propia.	59
Figura 6.6.3 Resultados residuos Diesel simulación 1. Fuente: Autoría propia.	60
Figura 6.6.4 Reporte de flujo de masa Diesel simulación 2. Fuente: Autoría propia.	60
Figura 6.6.5 Resultados residuos aceite simulación 2. Fuente: Autoría propia.	61
Figura 6.6.6 Reporte de flujo de masa aceite simulación 2. Fuente: Autoría propia.	61
Figura 6.6.7 Resultados residuos Diesel simulación 2. Fuente: Autoría propia.	61
Figura 6.6.8 Reporte de flujo de masa Diesel simulación 2. Fuente: Autoría propia.	62
Figura 6.7.1 Cambio tiempo de simulación. Fuente: Autoría propia.	62
Figura 6.7.2 Configuración para determinar el tiempo de duración de la simulación. Fuente: Autoría propia.	63
Figura 6.7.3 Ajuste de duración de la simulación. Fuente: Autoría propia.	63
Figura 6.7.4 Generación reporte de volumen. Fuente: Autoría propia.	64

Figura 6.7.5 Reporte de volumen simulación 1. Fuente: Autoría propia.	64
Figura 6.7.6 Reporte de volumen simulación2. Fuente: Autoría propia.	65

Lista de Tablas

Tabla 5.2.2.1. Diferencias sistema simulado y sistema real. Fuente: Autoría propia.....	18
Tabla 5.2.2.2. Similitudes sistema simulado y sistema real. Fuente: Autoría propia.....	18
Tabla 5.2.2.1. Tabla 6.1.1. Definición y ventajas ANSYS Fluent. Fuente: Autoría propia	41

Glosario

CFD: Dinámica de Fluidos Computacionales
FEA: Análisis de Elementos Finitos

1. Introducción

1.1. Planteamiento del Problema

En el ámbito de las prácticas de laboratorio es importante tener como referencia una simulación, la cual exhiba los resultados de dicha práctica, y también proponiendo diferentes escenarios que no se pueden obtener en una posible implementación. En una práctica de laboratorio los estudiantes incurren en errores comunes a la hora de aprender un nuevo tema y la tecnología puede ayudar al aprendizaje permitiendo que los estudiantes realicen tantas pruebas como deseen simuladas de su implementación sin el riesgo de sufrir daño en alguno de los componentes del sistema, en el ámbito de la ingeniería electrónica existen diferentes tipos de simuladores gratuitos, o la misma universidad compra las licencias para el uso estudiantil como por ejemplo Matlab [5], por lo que los estudiantes tienen acceso a dichos programas, aunque la mayoría de veces los manuales de usuario [6] no profundizan en temas específicos debido a la extensión de dichos problemas, u otras veces estos programas no son aprovechados ya sean por los docentes o por los mismos estudiantes.

En el espacio académico de sensores y actuadores [3], se prioriza el uso de Proteus o Multisim para simular la parte eléctrica de los sensores como por ejemplo el convertidor voltaje corriente. En dicho espacio se visualizan todos los tipos de sensores en términos de voltaje y corriente, pero al momento de abordar la temática de flujo, nivel y caudal por falta de infraestructura se realizan únicamente prácticas con agua y aire, aunque es beneficioso para el estudiante realizar dichas prácticas también se esperaría conocer el comportamiento de diferentes fluidos y gases a nivel práctico, ya que se estudia el comportamiento de varios fluidos como por ejemplo el aceite únicamente a nivel teórico.

Por ende, es importante tener conocimiento de algún tipo de simulador que pueda solventar este vacío. ANSYS Inc. [1] es un software el cual es capaz de simular dichos escenarios, permitiendo al estudiante conocer las diferentes respuestas de un sistema, teniendo la posibilidad de una simulación el cual sea equivalente a dicho sistema en su implementación. ANSYS posee una gran cantidad de librerías y funciones, por ende, este trabajo se focaliza en ANSYS Fluent [4] para su desarrollo. Por lo tanto, se plantea la siguiente pregunta. ¿Cómo adaptar la herramienta de simulación ANSYS y las diferentes respuestas de diversos fluidos en ciertos sistemas, a las problemáticas planteadas en el espacio de sensores y actuadores con respecto a la temática de nivel y caudal?

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

- Elaborar una metodología para el diseño de prácticas de laboratorios de

caudal y nivel en el espacio sensores y actuadores industriales mediante el software ANSYS.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Explicar las herramientas del software ANSYS con el uso de su manual provisto por ANSYS Inc, para la creación de sistemas de caudal y nivel.
- Definir las diferencias y similitudes que tiene una simulación en ANSYS respecto a un sistema real mediante implementación de un proceso de caudal y nivel.
- Diseñar con las herramientas de ANSYS los modelos de simulación sistemas de caudal y nivel para el estudio de los diferentes fluidos.
- Establecer el comportamiento de diferentes fluidos en dichos sistemas con el uso las tres leyes básicas de flujo de fluido para encontrar los parámetros de nivel y caudal.

1.3. Justificación

El presente proyecto está enfocado en el acercamiento de los estudiantes del espacio de sensores y actuadores al software ANSYS, esto es debido a que en dicho espacio académico no se alcanza a trabajar en medición de nivel y caudal en fluidos diferentes al agua o no existe la infraestructura requerida para las prácticas. Este trabajo permite mostrar los alcances de este software, principalmente para el manejo de simulaciones y el comportamiento de diferentes fluidos en diversos sistemas con el fin de realizar mediciones y corroborar las ecuaciones que rigen el comportamiento de estos fluidos con respecto a la medición de nivel y caudal, con el fin de una preparación integral de los estudiantes de ingeniería electrónica de la Universidad Santo Tomás a posibles problemas que se encuentren en un entorno laboral.

Para un ingeniero especializado en el área de sensores y que cuya aplicación laboral esté focalizada en la medición de sistemas, es importante conocer el comportamiento de los fluidos en diversos sistemas con el fin de lograr una medición precisa y coherente, por lo cual para el alma mater es de suma importancia que el ingeniero en formación esté capacitado para resolver problemas de cualquier índole en esta área. Como es lógico algunas universidades no se pueden permitir el costo de realizar prácticas de laboratorio con demasiados tipos de fluidos, por lo cual estas prácticas pueden ser trabajadas a través de un simulador que pueda trabajar con fluidos como lo es ANSYS [13], además de esta manera es posible atender a criterios de formación en “Industria 4.0” y aporta a la reducción de impactos ambientales.

Con una adecuada simulación en dicho entorno es posible crear un entorno que tiende a parecerse a la realidad, es decir un sistema simulado el cual se comporte

como el sistema lo hace en una implementación. Permitiendo ver a los estudiantes el funcionamiento y errores del sistema a través de un computador y lo más importante ver el comportamiento de diferentes fluidos en un mismo sistema si así lo requiere la práctica.

1.4. Impacto Social

El uso de un software para la simulación para sistemas de medida que utilice sensores de caudal y nivel impacta directamente en la formación académica de los estudiantes de la Facultad de Ingeniería Electrónica de la Universidad Santo Tomás, ya que el desarrollo de actividades y laboratorios es fundamental para una buena enseñanza y desempeño del estudiante. Así mismo el software ANSYS es una herramienta que permite el uso de diferentes fluidos y sistemas, que en la implementación real no puede llegar a ser ejecutada, lo cual permite que los estudiantes puedan adquirir conocimientos y estar habilitados futuros trabajos, respondiendo a exigencias laborales con tecnologías y herramientas industriales.

El presente proyecto se centra, en la comunidad de estudiantes de ingeniería electrónica de la Universidad Santo Tomás, los cuales según el pensum de la facultad en séptimo semestre pueden inscribir el espacio académico de sensores y actuadores, en el cual se presenta la temática de medición de nivel y caudal, pero por diversos motivos solo se realizan prácticas de laboratorio de nivel y caudal con agua, aunque analíticamente se les explica a los estudiantes el comportamiento de una gran cantidad de fluidos como por ejemplo crudo de petróleo y aceite.

2. Estado del Arte

En el presente capítulo se ahondará en el avance en el campo de la educación gracias a la cuarta revolución industrial o también llamada industria 4.0 [32]. En como la tecnología influye en el aprendizaje, enfocándose en el uso de la simulación como herramienta de aprendizaje, logrando que los estudiantes realizar diferentes prácticas en diferentes áreas, sin estar expuestos al daño de los elementos de laboratorio, permitiendo una mayor tranquilidad a los estudiantes que a la vez conlleva una mayor experimentación y mayor aprendizaje.

2.1. ANSYS Y CFD

ANSYS Fluent es un paquete de software de dinámica de fluidos computacional que está escrito en lenguaje de programación tipo C. En este libro “An Introduction to ANSYS Fluent 2022” del autor John E. Matsson, se habla de que Fluent tiene numerosas capacidades para simulaciones. La interfaz de usuario de Fluent incluye la vista de esquema y variedad en la página de opciones. La vista de esquema incluye configuración, solución, resultados y parámetros y personalización, y también sobre cómo usar este programa con ejemplos y guías concretas con ilustraciones.[8]

En 1970 en Pennsylvania, EE. UU. el ingeniero John A. Swanson fundó una empresa encargada de ingeniería la cual desarrolla y comercializa un software de simulación, el cual recrea el comportamiento de un sistema en un entorno real. Esta empresa es conocida bajo el nombre de ANSYS, INC. El programa principal desarrollado por la empresa tiene el mismo nombre ANSYS. La primera versión de este programa fue lanzada a finales de 1970 y el primer cliente en utilizar ANSYS como herramienta de análisis en diseños fueron los laboratorios nucleares de un empresario e ingeniero estadounidense llamado George Westinghouse, estos laboratorios estaban localizados en Pittsburg. Con el paso del tiempo el simulador ANSYS ha recibido actualizaciones y mejoras que hacen que este software sea más complejo y completo que otros simuladores, ya que ANSYS tiene la capacidad de ofrecer soluciones a sistemas más complejos.[9]

2.2. Industria 4.0

El campo de la automatización industrial ha experimentado un crecimiento exponencial en el siglo pasado. En el libro “Industry 4.0 and Advanced Manufacturing: Proceedings of I-4AM 2019” siendo los autores: Amaresh Chakrabarti fue profesor, sénior y actual presidente del Centro de Diseño y Fabricación de Productos, Institute Indian of Science (ISc), y Manish Arora es Profesor Asistente en el Centro de Diseño de Producto y Manufactura, Institute Indian of Science, Bangalore. Las diversas revoluciones industriales han impactado en la automatización industrial en gran parte. Los productos industriales como controladores, drivers y dispositivos de campo sufrieron varios cambios para satisfacer las demandas de los usuarios. De estas demandas, características tales

como se destacan la interoperabilidad, la reducción del tiempo de ciclo, el aumento de la productividad y la seguridad. Este documento trata los problemas de interoperabilidad con diferentes proveedores de controladores y software para acceder a los datos. Esta arquitectura simplificada es utilizada para demostrar el concepto OPC UA basado en la industria 4.0 para el sector educativo Comunidad.[11]

2.3. Uso de simulaciones

Una simulación es una representación artificial de un proceso, sistema o situación del mundo real. Consiste en crear un modelo que imita las características esenciales de la realidad para comprender, predecir o analizar el comportamiento de ese proceso o sistema en un entorno controlado y seguro. Las simulaciones pueden ser utilizadas en una amplia variedad de campos, desde la ciencia y la ingeniería hasta la educación, la economía y la medicina.

La simulación en el ámbito del aprendizaje es una herramienta valiosa para enseñar y practicar habilidades y conocimientos en un entorno controlado. Proporciona una forma efectiva de aplicar la teoría a situaciones prácticas, mejorar la toma de decisiones y desarrollar habilidades interpersonales, todo ello mientras se minimizan los riesgos asociados con situaciones del mundo real.

Este artículo “A Simulation-Based Digital Twin for Model-Driven Health Monitoring and Predictive Maintenance of an Automotive Braking System” de Ryan Magargle , Lee Johnson, Padmesh Mandloi, Peyman Davoudabadi, Omkar Kesarkar, Sivasubramani Krishnaswamy, John Batteh y Anand Pitchaikani describe un enfoque basado en modelos para el mantenimiento predictivo de los sistemas de frenado de automóviles. Este enfoque implica la construcción de un gemelo digital basado en simulación (modelo numérico). Esto incluye modelos Modelica de pedido limitado de varios elementos clave del modelo, así como modelos de controles y sensores. Los modelos de Modelica se implementan en el programa de simulación ANSYS Simplorer, aprovechando el trabajo de modelado existente y las conexiones con otros programas de recursos finitos de ANSYS para usar modelos de orden limitado.[16]

El presente trabajo “Development of a digital twin of an onshore wind turbine using monitoring data” de F. Pimenta, J. Pacheco, C. M. Branco², C. M. Teixeira and F. Magalhães tiene como objetivo crear un gemelo digital de un aerogenerador terrestre para proporcionar al propietario del parque eólico una herramienta para monitorear continuamente los problemas de fatiga acumulada y evaluar tácticas operativas alternativas. Las características aerodinámicas de las distintas secciones de las palas se calcularon utilizando modelos 2D creados en ANSYS Fluent. Tanto la respuesta medida como la simulada permitieron detectar y verificar las características dinámicas de la estructura, así como las cargas internas fijas y dinámicas. A pesar de numerosas aproximaciones y simplificaciones, los resultados obtenidos que usan el modelo numérico concuerdan bien con los resultados obtenidos en el lote.[18]

En este trabajo “Methods of computational modeling of coronary heart vessels for its digital twin” de Ilya Naplekov, Ivan Zheleznikov, Dmitry Pashchenko, Polina

Kobysheva, Anna Moskvitina, Ravil Mustafin, Maria Gnutikova, Alina Mullagalieva y Pavel Uzlov se investigaron métodos de modelado numérico del sistema vascular coronario del corazón humano. El objetivo principal del estudio es obtener la hemodinámica y el esfuerzo cortante para crear el gemelo digital de las arterias coronarias del corazón. Se examinó el estrés causado por el consumo de energía adicional debido al flujo sanguíneo turbulento (aumento de la presión arterial). Se desarrolló un modelo bidimensional de un recipiente separado con prevención de reflujo fijo. Se establece la existencia de un núcleo de flujo turbulento. [19]

3. Marco Teórico

Para el desarrollo del presente trabajo es necesario ahondar en la definición de diferentes conceptos.

3.1. Fluido

En física, un fluido es una sustancia que se deforma continuamente bajo la aplicación de una fuerza, sin importar cuán pequeña sea la fuerza. Los fluidos pueden ser líquidos o gases. [20]

Los líquidos son fluidos que tienen un volumen fijo y una forma variable. Esto significa que los líquidos pueden cambiar de forma para adaptarse a su recipiente, pero mantienen su volumen. Los líquidos están formados por moléculas que están unidas entre sí por fuerzas intermoleculares débiles. Estas fuerzas son lo suficientemente fuertes como para mantener las moléculas juntas, pero no lo suficientemente fuertes como para evitar que las moléculas se muevan libremente.

Los fluidos se pueden clasificar de acuerdo con su viscosidad. La viscosidad es una medida de la resistencia de un fluido en movimiento (Los fluidos con alta viscosidad se mueven lentamente, mientras que los fluidos con baja viscosidad se mueven rápidamente). [21]

Los líquidos se pueden clasificar en dos tipos principales de acuerdo con su viscosidad:

- Fluidos newtonianos: Los fluidos newtonianos tienen una viscosidad constante, que no varía con la velocidad de flujo. Los líquidos comunes, como el agua y el aceite.
- Fluidos no newtonianos: Los fluidos no newtonianos tienen una viscosidad que varía con la velocidad de flujo. Algunos ejemplos son: los geles, las emulsiones, los fluidos viscosos, entre otros. [22]

3.2. Leyes de Fluidos

Las leyes de fluidos son los principios fundamentales que gobiernan el comportamiento de líquidos y gases en movimiento. Estas leyes, fundamentadas en la mecánica de fluidos, ayudan a comprender el flujo, la presión y las fuerzas que actúan en los fluidos, teniendo un impacto profundo en áreas diversas como la aerodinámica, la hidrodinámica y la ingeniería de sistemas de tuberías, entre otros. [23]

3.2.1. Conservación de la masa

Un principio fundamental en la mecánica de fluidos establece que: la masa no puede ser creada ni destruida, solo puede cambiar de forma o moverse dentro del sistema.

Esta ley se basa en el principio de conservación de la materia, que es un principio fundamental en la física que se aplica tanto a los fluidos como a los sólidos. [24]

$$\sum_{in} m = \sum_{out} m \quad (1)$$

3.2.2. Efecto Bernoulli

La ley de Bernoulli es un principio fundamental en la mecánica de fluidos que describe la relación entre la presión, la velocidad y la altura potencial de un fluido en movimiento. Esta ley se basa en el principio de conservación de la energía en un flujo constante de fluido sin viscosidad ni fricción interna. Establece que cuando la velocidad del fluido aumenta, la presión disminuye, y viceversa. [25]

$$P_1 + pgh_1 + \frac{1}{2}p * v_1^2 = P_2 + pgh_2 + \frac{1}{2}p * v_2^2 \quad (2)$$

Donde: P es la presión, p es la densidad, g es la gravedad, h es la altura, v es la velocidad.

3.2.3. Ecuación de continuidad

La ley de continuidad de los fluidos es una regla fundamental que describe cómo se conserva la masa en un flujo constante de fluido. Estipula que la cantidad de flujo entrante debe ser igual a la cantidad de flujo saliente en cualquier punto dentro de un sistema cerrado.

$$A1 * V1 = A2 * V2 \quad (3)$$

Donde: A es el área, y V la velocidad.[26]

3.3. Nivel

El nivel se refiere a la altura o la posición de la superficie libre de un fluido en un recipiente o sistema. Es una medida de cuán profundo o alto se encuentra el fluido en un punto específico y se utiliza comúnmente para describir la cantidad de líquido presente en un tanque, contenedor o canal.

Generalmente posee aplicaciones industriales, en donde se mide y controla el nivel de líquidos en tanques y recipientes para garantizar un suministro adecuado o evitar desbordamientos. Esto es común en la industria química, de petróleo y gas, alimentos y bebidas.

Un nivel se calcula con la formula:

$$H = \frac{P}{\rho * g} \quad (4)$$

Donde H es la altura del fluido, ρ es la densidad del fluido y g es la gravedad. [30]

3.4. Caudal

El caudal es la cantidad de fluido que fluye a través de una sección transversal de un conducto en un tiempo determinado. Se mide en unidades de volumen por unidad de tiempo, como metros cúbicos por segundo (m^3/s), litros por segundo (l/s) o galones por minuto (gpm).

El caudal es una medida importante en una variedad de aplicaciones, incluyendo la ingeniería, la ciencia y la vida cotidiana. Se utiliza para calcular el flujo de agua en tuberías, el flujo de aire en conductos y el flujo de combustible en motores.

Un caudal se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{V}{T} \quad (5)$$

Donde: Q (caudal), V (volumen) y t (tiempo). Normalmente se mide el volumen en litros y el tiempo en segundos.

Para medir un caudal se utilizan los siguientes métodos:

- Método volumétrico: es un método para medir el caudal de agua en arroyos muy pequeños, es la medición directa del tiempo que se tarda en llenar un recipiente de volumen conocido.
- Método velocidad/superficie: este método depende de la medición de la velocidad media de la corriente y del área de la sección transversal del canal. Una forma sencilla de calcular la velocidad consiste en medir el tiempo que tarda un objeto flotante en recorrer, corriente abajo, una distancia conocida.[28]

3.5. CFD

La dinámica de fluidos computacional CFD por sus siglas en inglés, es una rama de la mecánica de fluidos centrada en el estudio y la simulación numérica de los comportamientos complejos de los fluidos, ya sean gases o líquidos, utilizando técnicas computacionales avanzadas. Esta rama se basa en la aplicación de principios matemáticos y físicos, en particular las ecuaciones de Bernoulli y otras ecuaciones relacionadas con la dinámica de fluidos, para modelar y predecir el flujo y la interacción de los fluidos en sistemas y geometrías específicas.

La CFD radica en la discretización del dominio espacial en una malla tridimensional, donde se resuelven numéricamente las ecuaciones fundamentales que describen la conservación de la masa, la cantidad de movimiento y la energía en un flujo. Estas simulaciones permiten obtener información detallada sobre la velocidad, la presión, la temperatura y otras propiedades del fluido en diferentes puntos del dominio, lo que facilita el análisis de fenómenos complejos como la turbulencia, la transferencia de calor y la interacción fluido-estructura.

La CFD posee una gran cantidad de aplicaciones en varias ramas como puede ser:

- Aerodinámica: Diseño de aviones, automóviles, barcos y otros vehículos.
- Ingeniería mecánica: Diseño de turbinas, compresores, bombas y otros equipos.
- Ingeniería química: Diseño de reactores, plantas de procesamiento y otros procesos químicos.
- Ingeniería ambiental: Modelado de la contaminación del aire y del agua.
- Ingeniería médica: Estudio del flujo sanguíneo y de otros fluidos biológicos.
- Ingeniería electrónica: Es usado en el diseño de sistemas de refrigeración puesto que los componentes electrónicos deben estar a cierta temperatura para garantizar un óptimo funcionamiento, gracias a la CFD se puede moldear y analizar el flujo del líquido refrigerante dentro del dispositivo. [29]

3.6. ANSYS

En el presente trabajo se hace uso del simulador ANSYS, producto estrella de la empresa líder en softwares de simulación del mismo nombre, el cual ofrece una amplia gama de herramientas que permiten la simulación de varios problemas de ingeniería, entre ellos la CFD a través del paquete ANSYS Fluent, para el presente proyecto se hace uso de la edición estudiantil de ANSYS, la cual posee un "Workbench" bastante amplio incluyendo el ya mencionado Fluent.

ANSYS se ha convertido en una herramienta esencial en la ingeniería y en la investigación, ya que permite a los ingenieros realizar análisis detallados y simulaciones precisas para comprender mejor el comportamiento de sistemas complejos antes de llevarlos a la realidad.

El software es utilizado en una amplia variedad de industrias, incluyendo automotriz, aeroespacial, energética, manufacturera, química, procesos, entre otras. Se utiliza para optimizar diseños, mejorar la eficiencia, predecir el comportamiento de

sistemas, reducir costos y resolver problemas complejos relacionados con el flujo de fluidos.

ANSYS Fluent es especialmente útil cuando estás trabajando con simulaciones de dinámica de fluidos y necesitas herramientas especializadas para ese propósito. Mientras que MATLAB es de uso más general, esto debido a su versatilidad y su lenguaje de programación flexible e intuitivo para un usuario con menos experiencia en CFD, recalando que para poder realizar simulaciones de CFD se debe instalar distintos complementos y toolbox. A su vez, aunque el software SolidWorks también posee herramientas de análisis de CFD Y FEA (Análisis de Elementos Finitos) estas son menos avanzadas que las de ANSYS, puesto que estas están diseñadas para aplicaciones más simples.[15]

4. Diseño Metodológico

4.1. Fases y Metodología

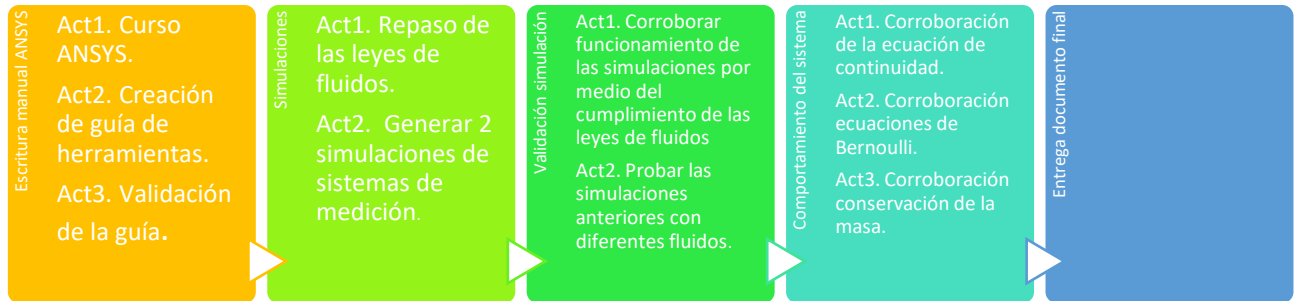


Figura 4.1.1 Diseño metodológico. Fuente: Autoría propia

En el presente proyecto se propuso una metodología en el estudio de sistemas de medición de nivel y caudal en el espacio académico de sensores y actuadores industriales. Esto se realizó a través del uso del software ANSYS, por ende, la población la cual abarca el presente proyecto son los estudiantes de ingeniería electrónica de la Universidad Santo Tomas, que están cursando el espacio académico mencionado.

En el primer paso se realizó una guía instructiva de las herramientas necesarias para simular cualquier sistema de fluidos, con el fin de realizar las mediciones de caudal y nivel. Partiendo desde el conocimiento adquirido en ANSYS a través de prácticas independientes y un curso especializado en ANSYS Fluent [17]. El objetivo de esta guía es ser clara, concisa y fácil de leer para cualquier persona, aunque esta no haya tenido algún contacto previo con el software.

En el segundo paso se desempeñaron unas simulaciones de los distintos sistemas de medición de caudal y nivel por medio del software. Se propuso concretamente realizar 2 sistemas donde cada sistema cuente con sus respectivas mediciones de nivel y caudal, cuyo fin de estas 2 simulaciones fue obtener los valores de nivel y caudal usando en primera instancia agua como fluido principal.

El tercer paso consistió en la validación de ambos sistemas de medición con agua como fluido principal, corroborando las leyes de los fluidos (continuidad, Bernoulli y conservación de la masa).

En el cuarto paso ya con las simulaciones corroboradas, se procedieron a efectuar cambios en las simulaciones, estos cambios fueron únicamente de los fluidos a

medir en el sistema, ya que el propósito del presente trabajo es realizar simulación de sistemas de medición de nivel y caudal con diferentes fluidos.

4.2. Cronograma

Actividad	MAYO				JUNIO				JULIO				AGOSTO				SEPTIEMBRE				OCTUBRE			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Escritura manual ANSYS																								
Act1. Curso ANSYS.																								
Act2. Creación de guía de herramientas.																								
Act3. Validación de la guía.																								
Simulaciones																								
Act1. Repaso de las leyes de fluidos.																								
Act2. Generar 2 simulaciones de sistemas de medición.																								
Validación simulación																								
Act1. Corroborar funcionamiento de las simulaciones por medio del cumplimiento de las leyes de fluidos																								
Act2. Probar las simulaciones anteriores con diferentes fluidos.																								
Comportamiento del sistema																								
Act1. Corroboración de la ecuación de continuidad.																								
Act2. Corroboración ecuaciones de Bernoulli.																								
Act3. Corroboración conservación de la masa.																								
Entrega documento final																								

Figura 4.2.1 Cronograma. Fuente: Autoría propia.

En el presente trabajo se propuso este cronograma en el cual se trabajó continuamente durante 6 meses con el fin de optimizar el tiempo, aprovechando las vacaciones de mitad de año, haciendo uso de los laboratorios de hidráulica de la universidad Santo Tomas, cuando estos espacios no sean tan solicitados. Semanalmente se trabajó durante 14 horas como está estipulado en la sección presupuesto, a su vez se garantizó una hora de trabajo por las reuniones realizadas una vez por semana con el director.

5. Desarrollo Conceptual

5.1. Escritura manual ANSYS

5.1.1. Curso ANSYS

Para el desarrollo del presente proyecto de grado fue necesario conocer el alcance y las herramientas que brinda el software ANSYS, por ende, el primer paso fue realizar un curso el cual capacito a los autores acerca de las temáticas previamente estipuladas, este curso lo brindo la página edX.org el cual es la plataforma de aprendizaje en línea de la empresa de educación digital líder en el mundo 2U, Inc., esta página ofrece un curso básico en ingles acerca de ANSYS llamado “A Hands-on Introduction to Engineering Simulations”[17] del cual consta en un enfoque común para dos técnicas de solución populares: FEA o análisis de elementos finitos y CFD o dinámica de fluidos computacional.

El primer, segundo y tercer módulo de este curso fue sobre FEA, donde se habló sobre que se encontraba debajo de la caja negra, lo que hace referencia a las especificaciones y modelo matemático que quiere el usuario simular en el software donde se debe verificar el ingreso de las entradas principales para su simulación que son: geometría, malla, condiciones de contorno o borde, propiedades de material y verificación del modelo matemático del sistema. También se explicó sobre que es el análisis de elementos finitos y luego explicó cómo hacer el modelado de productos y/o sistemas en ANSYS Student, con el objetivo de encontrar y resolver posibles problemas estructurales o de rendimiento. Después se especifico acerca del FEA y sus usos en varias áreas de la ingeniería resaltando su uso en la mecánica de solidos con sus ecuaciones de equilibrio, Ley de Hooke y relaciones de ceñido o desplazamiento con unos ejemplos en el software con el engranaje de una bicicleta y una funda de boquilla atornillada.

El cuarto, quinto y sexto modulo se centran en la temática de CFD, iniciando con definiciones importantes para el avance del curso como dinámicas de fluidos y CFD, posteriormente se realizan ejemplos para entender los conceptos dados, iniciando con “laminar pipe flow”, y el módulo 4 cierra con “laminar channel flow”, estos ejemplos se desarrollan de manera teórica.

En el quinto modulo se realizan simulaciones en ANSYS Fluent acerca de “turbulent air flow”, planteando el problema y por medio de los videos del curso explicando el paso a paso de la simulación en el software.

En el sexto y último modulo se explican problemas de CFD+FEA, proponiendo un ejercicio de “wind turbine blade”, en donde se dividió el problema en 4 puntos explicación con CFD, la realización de la simulación, y finalmente se explica el problema con FEA y también se desarrolla la simulación con FEA, con sus respectivas preguntas teóricas.

5.1.2. Creación guía de herramientas

Con el conocimiento adquirido en el curso fue posible desarrollar una guía de herramientas del software la cual sea útil, fácil e intuitiva de leer con el fin de ser provisto a los estudiantes del espacio académico de sensores y actuadores [3].

La guía fue dividida en 5 capítulos, para un mejor entendimiento de esta se procede a realizar una explicación de cada uno de los capítulos.

- El primer capítulo es una introducción a la guía de herramientas definiendo el objetivo de esta.
- El segundo capítulo consta de la definición del software ANSYS Fluent.
- El tercer capítulo se compone de los requisitos mínimos para que el software pueda ser ejecutado en una computadora, así como su enlace de descarga y una breve explicación acerca de las actualizaciones que realiza ANSYS INC. Por otra parte, en la guía de herramientas se deja en claro la última versión empleada en su elaboración.
- El cuarto capítulo es el desarrollo per se de la guía de herramientas haciendo uso una de las leyes de los fluidos siendo en este caso una simulación 2D acerca de la comprobación de la ecuación de Bernoulli, realizando énfasis en los aspectos más importantes sobre la creación de una simulación desde cero en ANSYS, ya que en este software es posible importar geometrías y mallas para un proyecto, pero es importante que los estudiantes y cualquier persona que lea la guía de herramientas entienda el funcionamiento y la creación de mallas y geometrías para comprender como ANSYS soluciona las ecuaciones provistas y por si en un dado caso en alguna simulación deban crear su propia geometría, a continuación se mencionan los pasos a seguir:
 - a) El primer paso es seleccionar el análisis correcto para la simulación en este caso es Fluid Flow (Fluent).
 - b) Seguidamente se empieza a detallar la creación de una nueva geometría desde cero, estructurando la forma de la simulación.
 - c) Finalizada la geometría se procede a realizar la malla la cual es la encargada que el software de análisis pueda resolver las ecuaciones físicas que describen el comportamiento del sistema. Esta también es creada desde cero, y para decir que la malla está completa, se debe pasar por las dos etapas en la creación de la malla (malla inestructurada y malla estructurada), efectuando divisiones en la estructura y otorgándole valores a las dimensiones de esta.
 - d) Posteriormente se realiza la configuración de la simulación realizando los cálculos de la malla desde la aplicación de ANSYS Fluent en donde también se configura la gravedad, la viscosidad y la selección del fluido de entrada y se configuran las variables las cuales se desean visualizar, en este caso las variables fueron la velocidad y la presión del agua en estado líquido, también se configura la animación de la solución para

poder visualizar la solución propuesta finalizando con un mensaje sobre las ecuaciones solucionadas las cuales deben converger.

- e) El cuarto capítulo finaliza con la presentación de los resultados obtenidos visualizando la variación de presión a través del tubo o la variación de velocidad a través del tubo [31].
- El quinto capítulo se estipula un ejercicio que los estudiantes pueden realizar para un mayor entendimiento acerca del uso de ANSYS.

5.1.3. Validación de la guía

Para el presente proyecto de grado se propuso el método de validación por juicio de expertos para determinar la calidad y confiabilidad de la guía presentada.

La validación por expertos es un método de evaluación que consiste en solicitar a expertos en un tema que evalúen la calidad de un producto, en este caso una guía de herramientas. Los expertos suelen ser seleccionados por su experiencia y conocimiento en el campo. El objetivo de esta validación por expertos es determinar si la guía de herramientas es válida, es decir, si cumple el objetivo de esta el cual es ser facilitada a los estudiantes de sensores y actuadores, para que estos puedan replicar la simulación establecida en la guía en ANSYS. La validación por juicio de expertos es útil para garantizar que la guía sea completa, precisa y fácil de usar en especial para estudiantes. Los expertos proporcionar comentarios sobre el contenido de la guía, el formato y la redacción. Estos comentarios ayudan a mejorar la calidad de la guía y hacerla más útil para los usuarios.

Para el presente proyecto de grado se solicitó una validación por parte de unos expertos a los cuales se les facilitó un documento de Google Forms con ciertos parámetros para evitar una subjetividad con respecto a la guía de herramientas, estos parámetros son:

- La guía entendible para estudiantes: La guía está enfocada en los estudiantes de sensores y actuadores, por ende, esta debe ser fácil e intuitiva para el uso estudiantil.
- La guía es fiable: Se refiere a la capacidad de la guía para obtener resultados consistentes, en donde se evalúa el contenido de la guía.
- Buen manejo de tema: En este punto se examina el conocimiento de los autores con respecto a una simulación en ANSYS, y conceptos básicos fundamentales del software.
- La guía es completa: Se refiere a la capacidad de la guía para cubrir todos los aspectos relevantes del tema que trata.

- Cumplimiento de requisitos específicos: Se valida específicamente el propósito de la guía y si se presentan los resultados correctos con respecto a la problemática planteada, en este caso corroboración ecuación Bernoulli.

5.2. Simulaciones

5.2.1. Repaso leyes de los fluidos

Para realizar el repaso de las leyes de fluidos primero se decidió que el mejor formato para presentar el repaso es la entrega de un documento con la información dividida tipo apuntes de cuaderno, en donde se relatan los aspectos más importantes de la temática de fluidos

- En primer lugar, se definió que es un fluido: “Un fluido es cualquier tipo de materia compuesta por un conjunto de moléculas los cuales se atraen por una débil fuerza de atracción”. Se estableció que los líquidos y gases son fluidos, aunque en el presente proyecto de grado únicamente se utilizó los fluidos líquidos, principalmente el agua. Las definiciones fueron tomadas de apuntes universitarios los cuales están referenciados en el propio repaso.
- Seguidamente se hizo un repaso por cada ley de fluido y para un mayor entendimiento del concepto se plantearon 2 ejemplos resueltos, para las leyes de Bernoulli y continuidad, los ejemplos fueron diseñados por los autores.
- Se inicio con la definición de la ley de continuidad (Fórmula 3) y se estableció un ejemplo de una tubería por la cual fluye agua y esta misma se ensancha en el problema se brindan los valores de velocidad en la sección estrecha de la tubería y presión en ambas partes de la tubería, por ende, se solicita calcular la velocidad en el tramo ancho de la tubería.
- Se continuo con la definición de la ecuación de Bernoulli (Fórmula 2), igualmente se estableció un ejemplo de una tubería que se estrecha en cierto tramo, en esta tubería la altura es la misma, y el fluido trabajado es la gasolina, en el tramo ancho se brindan los datos de la presión, velocidad y densidad de la gasolina, en el tramo estrecho se suministra la velocidad y densidad de la gasolina y se solicita calcular la presión en este tramo, en este ejemplo la altura al ser la misma a la hora de realizar el despeje se cancela la variable de la altura, a su vez esta variable multiplica la densidad de la gasolina y por la gravedad.
- Finalmente se define la ley de conservación de la masa (Fórmula 1), como esta ley es tan sencilla y solo estipula que la masa del fluido entrante es equivalente a la masa del fluido saliente, no existen ejercicios acerca de esta ley, por ende, en esta sección del repaso únicamente se define esta ley. Con esta última definición finaliza el documento correspondiente al repaso de leyes de fluidos.

5.2.2. Generar 2 simulaciones de sistemas de medición

En primer lugar, es necesario realizar una comparativa de diferencias entre los sistemas reales y los simulados en ANSYS.

Diferencias	
ANSYS	Sistema real
Las simulaciones pueden realizar simplificaciones para hacer que el modelo sea mas sencillo de modelar.	Los sistemas del mundo real son inherentemente complejos y pueden involucrar factores que son difíciles de modelar de manera precisa.
la precisión numérica está limitada por factores como la discretización del modelo y los algoritmos numéricos utilizados.	Los sistemas reales están sujetos a una variedad de factores que pueden afectar la precisión de las mediciones.
La simulación puede tener limitaciones en la representación de cambios dinámicos rápidos o eventos no lineales.	Los sistemas reales pueden experimentar eventos inesperados o cambios rápidos que son difíciles de prever y modelar con precisión.

Tabla 5.2.2.1. Diferencias sistema simulado y sistema real. Fuente: Autoría propia.

Posteriormente se realiza una comparativa en esta ocasión con las similitudes.

Similitudes	
ANSYS	Sistema real
La simulación en ANSYS puede analizar la sensibilidad del sistema a cambios en diversos parámetros.	Los experimentos en el mundo real también pueden revelar cómo responde el sistema a diferentes condiciones.
La simulación y el sistema real, siguen las leyes de la dinámica de fluidos.	
Si el modelo se configura y calibra correctamente, puede representar el comportamiento básico de un sistema en términos de caudal y nivel.	

Tabla 5.2.2.2. Similitudes sistema simulado y sistema real. Fuente: Autoría propia.

Para tener una mayor claridad acerca de la información de las tablas se realizó una comparativa entre una planta de efecto Venturi encontrada en los laboratorios de la universidad Santo Tomas, la cual en el anexo C se pueden encontrar los resultados de caudal, nivel y presión de los 11 tubos que posee esta planta. Esta misma planta fue modelada en 2D en ANSYS Fluent, se optó por el modelado en 2D porque este puede ser útil para ciertas aplicaciones, especialmente cuando se busca una solución más rápida y menos intensiva en recursos. De esta simulación se rescata que:

- En el sistema de la planta de Venturi encontrada en los laboratorios de la universidad, se abre el paso por medio de una llave, mientras que en ANSYS se debe poner una velocidad inicial en la sección de entrada esta se estipulo por un valor 0.5.

- Se asume que la geometría y las propiedades del material son constantes a lo largo del eje Z el cual está fuera del plano. Esto puede llevar a simplificaciones y no representar con precisión ciertos comportamientos físicos.
- En 2D, las condiciones de contorno pueden ser más fáciles de aplicar, pero ciertos efectos tridimensionales pueden no ser capturados con precisión. Por ejemplo, en estructuras con geometrías complejas.
- El modelado en 2D implica mallas bidimensionales, lo que reduce la complejidad de la malla en comparación con un modelo 3D equivalente. Esto puede afectar la precisión de los resultados, especialmente en áreas donde se espera un comportamiento tridimensional, como en el caso de la planta de la universidad donde se espera un diámetro y un área 3D.

La planta para modelar fue la siguiente:

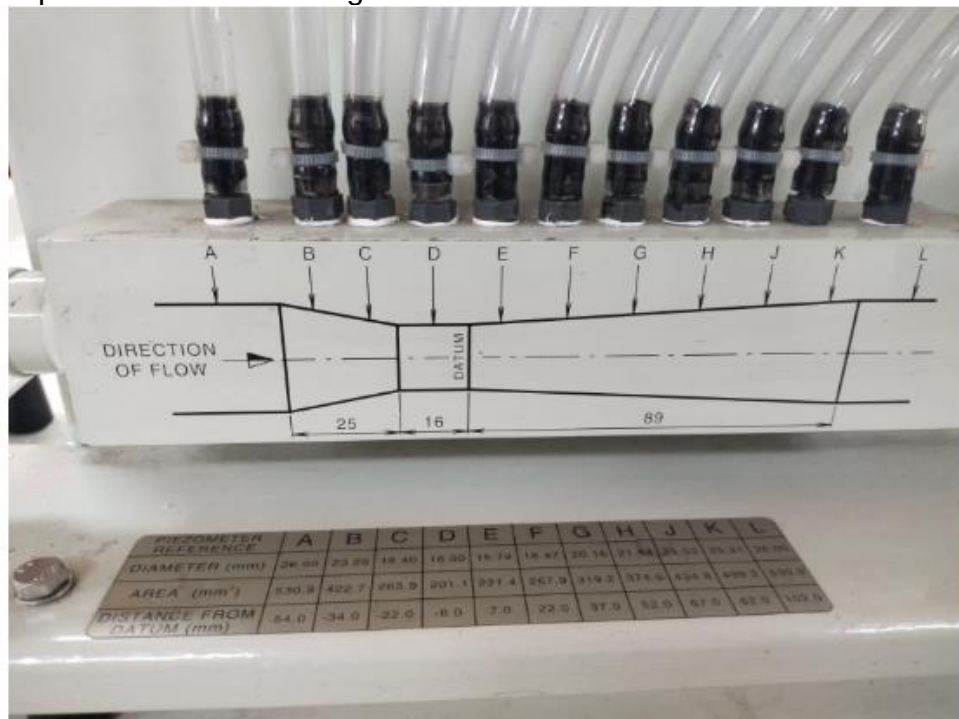


Figura 5.2.1 Planta Venturi. Fuente: Autoría propia.

El resultado de dicha planta en ANSYS Fluent fue el siguiente:

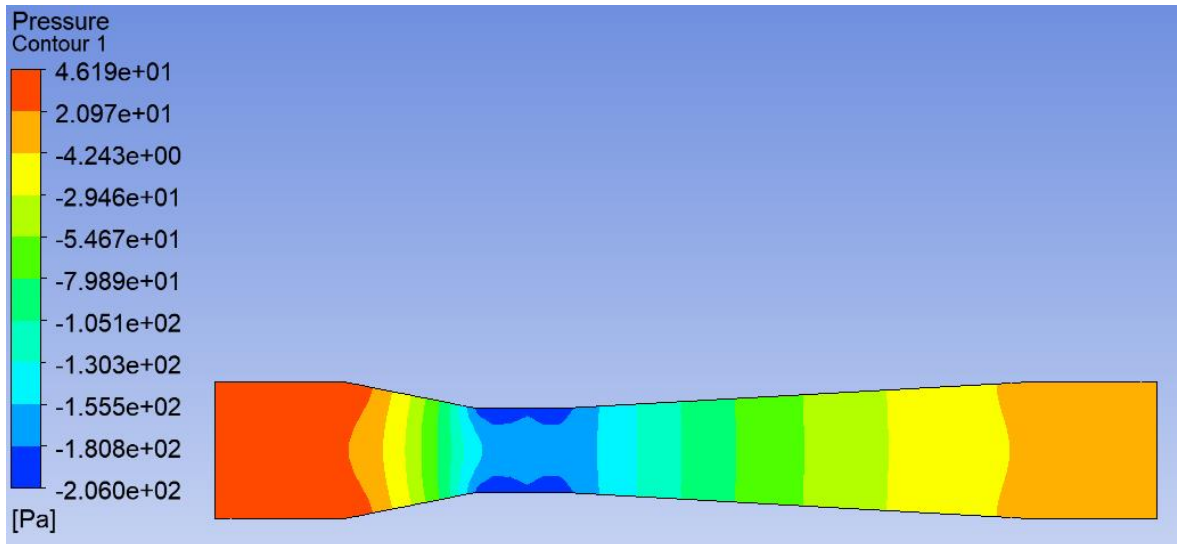


Figura 5.2.2 Planta Venturi en ANSYS. Fuente: Autoría propia.

Se alcanza a visualizar los valores de presión en la simulación correspondientes a los tubos enumerados desde la letra A hasta la letra L. Posteriormente se realizó un reporte de volumen correspondiente a la simulación en 14 segundos con el fin de hallar el caudal.

Calculation complete.

Volume	[m^3]
surface_body	0.00395

Figura 5.2.3 Reporte de volumen. Fuente: Autoría propia.

Simulación 1

Como primera simulación se realizó un manómetro en 2D por medio de ANSYS, esta simulación se diseñó desde cero ya que no se encontró ninguna geometría la cual pudiera ser importada para la recreación del manómetro en 2D, la simulación se llevó a cabo a través del sistema de análisis "Fluid Flow (Fluent)", en donde se hizo un cambio de propiedades con el fin que el software analizara todo el sistema en 2D.

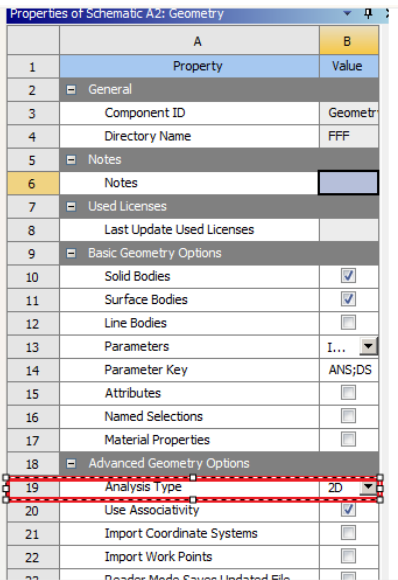


Figura 5.2.4 Cambio tipo análisis 2D. Fuente: Autoría propia.

Con los ajustes preliminares finalizados se procede a iniciar con la construcción de la simulación, el primer paso es diseñar una geometría desde cero.

- Se abre el apartado “Design modeler” desde la geometría, para posteriormente seleccionar el plano XY y finalmente se cambian las unidades de metros a milímetros.
- En el eje X negativo y en el eje Y positivo se realiza un dibujo de un triángulo rectángulo por medio de la herramienta “Sketching” y seleccionando la opción “Line”, también se administran las dimensiones para los catetos, el cateto vertical será nombrado “V1” y el cateto horizontal “H”, M las cuales fueron de 350 mm y 150 mm respectivamente.

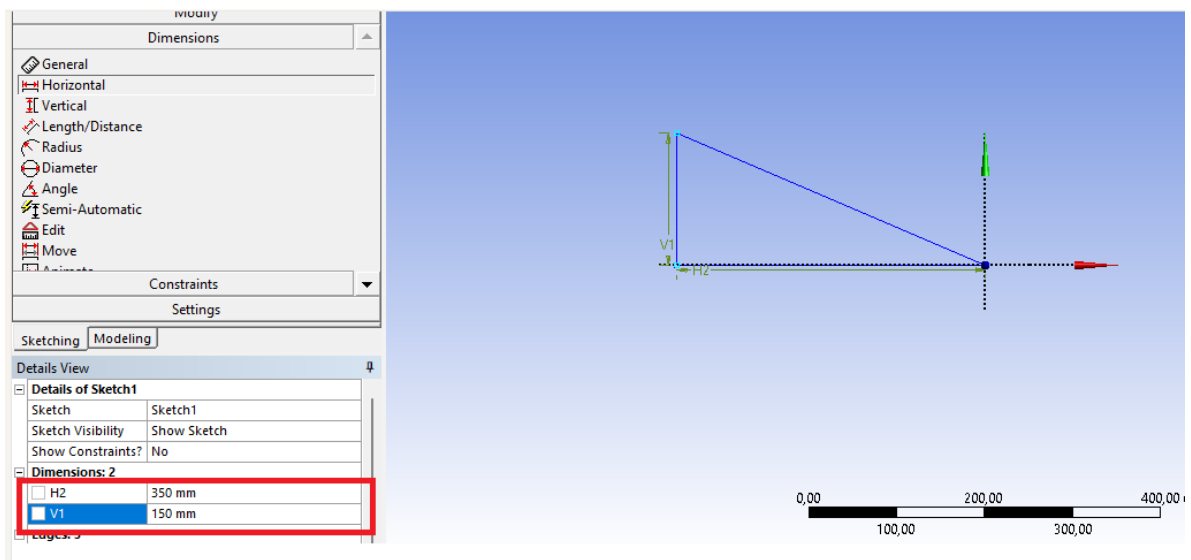


Figura 5.2.5 Dimensiones triángulo rectángulo. Fuente: Autoría propia.

- Se dibuja un rectángulo el cual forme un mini triángulo rectángulo y ocupe una porción del eje X positivo, se toman nuevamente las dimensiones y el lado vertical es llamado “V3” y el lado horizontal “H4”, sus medidas son 25 mm y 100 mm respectivamente.

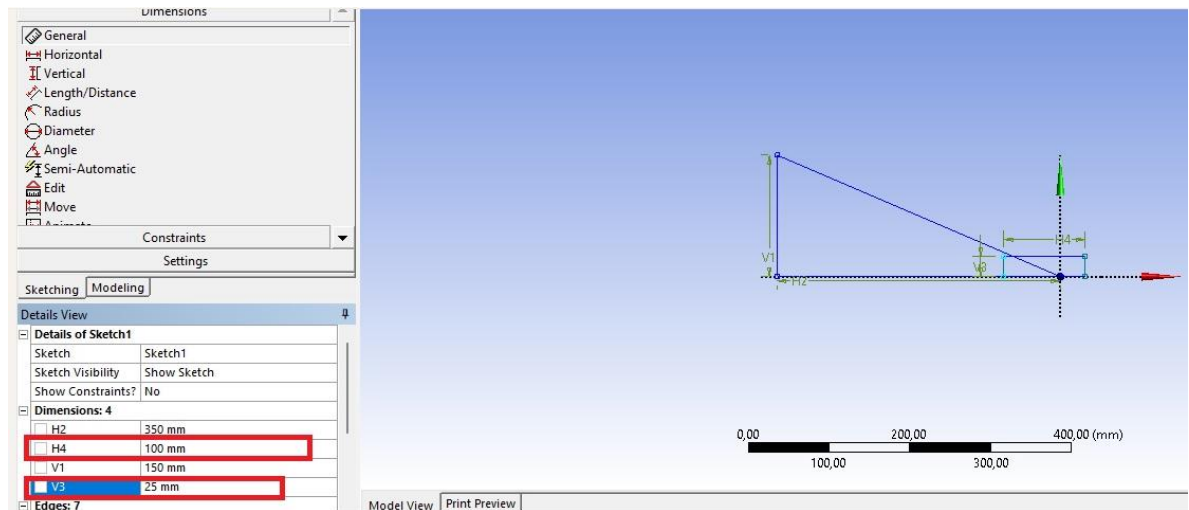


Figura 5.2.6 Dimensiones rectángulo. Fuente: Autoría propia.

- Seguidamente se eliminaron las partes excedentes para unir el triángulo y el rectángulo, por medio de la herramienta “Trim”, para posteriormente dibujar una línea en diagonal apuntando al eje X e Y positivo, cuya dimensión A6 tendrá un valor de 165° esto se realiza mediante la herramienta “Angle”, se termina de dibujar un triángulo rectángulo en el eje X positivo para finalmente, eliminar el excedente uniendo este nuevo triángulo con la figura original.

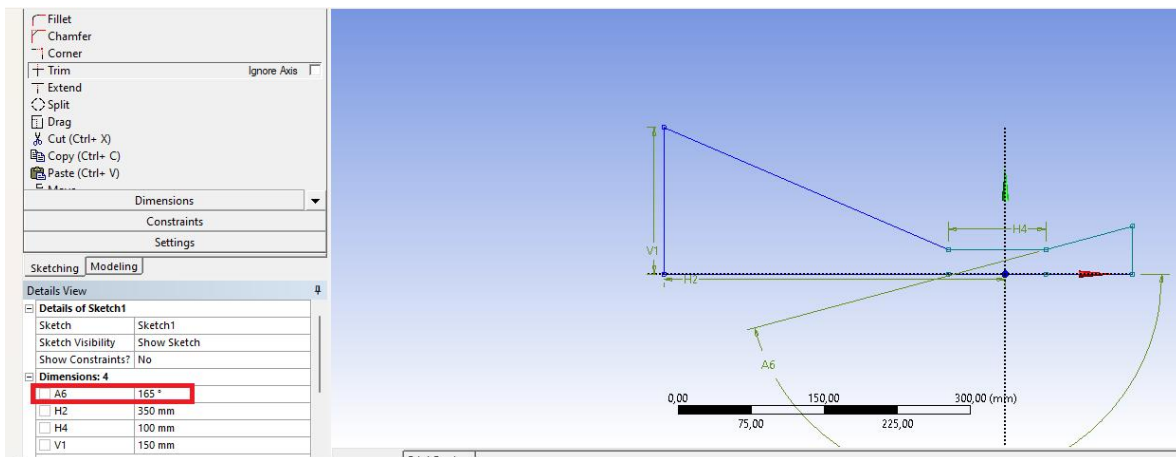


Figura 5.2.7 Dimensiones A6 y figura resultante. Fuente: Autoría propia.

- Ahora se busca la opción “Surface from Sketches”, se selecciona la opción “Sketch1” se hace clic en la opción “Apply” y finalmente se genera esta

superficie, al generarse esta rellena la figura resultante llamada "Sketch1", al continuando por medio de la opción "Mirror", se duplica Sketch1 y se genera la figura.

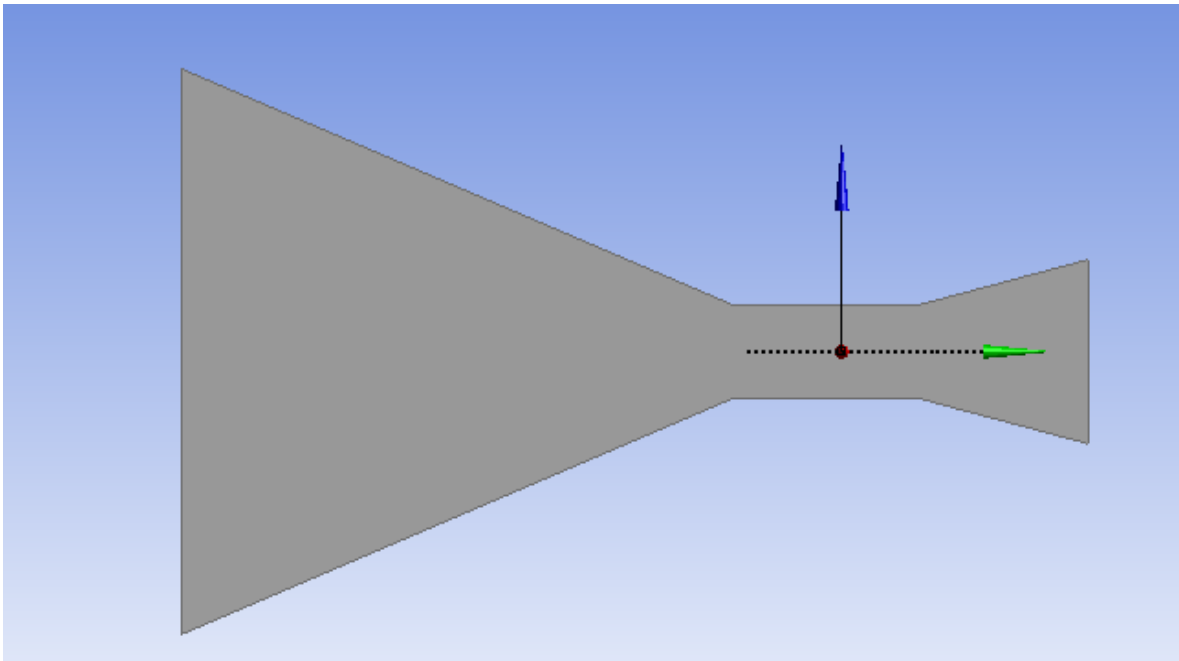


Figura 5.2.8 Figura resultante. Fuente: Autoría propia.

- Posteriormente se crea un nuevo Sketch llamado "Sketch 3" y se dibujan dos rectángulos en el mismo, ambos rectángulos deben iniciar sobre el eje X, y deben tener las mismas dimensiones de altura y anchura las cuales son de 350 mm y 10 mm respectivamente, la separación entre ambos debe ser de 180 mm.
- Para unir los rectángulos se dibujaron dos círculos, uno encerrando al otro, el círculo más grande posee un diámetro de 200mm y el círculo pequeño posee un diámetro de 180mm, el círculo pequeño tiene de separación con el eje X 350mm. Finalmente se eliminan las partes sobrantes de los círculos.
- Se selecciona la opción "Surface from sketches" y posteriormente la figura creada, para finalmente generar la figura, con la figura generada se finaliza la creación de la geometría.

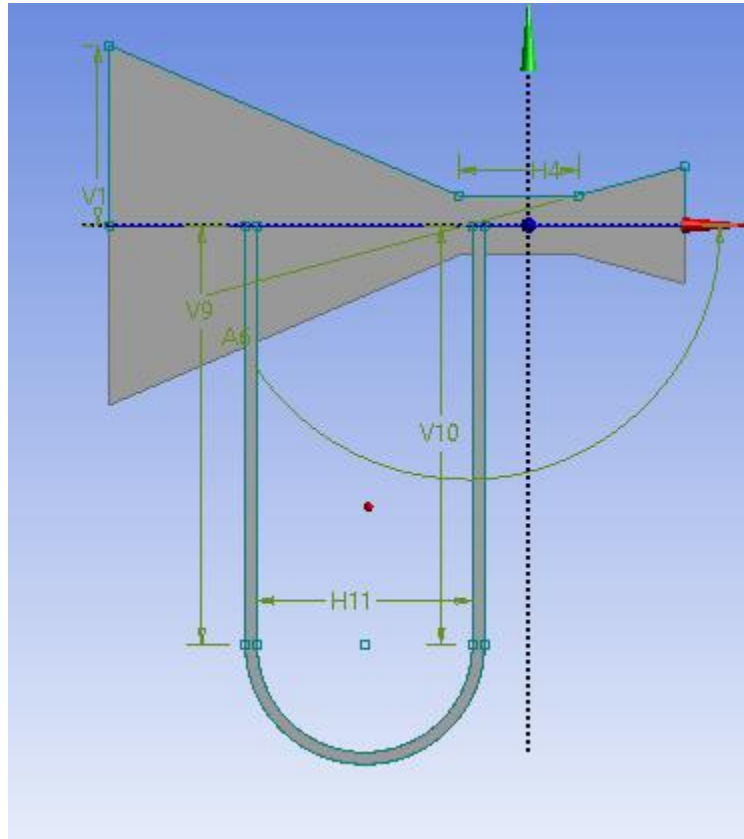


Figura 5.2.9 Geometría final. Fuente: Autoría propia.

- Iniciando con la creación de la malla, se inserta un nuevo método, se selecciona la figura y en la opción "Method" se opta por la opción "Triangles" y se busca el apartado "Generate mesh", con esto se genera la malla inestructurada.

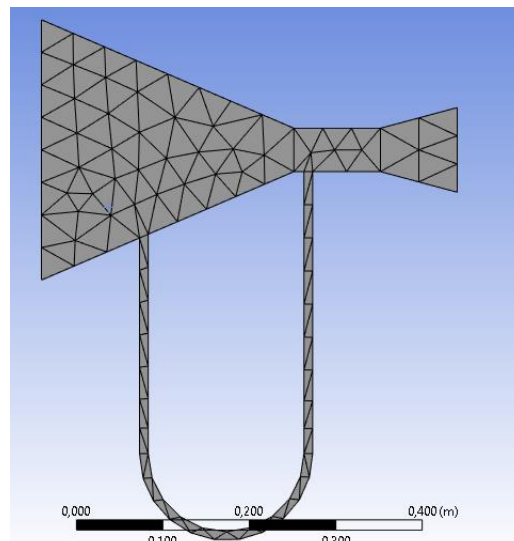


Figura 5.2.10 Malla inestructurada. Fuente: Autoría propia.

- Por medio de la herramienta “Edge Sizing” se modifica el número de dimensiones a 200 de la tubería y se cambia el comportamiento a “Hard”.
- Se realiza lo mismo con el tubo delgado en donde el número de dimensiones varia a 100 y el comportamiento sigue siendo “Hard”, posteriormente se generan ambas mallas.

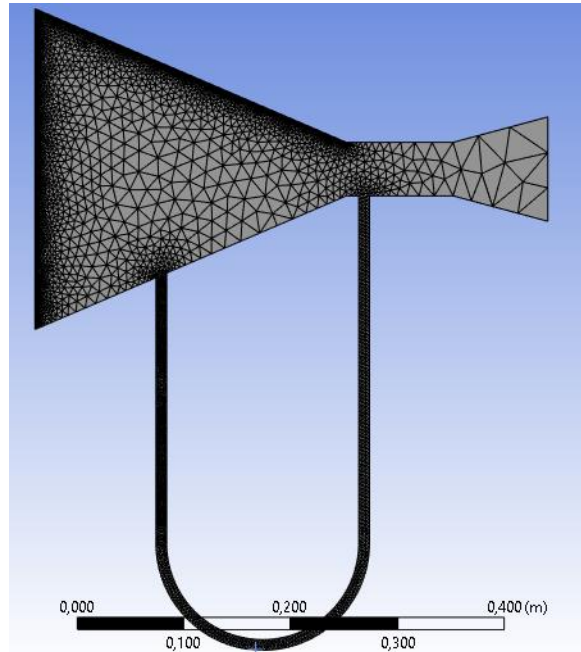


Figura 5.2.11 Malla generada. Fuente: Autoría propia.

- El mismo procedimiento es seguido para las partes que todavía no han sido ajustadas, y en el menú “Sizing” de toda la malla se activa la opción “Use adaptive sizing”, con esta activa se procede a generar la malla.

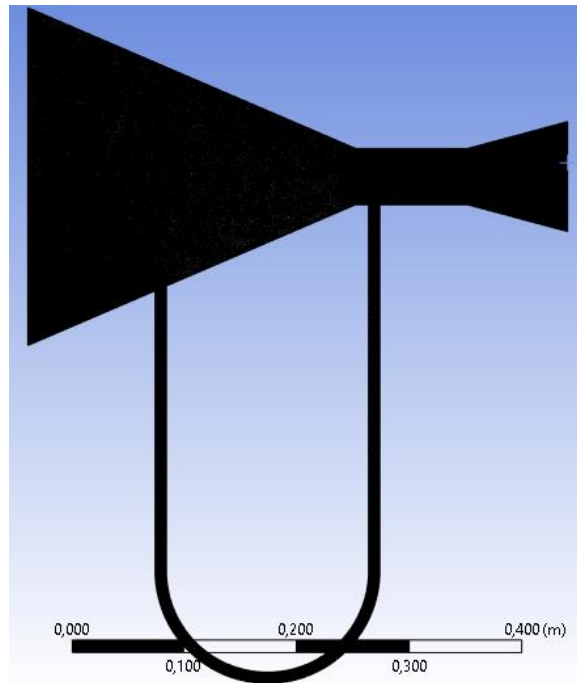


Figura 5.2.12 Malla final. Fuente: Autoría propia.

- Ahora se nombra la sección izquierda y derecha como “entrada-inlet” y “salida-outlet” respectivamente, con estas secciones de la malla nombradas se procede con la opción “Update mesh”.
- Se configura el “Setup” de la simulación desde ANSYS Fluent, inicialmente se varía el tiempo a transitorio y se activa la gravedad.
- En el menú Models, la opción “Multiphase” se desactiva.
- En viscosidad se cambia a “k-epsilon (2eqn)”.
- Con todos estos cambios realizados se procede a importar de fluido agua en estado líquido desde la biblioteca “Fluent database materials”.
- En el menú de inicialización se configura que se compute la solución desde “entrada-inlet” y se inicializa.
- Para poder visualizar el comportamiento de las variables (presión y velocidad), se crean 2 animaciones, una para cada variable.
- Finalmente se calcula la solución variando el número de iteraciones a 300.

SIMULACIÓN 2

Como segunda simulación se planteó el diseño de una boquilla en 2D con geometría creada desde cero.

- Se abre el apartado “Design modeler” desde la geometría, para posteriormente seleccionar el plano XY y finalmente se cambian las unidades de metros a milímetros.
- Se realiza el dibujo de la boquilla por medio de la herramienta “Sketching”, además se ajustan las dimensiones de este para dar con los parámetros exactos

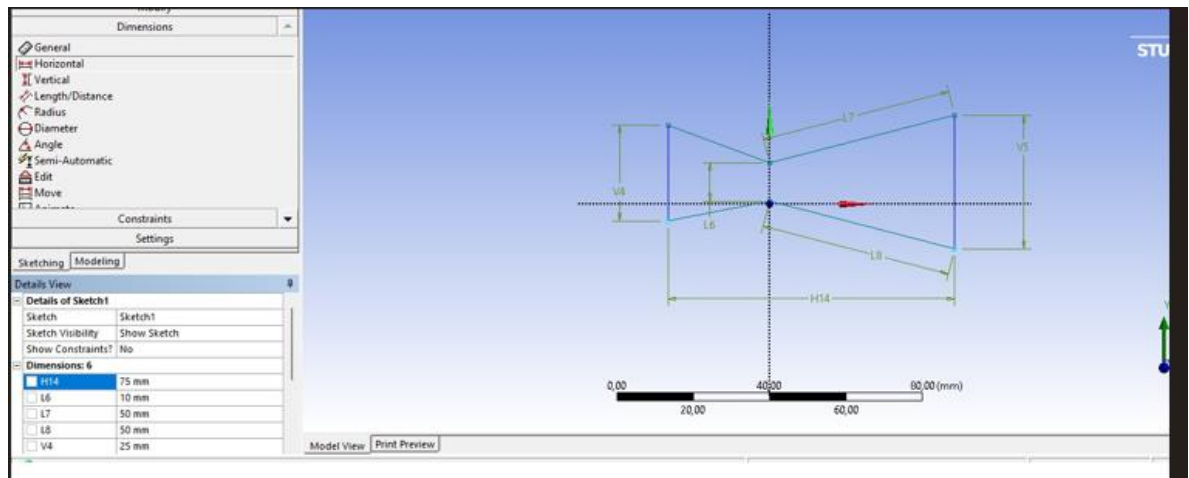


Figura 5.2.13 Dibujo sistema. Fuente: Autoría propia.

- Ahora se busca la opción “Surface from Sketches”, se selecciona la opción “Sketch1” se hace clic en la opción “Apply” y finalmente se genera esta superficie, al generarse esta rellena la figura resultante llamada “Sketch1”.

5.3. Validación de la simulación

La validación de las dos simulaciones presentadas es por medio de la corroboración del cumplimiento de las leyes de fluidos en estos sistemas, si estas leyes se cumplen ya es posible decir que se tiene un sistema de fluido.

5.3.1. Corroborar funcionamiento de las simulaciones por medio del cumplimiento de las leyes de fluidos

En el presente apartado se comprueban las tres leyes de los fluidos: Ecuación de continuidad, ecuación de Bernoulli y conservación de la masa. Estas leyes serán comprobadas de manera teórica y también de manera experimental con las herramientas provistas por ANSYS en el caso de Bernoulli por medio de la observación de los resultados de presión y velocidad en el sistema.

Con la ecuación de continuidad es corroborada únicamente de manera experimental con las herramientas de ANSYS.

SIMULACIÓN 1

Ecuación de continuidad.

En primer lugar, para hallar el área se trabajaron ambas tuberías como trapecios ignorando el estrechamiento y la manguera de conexión.

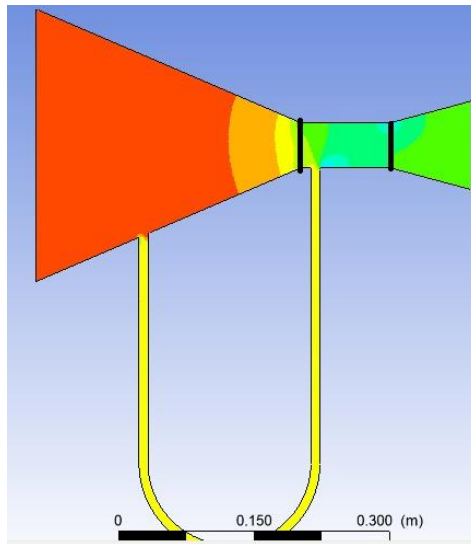


Figura 5.3.1 División de la tubería para hallar el área de ambas secciones. Fuente: Autoría propia.

Para hallar el área de ambas secciones se hace uso de la ecuación de área de un trapecio.

$$A = \frac{(B + b) * h}{2} \quad (6)$$

En donde: B es la longitud de la base mayor, b es la longitud de la base menor y h la altura.

En la sección 1 antes del estrechamiento de la tubería B tiene un valor de 300mm este valor es brindado por el valor de la dimensión V1*2, b tiene un valor de 50mm valor brindado por la dimensión V27*2 y finalmente la altura de la figura es 288.69mm este valor es tomado de la dimensión H24.

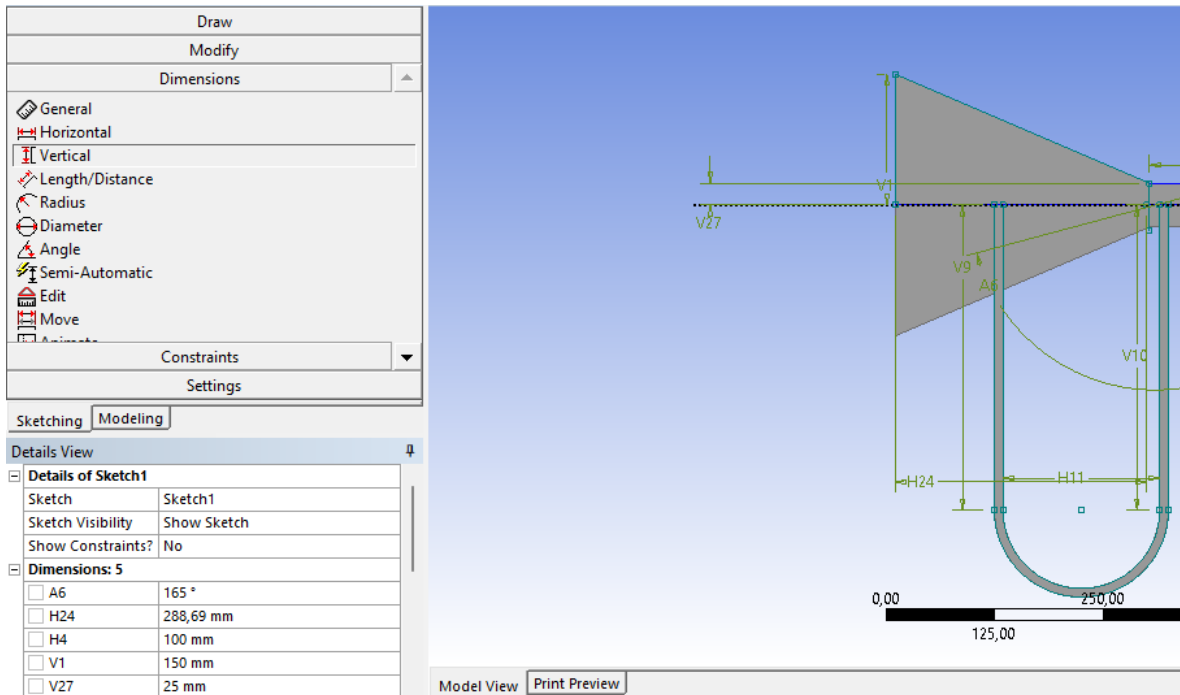


Figura 5.3.2 Valores dimensiones de la sección 1 simulación 1. Fuente: Autoría propia.

Con estos valores se procede a calcular el área de la sección 1.

$$A = \frac{(300 + 50) * 288.69}{2}$$

$$A = 20208.3 \text{ mm}^2$$

Se realiza el mismo procedimiento con la sección 2 la cual es la sección después del estrechamiento de la tubería.

El valor de B es de 72.554mm dado por la dimensión V28*2, b tiene un valor de 57.894 tomado de la dimensión V29, la altura es dada por H31 con un valor de 88.785mm

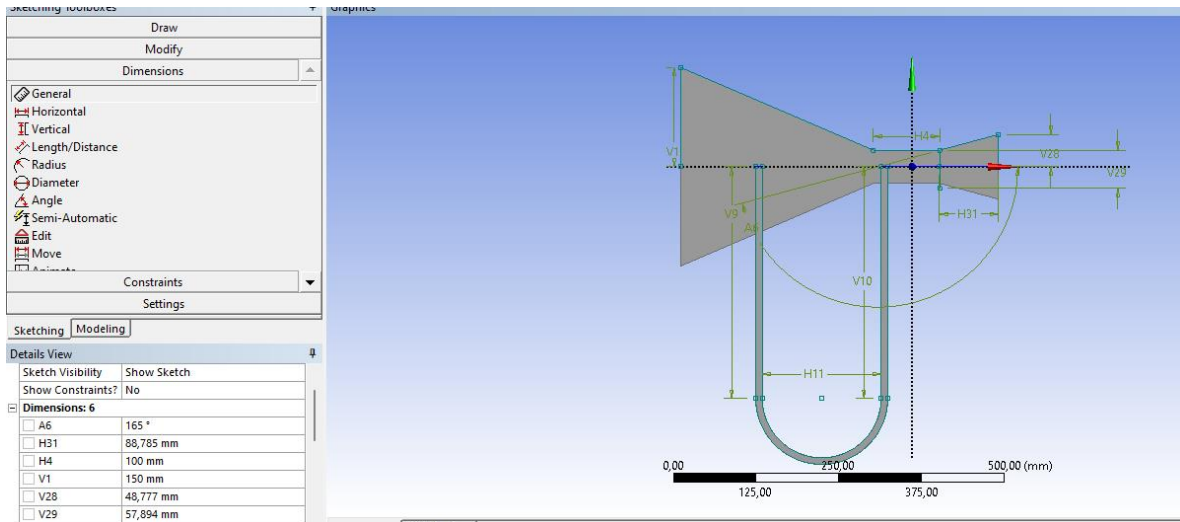


Figura 5.3.3 Valores dimensiones de la sección 2 simulación 1. Fuente: Autoría propia.

Con estos valores se procede a calcular el área de la sección 2.

$$A = \frac{(72.554 + 57.894) * 88.785}{2}$$

$$A = 5790.9128 \text{ mm}^2$$

Para los valores de velocidad de ambas secciones se realiza un promedio de las velocidades entregadas por ANSYS.

$$V = \frac{1.199e^{00} + 7.997e^{-01}}{2}$$

$$V = 0.9945 \text{ m/s}$$

Se realiza el mismo procedimiento para la sección 2, en esta sección existen una gran cantidad de valores de velocidad, así que para tomar un valor final se toman 2 valores pertenecientes al color naranja y amarillo, ya que estos son los valores que predominan y el resto de los valores son una disminución de la velocidad puesto que la tubería llega a su fin y el agua esta inmóvil.

$$V = \frac{3.598e^{00} + 3.199e^{-00}}{2}$$

$$V = 3.3985 \text{ m/s}$$

Ecuación de Bernoulli

En la simulación no existe un cambio de altura considerable por ende se supone que la altura tiene el mismo valor en ambas secciones de la tubería, cuando la altura es la misma es posible eliminar el polemonio $p * g * h$ de la ecuación de Bernoulli.

$$P1 + \frac{1}{2} \rho * v_1^2 = P2 + \frac{1}{2} \rho * v_2^2 \quad (7)$$

Para hallar los valores de presión en ambas secciones se hará uso del valor de la presión predominante en el modelo, en el presente caso en la sección 1 el valor del color naranja y en la sección 2 el valor de la presión del color verde. Finalmente, para la densidad del agua se conoce que esta posee un valor de 997 kg/m³

Conservación de la masa.

Para corroborar esta ley de fluidos se hará uso de un par de herramientas de ANSYS Fluent, la primera es la ventana de residuos donde se podrá observar una variable llamada continuidad, los residuos de continuidad deben disminuir a medida que la simulación avanza. Esto indica que la masa se conserva adecuadamente en el sistema. La segunda herramienta es un reporte de masa llamado “Flux report”, en donde se selecciona la entrada y salida del sistema y en la consola se visualiza este reporte, el cual debe ser de un valor muy pequeño casi de cero, si esta condición se cumple se corrobora la conservación de la masa.

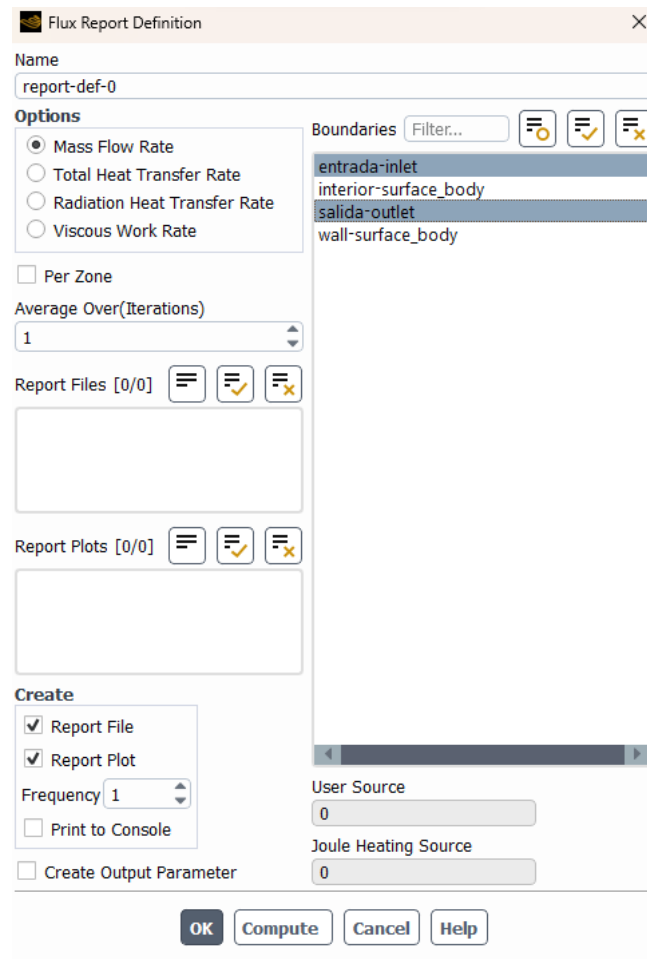


Figura 5.3.4 Configuración reporte de flujo de masa. Fuente: Autoría propia.

Simulación 2

Ecuación de continuidad

El área de la figura fue trabajada como 2 trapezios la peculiaridad de este caso es que la longitud de la base más pequeña de ambos es la misma. Esto genera un análisis en el cual existe un cambio abrupto de secciones.

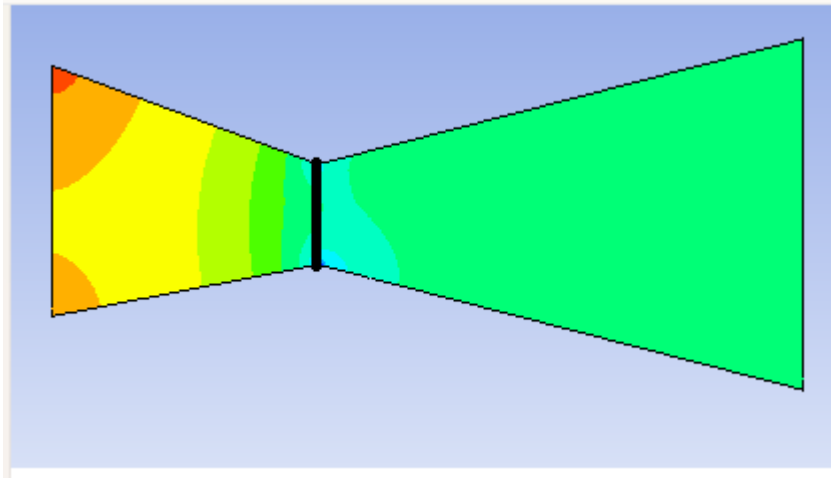


Figura 5.3.5 División de la tubería para hallar el área de ambas secciones simulación 2. Fuente: Autoría propia.

Con los valores de las dimensiones de ambas secciones se procede a calcular el valor del área de la sección 1.

$$A = \frac{(25 + 10) * 26.588}{2}$$

$$A = 465.29 \text{ mm}^2$$

Se realiza el mismo procedimiento para la sección 2.

$$A = \frac{(35 + 10) * 48.412}{2}$$

$$A = 1089.27 \text{ mm}^2$$

Ahora se debe iniciar con el cálculo de las velocidades del sistema

$$V1 = \frac{6.471e^{-01} + 8.089e^{-01} + 9.707e^{-01} + 1.132}{4}$$

$$V1 = 0.8896 \text{ m/s}$$

Se realiza el mismo procedimiento para la hallar la velocidad en la sección 2.

$$V2 = \frac{1.132 + 9.707e^{-01}}{2}$$

$$V2 = 1.051 m/s$$

Ecuación de Bernoulli.

Primeramente, se deben hallar los valores de presión en ambas secciones

$$P1 = \frac{4.237e^{02} + 2.615e^{02} + 9.937e^{01}}{3}$$

$$P1 = 261.5233 Pa$$

Como en la sección 2 existe una presión dominante entonces el valor de esta el cual corresponde a $9.937e^{01} Pa$

Conservación de la masa

Para corroborar esta ley de fluidos se sigue el procedimiento del reporte de residuos el cual debe ir reduciendo su valor lentamente a lo largo de la simulación y del reporte de flujo de masa el cual debe brindar un valor aproximado a cero.

5.3.2. Probar las simulaciones anteriores con diferentes fluidos

En ambas simulaciones se realizarán las mismas corroboraciones con dos fluidos diferentes, en ambos casos con aceite de motor y combustible Diesel. Para completar este procedimiento únicamente se importan al sistema ambos fluidos encontrados en la base de datos de ANSYS Fluent.

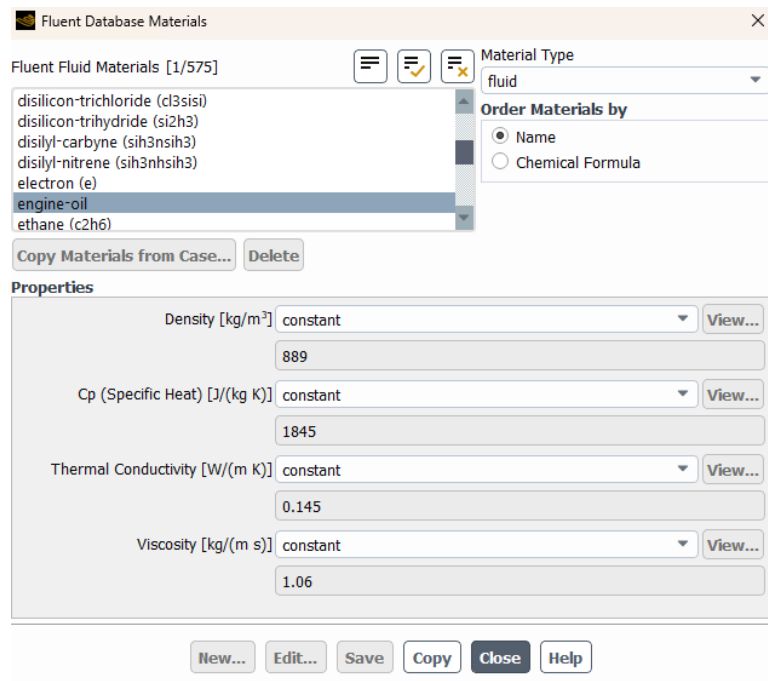


Figura 5.3.6 Importación aceite de motor. Fuente: Autoría propia.

Se hace el mismo proceso para el segundo fluido.

The screenshot shows the ANSYS Fluent material properties dialog for a fluid named 'diesel-1-fuel'. The 'Name' field contains 'diesel-1-fuel' and the 'Chemical Formula' field contains 'c13h24<|>'. The 'Material Type' is set to 'fluid'. The 'Fluent Fluid Materials' list shows 'diesel-1-fuel (c13h24<|>)' selected. The 'Mixture' is set to 'none'. On the right, the 'Order Materials by' section has 'Name' selected. Below these are buttons for 'Fluent Database...', 'GRANTA MDS Database...', and 'User-Defined Database...'. The 'Properties' section is expanded, showing the following values:

Property	Value
Density [kg/m ³]	constant 846
Cp (Specific Heat) [J/(kg K)]	constant 2193.27
Thermal Conductivity [W/(m K)]	constant 0.1157
Viscosity [kg/(m s)]	constant 0.0029

Figura 5.3.7 Importación combustible Diesel. Fuente: Autoría propia.

Como se puede evidenciar el propio ANSYS brinda la densidad de dichos fluidos.

5.4. Comportamiento del sistema

El igual que en la sección 5.3 se realiza la corroboración de los mismos sistemas mediante el cumplimiento de las leyes de los fluidos, en la presente sección se realiza dicha comprobación cambiando el agua del sistema como fluido principal, primero con aceite de motor y luego con combustible Diesel.

5.4.1. Corroboración de la ecuación de continuidad.

Simulación 1 Aceite de motor

Para esta primera comprobación se verifican los resultados correspondientes a la variable de velocidad en la simulación con aceite de motor.

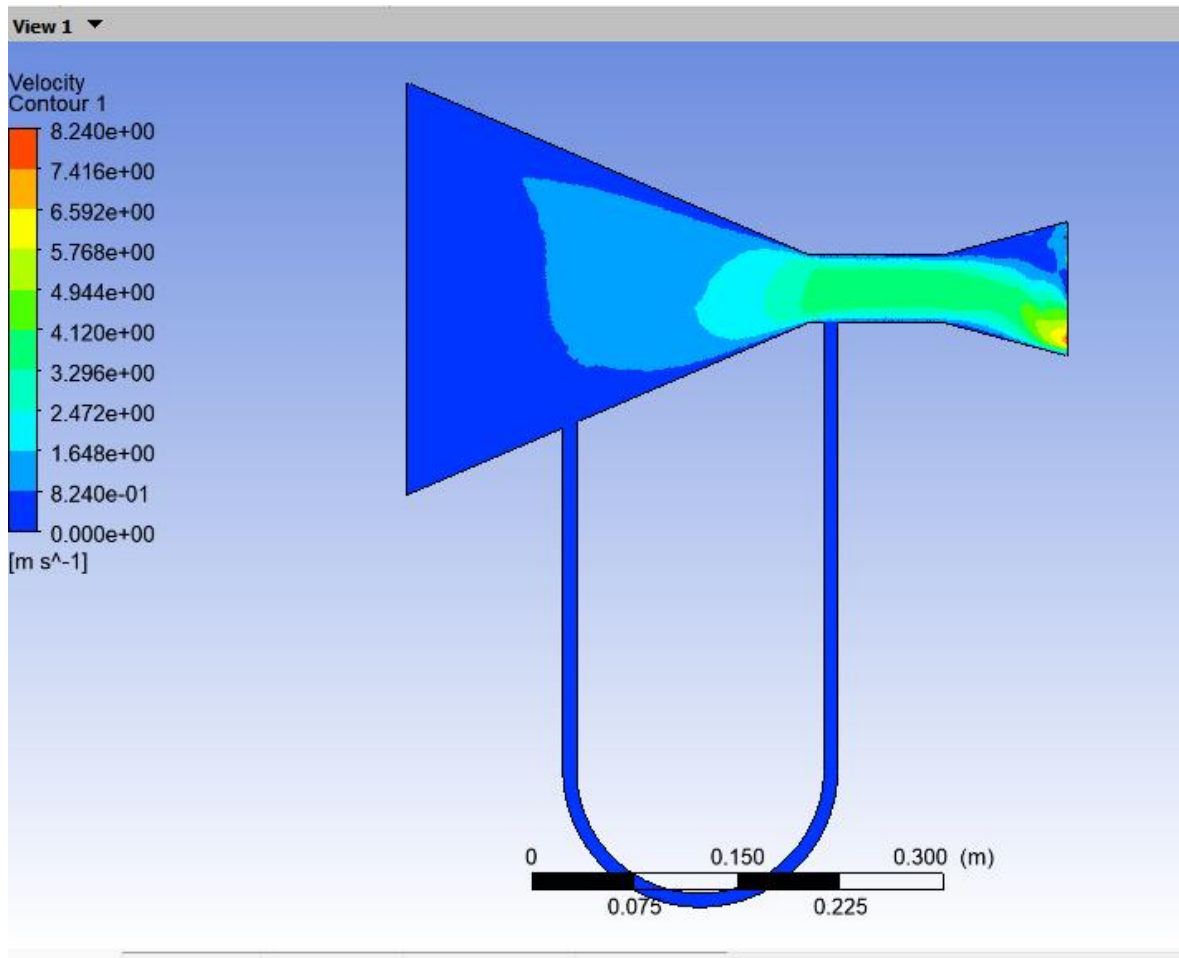


Figura 5.4.1 Resultado velocidad aceite de motor simulación 1. Fuente: Autoría propia.

Como se evidencia en la sección 1 antes del estrechamiento existen dos valores predominantes de velocidad, por ende, se realiza un cálculo promedio para hallar el valor a reemplazar en la ecuación de continuidad.

$$V = \frac{1.648e^{00} + 8.240e^{-01}}{2}$$

$$V = 1.236m/s$$

El valor de la sección 2 después del estrechamiento es de $1.648e^{00} m/s$ puesto que como se evidencia este valor predomina en dicha sección y toma la forma del camino a recorrer del aceite en esta.

Para el valor del área se usan los mismos valores obtenidos en la simulación con agua.

Combustible Diesel

Ahora se verifican los resultados correspondientes a la variable de velocidad en la simulación con el combustible Diesel como fluido.

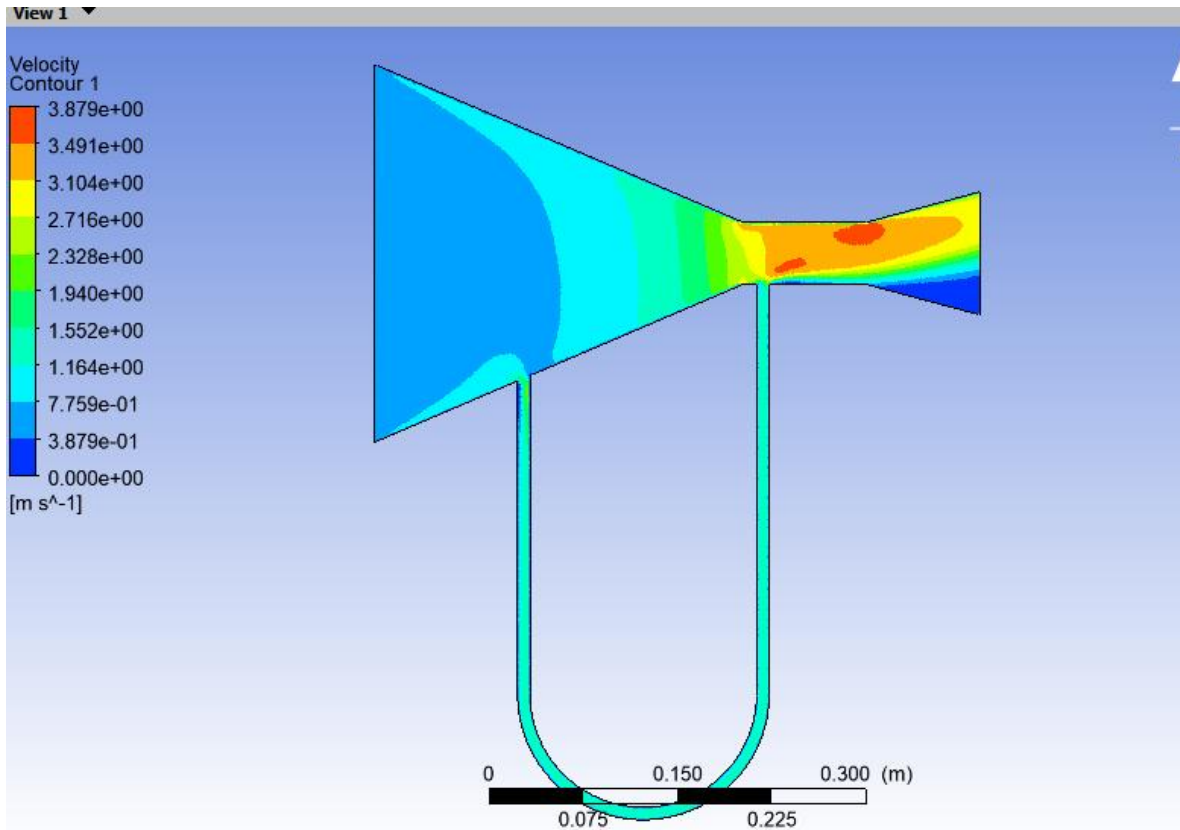


Figura 5.4.2 Resultado velocidad combustible Diesel simulación 1. Fuente: Autoría propia.

Como se evidencia existe el mismo comportamiento que en la simulación con agua y en ambas secciones no existe un valor que predomina, por ende, se realiza un cálculo de promedios de los valores de velocidad para saber cuál reemplazar en la ecuación de continuidad

$$V = \frac{1.164e^{00} + 7.759e^{-01}}{2}$$

$$V = 0.96994 \text{ m/s}$$

Se realiza el mismo procedimiento para hallar la velocidad en la sección 2.

$$V = \frac{3.491e^{00} + 3.104e^{00}}{2}$$

$$V = 3.2975 \text{ m/s}$$

Simulación 2. Aceite de motor.

Para esta comprobación se verifican los resultados correspondientes a la variable de velocidad en la simulación con aceite de motor.

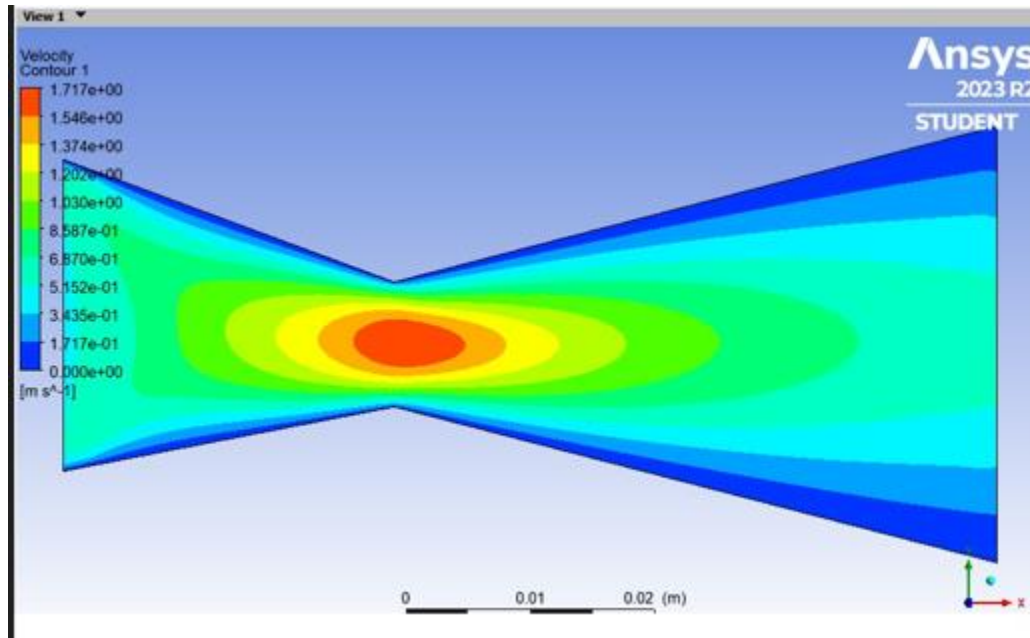


Figura 5.4.3 Resultado velocidad aceite de motor simulación 2. Fuente: Autoría propia.

Como se evidencia en ambas secciones no existe un valor que predomina, por ende, se realiza un cálculo de promedios de los valores de velocidad para saber cuál reemplazar en la ecuación de continuidad

$$V = \frac{6.870e^{-01} + 8.857e^{-01} + 1.03 + 1.202}{4}$$

$$V = 0.946925 \text{ m/s}$$

Se realiza el mismo procedimiento para hallar la velocidad en la sección 2.

$$V = \frac{6.870e^{-01} + 8.857e^{-01} + 3.435e^{-01} + 1.717e^{-01} + 1.03 + 1.202}{6}$$

$$V = 0.487375 \text{ m/s}$$

Combustible Diesel

Se realiza una observación a los resultados de velocidad en la simulación 2 con Diesel como fluido principal.

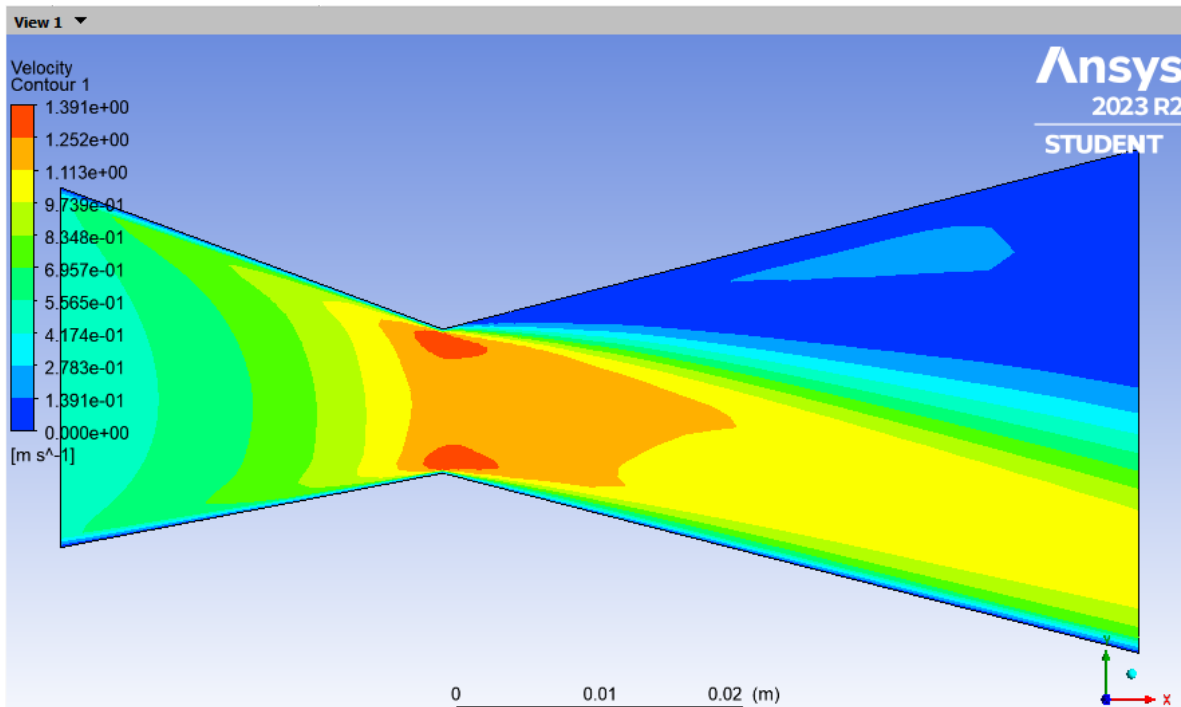


Figura 5.4.4 Resultado velocidad combustible Diesel simulación 2. Fuente: Autoría propia.

Como se evidencia en ambas secciones no existe un valor que predomina, por ende, se realiza un cálculo de promedios de los valores de velocidad para saber cuál reemplazar en la ecuación de continuidad, tal como en el caso de aceite de motor.

$$V = \frac{5.565e^{-01} + 6.957e^{-01} + 8.348e^{-01} + 9.739e^{-01} + 1.113}{5}$$

$$V = 0.83474 \text{ m/s}$$

Se realiza el mismo procedimiento para hallar la velocidad en la sección 2.

$$V = \frac{1.113 + 1.252}{2}$$

$$V = 1.1825 \text{ m/s}$$

5.4.2. Corroboración ecuaciones de Bernoulli.

Simulación 1 Aceite de motor

Para esta comprobación se verifican los resultados correspondientes a la variable de presión en la simulación con aceite de motor para obtener los valores de presión a reemplazar en la ecuación de Bernoulli.

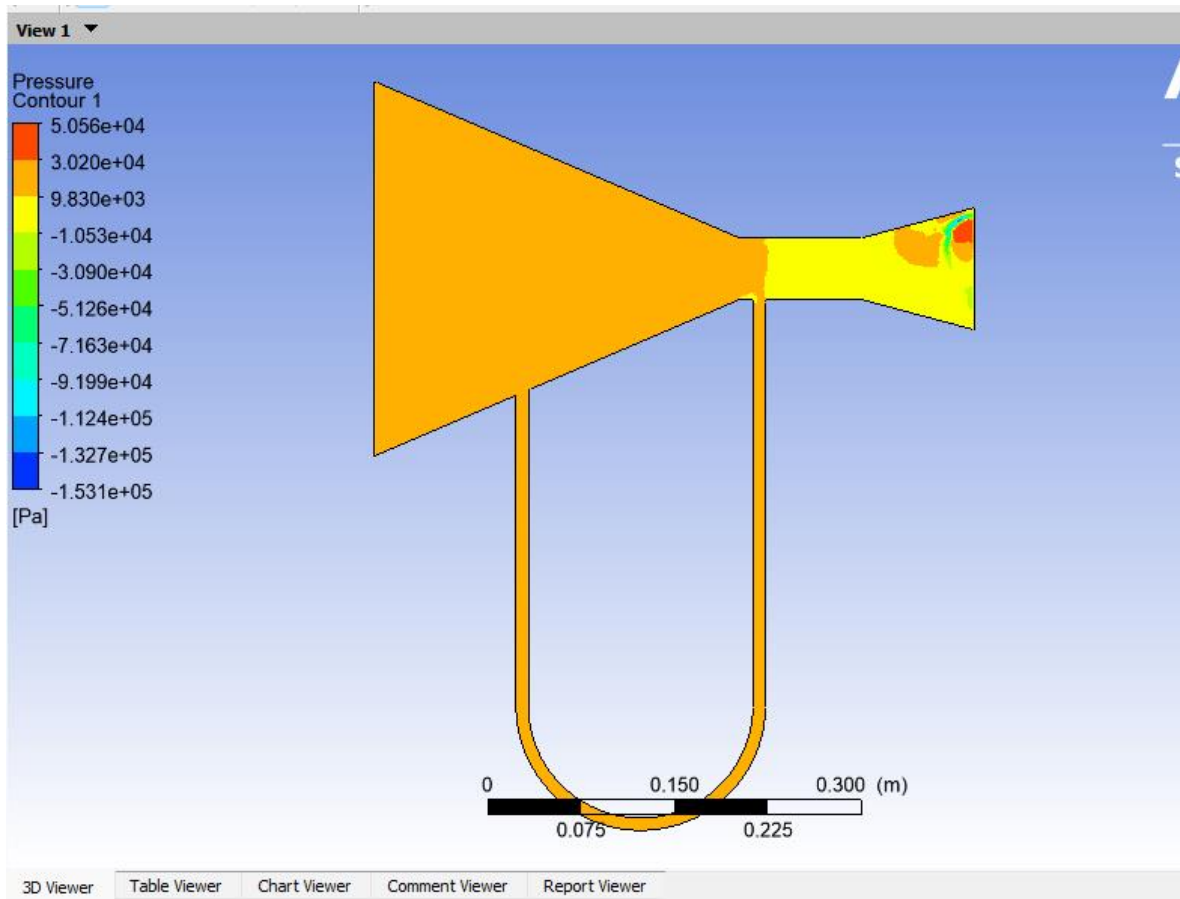


Figura 5.4.5 Resultado presión aceite de motor simulación 1. Fuente: Autoría propia.

Los valores de presión a reemplazar son los valores predominantes en ambas secciones.

Combustible Diesel.

Se verifican los resultados correspondientes a la variable de presión en la simulación con combustible Diesel para obtener los valores de presión a reemplazar en la ecuación de Bernoulli.

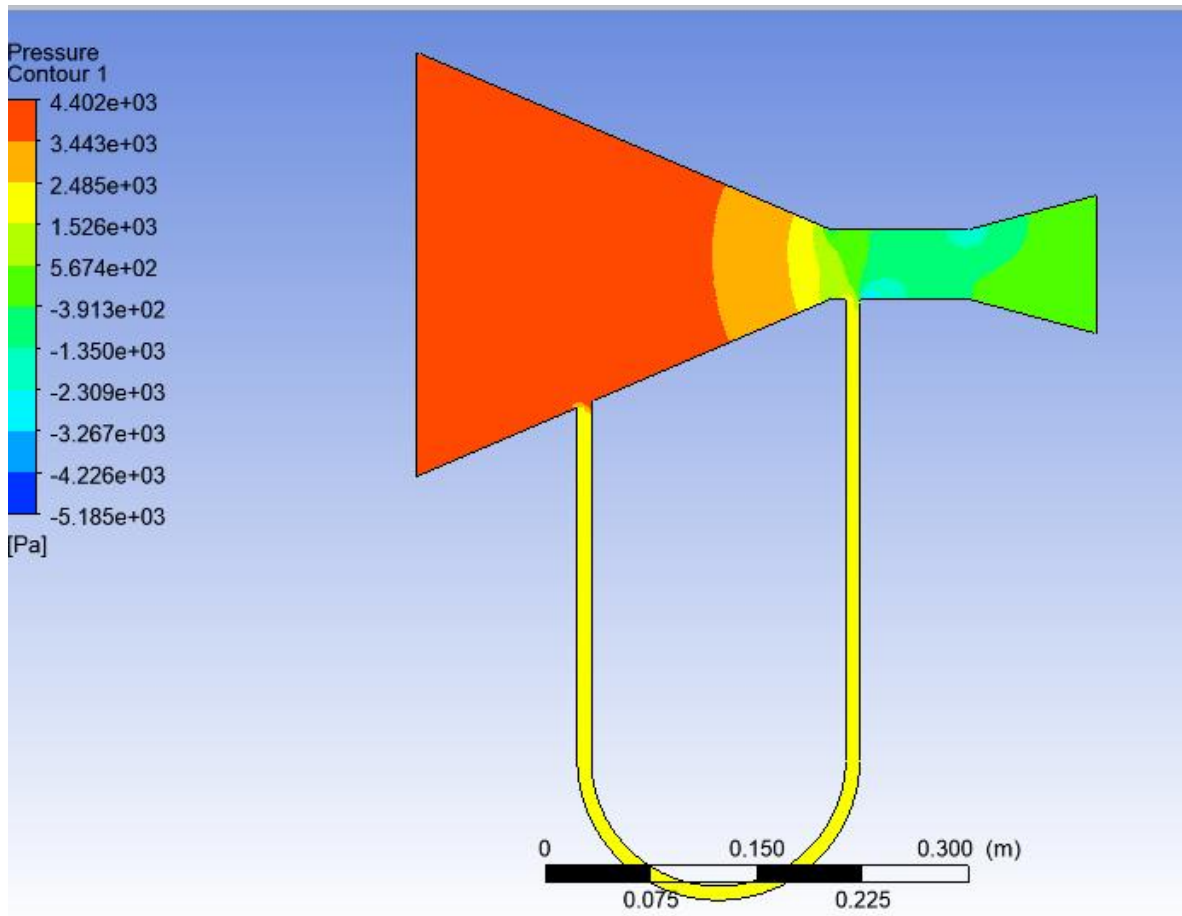


Figura 5.4.6 Resultado presión combustible Diesel simulación 1. Fuente: Autoría propia

Se revela un comportamiento igual a la simulación con agua, pero con valores diferentes, así que para los valores de presión se hará uso de las presiones dominantes en ambas secciones.

Simulación 2

Aceite de motor

Para esta comprobación se verifican los resultados correspondientes a la variable de presión en la simulación con aceite de motor para obtener los valores de presión a reemplazar en la ecuación de Bernoulli.

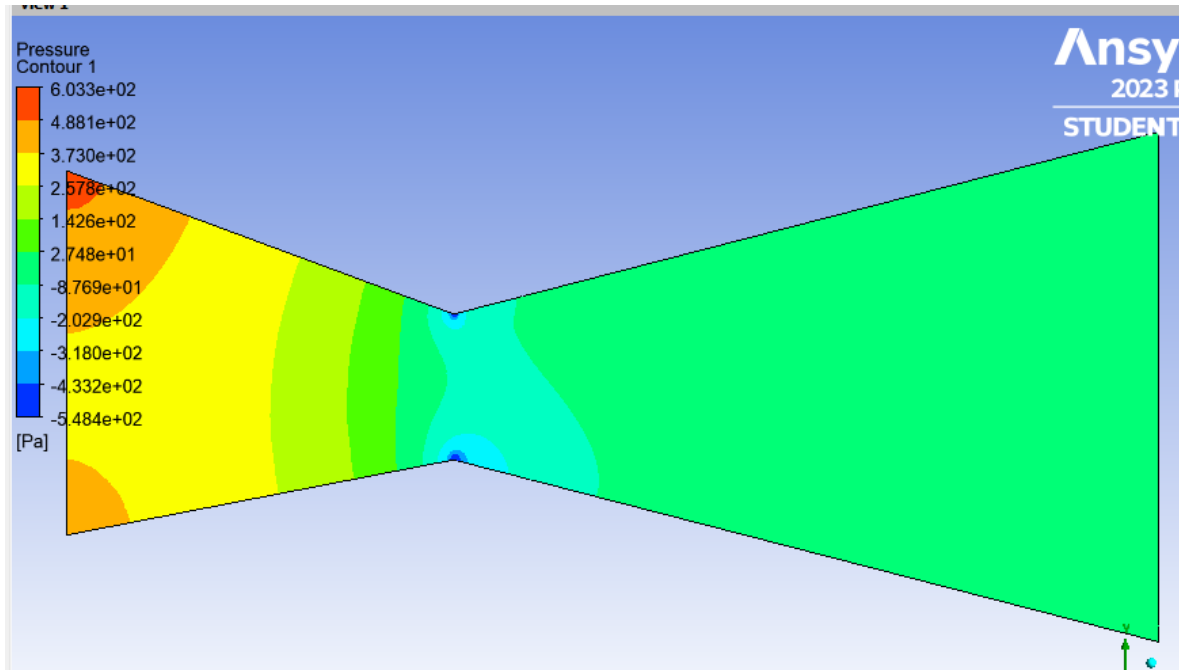


Figura 5.4.7 Resultado presión aceite de motor simulación 2. Fuente: Autoría propia.

En la sección 2 se toma el valor de la presión dominante $2.748e^1$

$$P = \frac{3.73e^2 + 2.578e^2 + 1.426e^2}{3}$$

$$P = 1954.333 \text{ Pa}$$

Combustible Diesel

Se verifican los resultados correspondientes a la variable de presión en la simulación con combustible Diesel para obtener los valores de presión a reemplazar en la ecuación de Bernoulli.

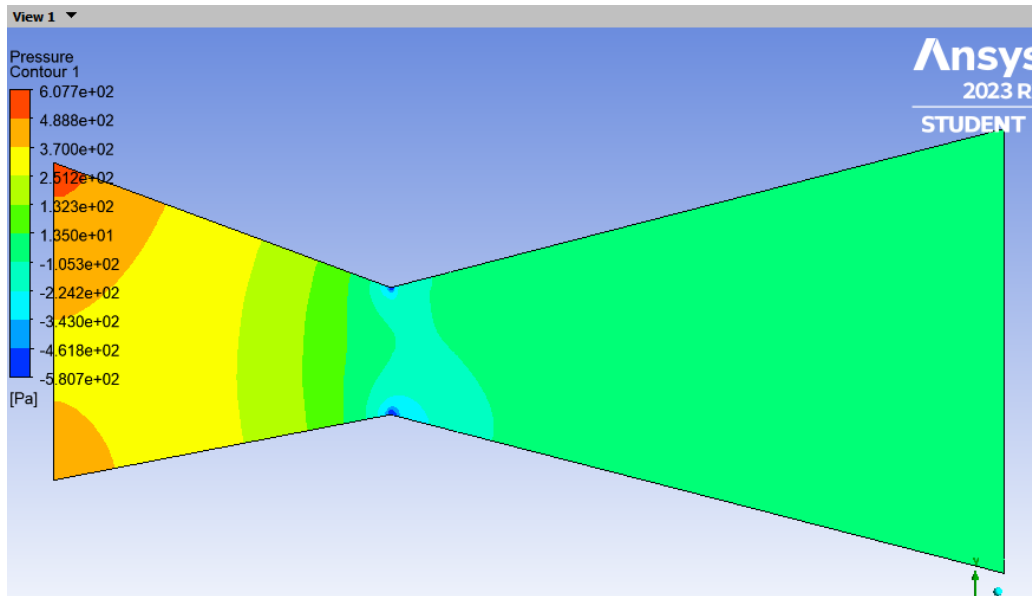


Figura 5.4.8 Resultado presión combustible Diesel simulación 2. Fuente: Autoría propia

Al igual que en la simulación con aceite de motor existe un valor predominante en la sección 2 correspondiente a $1.350e^1 Pa$ pero en la sección 1 se realizó un promedio de presiones para conocer el valor de la presión a reemplazar.

$$P = \frac{3.700e^2 + 2.512e^2 + 1.323e^2}{3}$$

$$P = 251.1666 Pa$$

5.4.3. Corroboración conservación de la masa.

Para ambas simulaciones y los dos fluidos escogidos, se hará uso de las herramientas de reporte de ANSYS de residuos y flujo de masa, en donde es posible corroborar la ley de conservación de la masa. En la primera herramienta si el valor de continuidad disminuye lenta y progresivamente a través de las iteraciones de la simulación hasta su convergencia y en la segunda si el reporte brinda un valor aproximado a cero.

6. Resultados y Discusión

En esta sección se presentan los resultados de cada una de las actividades correspondientes al proyecto de grado como por ejemplo, las soluciones de las ecuaciones de nivel y caudal en los dos sistemas simulados

6.1. Guía de herramientas

Como se ha venido estipulando durante el desarrollo del presente proyecto de grado la base para la creación de la guía de herramientas es el curso realizado en edx.org, nuevamente se recalca que se completo el curso en su totalidad, pero no se obtuvo certificado en el mismo puesto que el certificado es de pago, en las siguientes figuras se verifica la finalización del curso por parte de los autores.



Figura 6.1.1 Progreso del curso A Hands-on Introduction to Engineering Simulations correspondiente al autor 1. Fuente: Autoría propia.

A continuación, se muestra el progreso del autor 2.

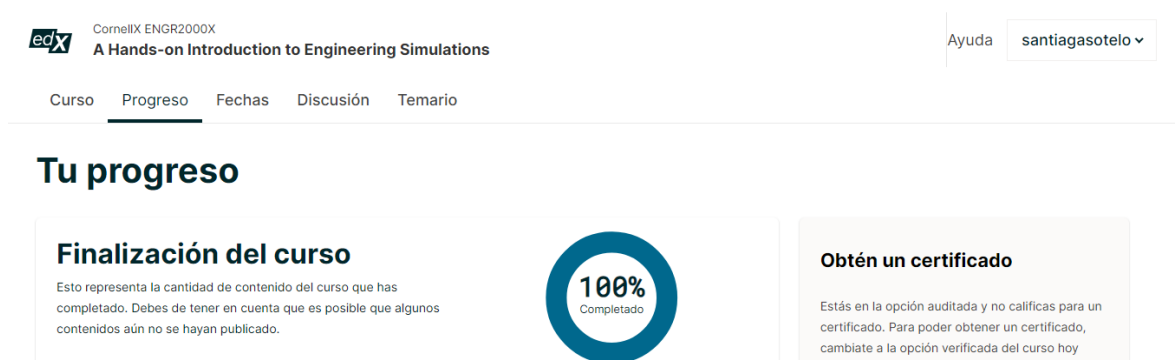


Figura 6.1.2 Progreso del curso A Hands-on Introduction to Engineering Simulations correspondiente al autor 2. Fuente: Autoría propia.

Con las pruebas de la realización del curso, se procede a explicar el resultado final de la guía de herramientas enviada a los expertos. La guía consto de 56 páginas en su mayoría imágenes del procedimiento paso a paso de la creación de la simulación para comprobar la ecuación de Bernoulli, todas las imágenes del manual se encuentran en el capítulo 4 correspondiente al desarrollo de la simulación desde cero.

A continuación, se presenta el resultado correspondiente al capítulo 1 la introducción del manual, donde se definió el objetivo de la guía, así como los

objetivos planteados en el syllabus de sensores y actuadores industriales, la selección de la herramienta por la cual se cumplirá este objetivo y la versión utilizada.

1. INTRODUCCIÓN

Esta guía tiene como objetivo orientar acerca del uso del software ANSYS, como herramienta de simulación de sistemas de medición de nivel y caudal, para esto se hará uso de la versión estudiantil de ANSYS específicamente ANSYS Fluent, esta herramienta es compleja y potente, por ende, se proporciona una visión general del software. Al poseer la versión estudiante del software varios programas de ANSYS están instalados en una aplicación llamada ANSYS Workbench.

1.1 Objetivos Sensores y actuadores industriales

Objetivo General:

Fundamentar en la concepción teórica y práctica de los sistemas electrónicos de medida para aplicaciones industriales.

Objetivos específicos:

- Determinar los elementos constitutivos de los sistemas electrónicos de medición
- Analizar diferentes topologías para el diseño de sistemas electrónicos de medida de acuerdo a la naturaleza de los sensores.
- Construir sistemas de medición para variables industriales teniendo en cuenta los parámetros normativos vigentes.

Figura 6.1.3 Resultado capítulo 1 guía de herramientas. Fuente: Autoría propia.

El segundo capítulo consto de la definición de ANSYS Fluent y ventajas que posee este software que fueron determinantes para su selección final frente a otros programas del mercado que resuelven los mismos problemas con respecto a la simulación de fluidos.

Conceptos	Definición
ANSYS Fluent	Ansyz Fluent es una herramienta de simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) líder en la industria desarrollada por ANSYS INC, que permite resolver problemas complejos de flujo de fluidos y obtener información detallada sobre el comportamiento de los fluidos en diferentes sistemas.
Ventajas	
Ansyz Fluent es una herramienta de simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) líder en la industria desarrollada por ANSYS INC, que permite resolver problemas complejos de flujo de fluidos y obtener información detallada sobre el comportamiento de los fluidos en diferentes sistemas.	
Ansyz Fluent proporciona una interfaz gráfica intuitiva que facilita la configuración de la simulación, el procesamiento de datos y la visualización de resultados. Permite definir condiciones de frontera, propiedades del fluido, modelos de turbulencia, transferencia de calor, reacciones químicas y muchas otras características relevantes para cada caso específico.	

Tabla 6.1.1. Definición y ventajas ANSYS Fluent. Fuente: Autoría propia.

En el tercer capítulo se situaron los requisitos de instalación de ANSYS Student para su versión 2022 R2, con el fin que los estudiantes tengan el conocimiento sobre si su equipo es capaz de ejecutar el software.

3. REQUISITOS DEL SISTEMA PARA LA INSTALACIÓN

- Procesador Workstation class
- 4 GB RAM
- 25 GB de espacio disponible en disco duro.
- El computador debe poseer un disco C:/ físico.
- Tarjeta gráfica y driver: Professional workstation class 3-D
- OpenGL-capable

Figura 6.1.4 Resultado capítulo 3 guía de herramientas. Fuente: Autoría propia.

En el cuarto capítulo se realizó el desarrollo de un ejemplo, el cual corrobora el teorema de Bernoulli, este ejemplo se realiza desde cero y en la guía se detalla el paso a paso con imágenes incluidas de cada uno acerca de la simulación de este problema en ANSYS. En este ejemplo se realizan las mediciones de presión y velocidad de agua en estado líquido a través de un tubo. Los resultados obtenidos fueron reproducidos a través de la herramienta Playback que posee ANSYS Fluent, concluyendo que la simulación está ejecutándose. La siguiente figura es la imagen final del cuarto capítulo de la guía de herramientas en la misma se visualiza la variación de la presión del agua a través del tubo, presentando los pasos finales para la poder observar el resultado de la simulación.

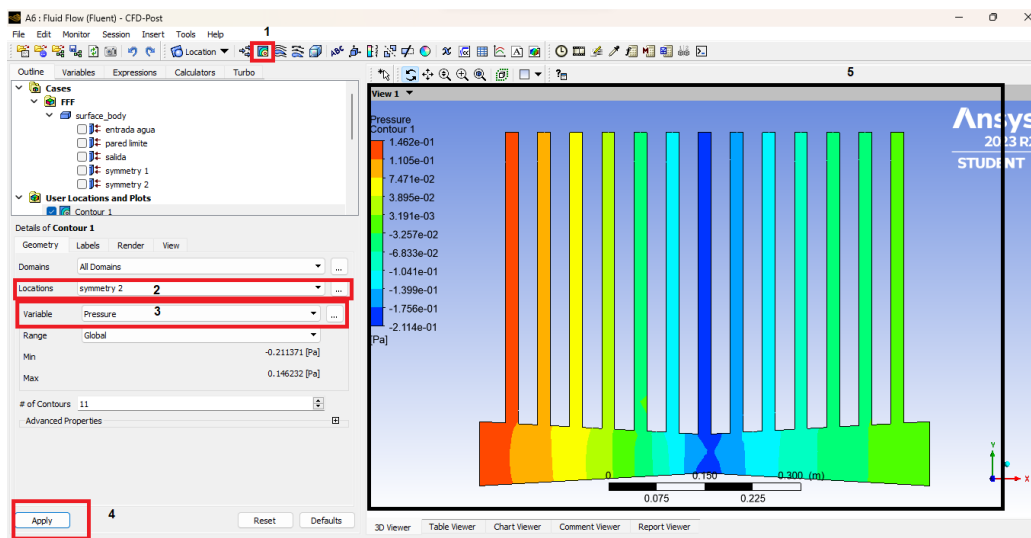


Figura 6.1.5 Resultado capítulo 4 guía de herramientas. Fuente: Autoría propia.

Finalmente, en el quinto capítulo se estipulo un ejercicio para que los estudiantes prueben su conocimiento adquirido en ANSYS a través de lo leído en la guía. Este ejercicio es recrear una imagen diseñada por los autores de un tubo en ANSYS Fluent, con esta simulación también se debe corroborar el teorema de Bernoulli tal como se realiza en la guía.

5.ACTIVIDAD

Teniendo en cuenta lo explicado en la guía de herramientas, en ANSYS replique la siguiente figura, con el objetivo de verificar el teorema de Bernoulli.

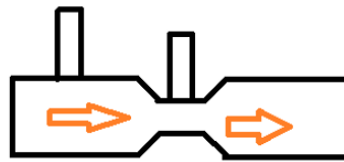


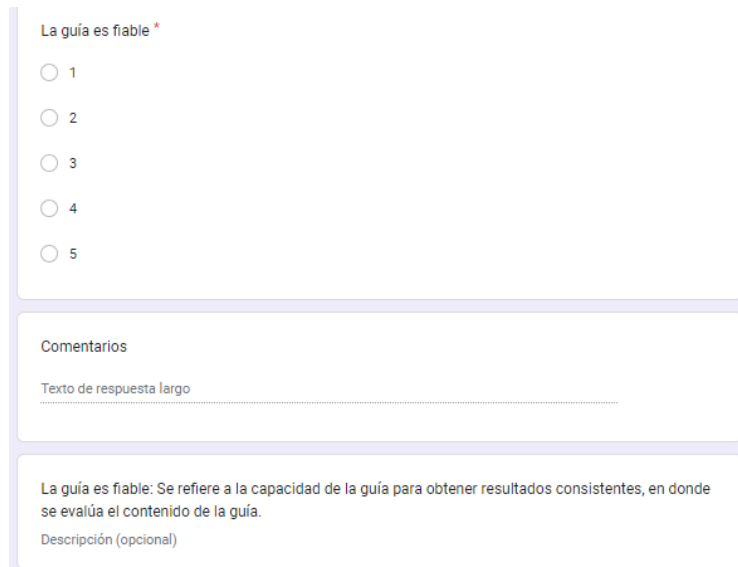
Figura 1. Actividad para realizar. Fuente: Autoría propia.

Figura 6.1.6 Resultado capítulo 5 guía de herramientas. Fuente: Autoría propia.

En el Anexo A se encuentra el manual en su totalidad.

6.2. Validación de la guía

A los expertos se les facilito un formulario de Google con los cinco parámetros a calificar, con una calificación de uno a cinco (la cual es explicada al inicio del formulario), para evitar posibles errores en los cuales el experto olvide contestar una pregunta, se ajustó el formulario para que todas sus preguntas sean de respuesta obligatoria, justo después de cada pregunta se posiciono un texto de respuesta largo cuya función es brindar un comentario u observación que posean los expertos respecto a dicha pregunta y finalmente se incluye una casilla de descripción la cual tiene la función de explicar la pregunta planteada.



La guía es fiable *

☐ 1

☐ 2

☐ 3

☐ 4

☐ 5

Comentarios

Texto de respuesta largo

La guía es fiable: Se refiere a la capacidad de la guía para obtener resultados consistentes, en donde se evalúa el contenido de la guía.

Descripción (opcional)

Figura 6.2.1 Resultado formulario validación. Fuente: Autoría propia.

En el Anexo B se encuentran las respuestas de los expertos.

6.3. Repaso de leyes de fluidos

El repaso de las leyes de fluidos se realizó como si fuesen apuntes de una clase, iniciando con una definición de fluidos, tipos de fluidos y su clasificación.

Un fluido es cualquier tipo de materia compuesta por un conjunto de moléculas los cuales se atraen por una débil fuerza de atracción, por ende, no tienen una forma definida, así que poseen la capacidad de cambiar de forma cuando se les aplica una fuerza externa. Los fluidos incluyen tanto líquidos como gases. A diferencia de los sólidos, que mantienen su forma y volumen en condiciones normales, los fluidos pueden adaptarse a la forma de su contenedor.

Líquidos: Los líquidos son un tipo de fluido que tiene una resistencia a cambiar de volumen, pero no a cambiar de forma. Esto significa que los líquidos toman la forma del recipiente en el que se encuentran, pero su volumen se mantiene constante.

Gases: Los gases son otro tipo de fluido que tiene la capacidad de expandirse y llenar completamente cualquier contenedor en el que se encuentren. Los gases no tienen forma ni volumen propios y se expandirán para llenar todo el espacio disponible.



Figura 1. Fluido. Tomado de: <https://delatorresteffani.wordpress.com/tareas/fluidos/>

Los fluidos pueden catalogarse en:

- **Fluidos newtonianos:** Los fluidos newtonianos tienen una viscosidad constante, que no varía con la velocidad de flujo. Los líquidos comunes, como el agua y el aceite.
- **Fluidos no newtonianos:** Los fluidos no newtonianos tienen una viscosidad que varía con la velocidad de flujo. Algunos ejemplos son: los geles, las emulsiones, los fluidos viscosos, entre otros.

Figura 6.3.1 Resultado definición fluidos. Fuente: Autoría propia.

Continuando con el repaso se realiza una breve introducción a las leyes de fluidos y se inicia con la definición de cada ley. Iniciando con la ley de continuidad en donde se realiza una descripción de esta, y también se incluye su ecuación, posteriormente se proporciona una imagen de la ley y finalmente un ejemplo propio de los autores.

Ley de Continuidad: La ley de continuidad de los fluidos es una regla fundamental que describe cómo se conserva la masa en un flujo constante de fluido. Estipula que la cantidad de flujo entrante debe ser igual a la cantidad de flujo saliente en cualquier punto dentro de un sistema cerrado. Se rige bajo la ecuación:

$$A_1 \cdot V_1 = A_2 \cdot V_2$$

Formula 1. Ecuación de continuidad.

Donde: A es el área, y V la velocidad.

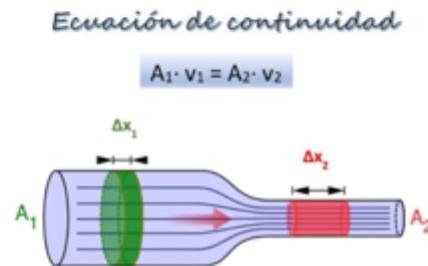


Figura 2. Ecuación de continuidad. Tomado de: <https://www.lifeder.com/ecuacion-de-continuidad/>

EJEMPLO: Por una tubería de 0.4 m de diámetro fluye agua a una velocidad de 3.7 m/s. En la parte final de la tubería existe un ensanchamiento el cual es de 0.89m de diámetro. ¿Cuál es la velocidad final el agua en la tubería?

$$0.4m \cdot 3.7 \frac{m}{s} = 0.89m \cdot V_2$$

$$\frac{0.4m \cdot 3.7 \frac{m}{s}}{0.89m} = V_2$$

$$V_2 = 1.6629m/s$$

Figura 6.3.2 Resultado definición ley de continuidad. Fuente: Autoría propia.

Se realiza el mismo procedimiento con la ley de Bernoulli, este ejemplo también es realizado por los autores.

Teorema de Bernoulli: La ley de Bernoulli es un principio fundamental en la mecánica de fluidos que describe la relación entre la presión, la velocidad y la altura potencial de un fluido en movimiento. Esta ley se basa en el principio de conservación de la energía en un flujo constante de fluido sin viscosidad ni fricción interna. Establece que cuando la velocidad del fluido aumenta, la presión disminuye, y viceversa. Se rige bajo la ecuación:

$$P_1 + pgh_1 + \frac{1}{2}p * v_1^2 = P_2 + pgh_2 + \frac{1}{2}p * v_2^2$$

Formula 2. Ecuación de Bernoulli.

Donde: P es la presión, p es la densidad, g es la gravedad, h es la altura, v es la velocidad.



Figura 3. Ley de Bernoulli. Tomado de: <https://citeia.com/innovaciones-en-tecnologia/principios-de-bernoulli-ejercicios>.

EJEMPLO: Por una tubería fluye gasolina, en esta tubería existe una presión de 49 kpa y la gasolina posee una velocidad de 27 m/s, esta misma tubería se estrecha, en esta tubería la gasolina fluye con una velocidad de 38 m/s, calcule la presión en esta sección de la tubería. Tenga en cuenta que la densidad de la gasolina es de 720 kg/m³ y tome de referencia la figura 4, en la cual no existe un cambio de altura significativo, por ende, suponga h₁=h₂.

Figura 6.3.3 Resultado definición ley de Bernoulli. Fuente: Autoría propia.

Finalmente se escribe la definición y la fórmula de la ley de conservación de la masa, solamente que en esta ocasión no se realiza un ejemplo de dicha ley puesto que no hay ejemplos de esta ley porque simplemente es una igualdad de la masa entrante y la masa que saliente.

Ley de Conservación de masa: un principio fundamental en la mecánica de fluidos que establece que, la masa no puede ser creada ni destruida, solo puede cambiar de forma o moverse dentro del sistema.

Esta ley se basa en el principio de conservación de la materia, que es un principio fundamental en la física que se aplica tanto a los fluidos como a los sólidos.

Su fórmula es

$$\sum_{in} m = \sum_{out} m$$

Formula 3. Conservación de la masa.

Figura 6.3.4. Resultado definición ley de conservación de la masa. Fuente: Autoría propia.

6.4. Generar 2 simulaciones de otros sistemas de medición

Comparación de un sistema real con una simulación.

El caudal de la simulación dio como resultado 0,285 L/s (Litros sobre segundos) del cual el caudal real parecido era el caudal numero 5 donde se hallo el error de no linealidad y de exactitud de las presiones entre estos caudales el real y el simulado donde el porcentaje de errores fue de 1,012% para no linealidad y 4,852% para exactitud.

Simulación 1.

Para poder observar los resultados de la primera simulación se abre el apartado de resultados desde ANSYS Workbench, esta acción abre una ventana llamada CFD Post los siguientes pasos describen como es posible observar el comportamiento de las variables de presión y velocidad en el manómetro.

- Con la herramienta Contour se selecciona toda la figura.
- En la ventana emergente se varían las opciones de: “Domains” seleccionando la opción “All locations”. Al tener activa esta opción se despliega una nueva llamada “Location” seleccionado “Simetry 2” esta opción es para toda la figura y finalmente se elige la variable a visualizar.

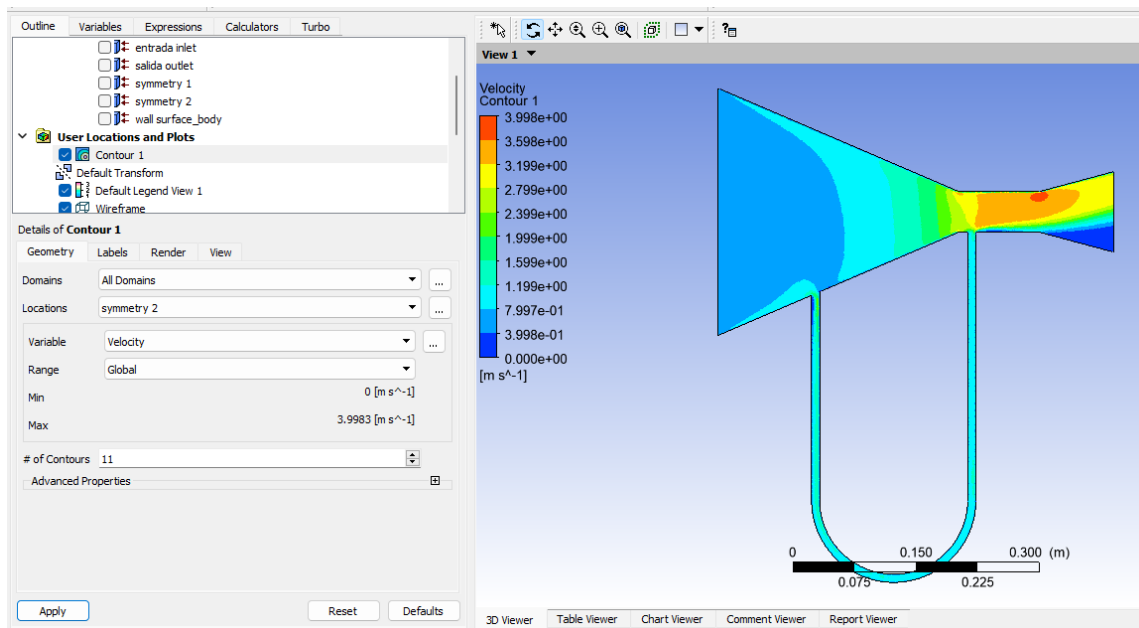


Figura 6.4.1 Resultado velocidad en manómetro. Fuente: Autoría propia.

Para visualizar la presión simplemente se alterna la variable en Contour1.

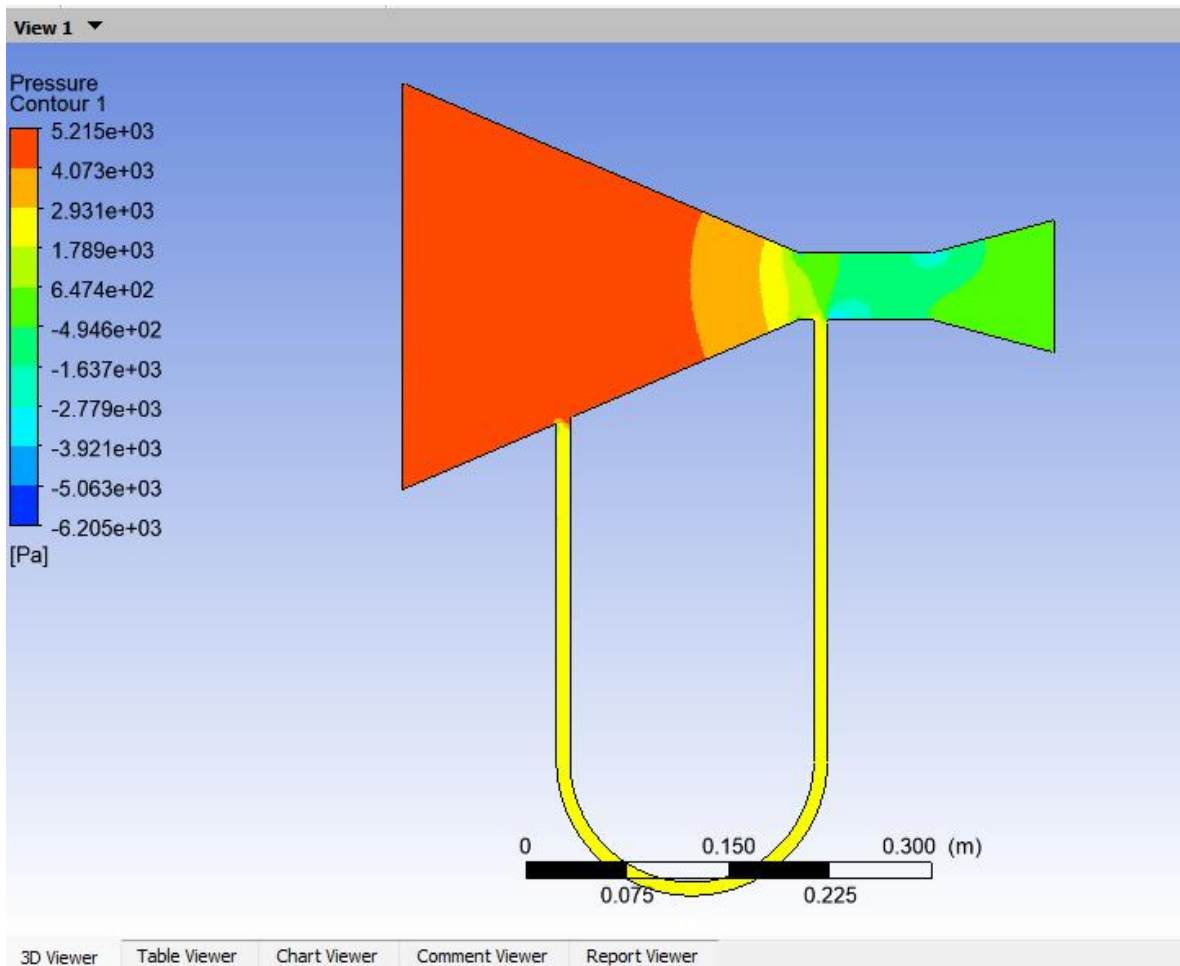


Figura 6.4.2 Resultado velocidad en manómetro. Fuente: Autoría propia.

Simulación 2.

Para poder observar los resultados de segunda simulación se siguen los mismos pasos descritos para la visualización de los resultados para la primera simulación. El primer resultado a visualizar es la velocidad de la boquilla.

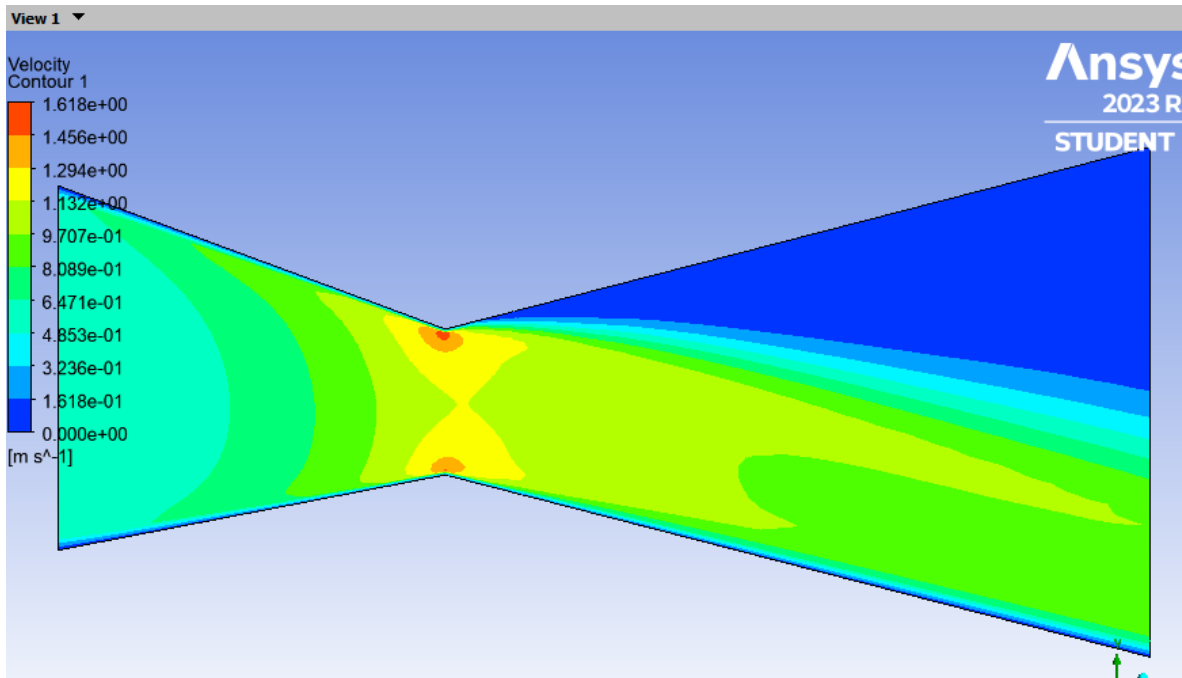


Figura 6.4.3 Resultado velocidad en la boquilla. Fuente: Autoría propia.

Para visualizar el comportamiento de la presión en el sistema se varia la variable de velocidad a presión en el mismo “Contour 1”.

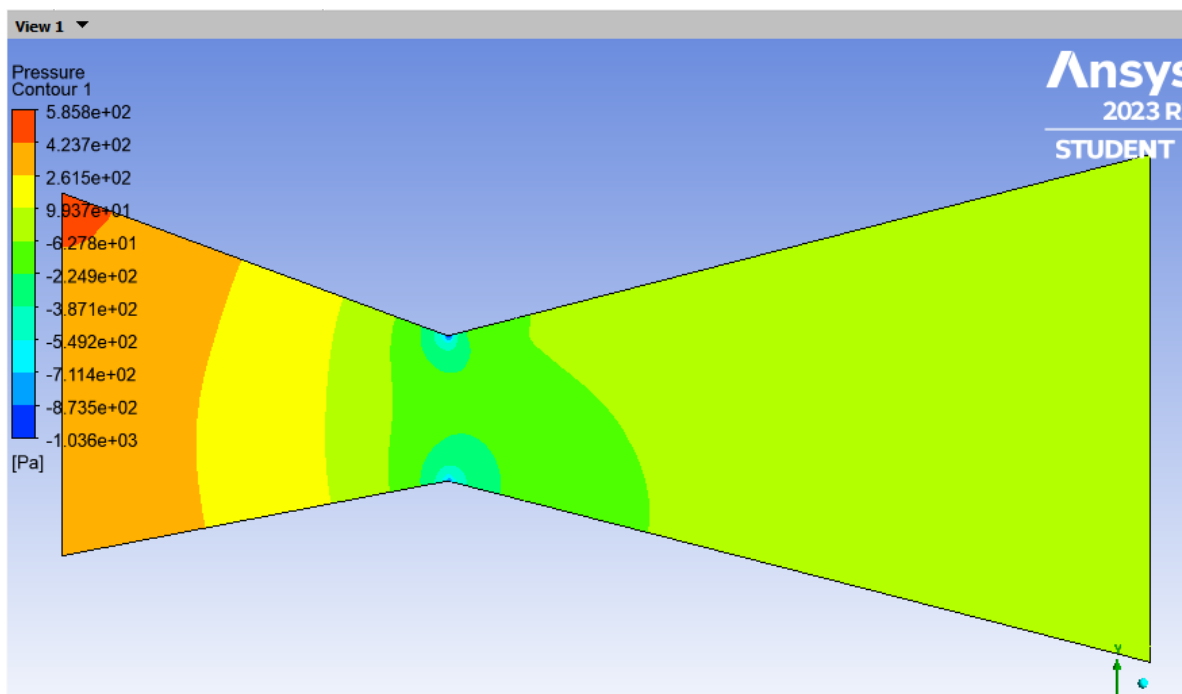


Figura 6.4.4 Resultado presión en la boquilla. Fuente: Autoría propia.

6.5. Corroborar funcionamiento de las simulaciones por medio del cumplimiento de las leyes de los fluidos

6.5.1. Corroboración de la ecuación de continuidad

Simulación 1.

Reemplazando los valores de área y velocidad en la ecuación de continuidad

$$20208.3 \text{ mm}^2 * 0.9945 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5790.9128 \text{ mm}^2 * 3.3985 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$20097.15435 = 19680.41715$$

Simulación 2.

Con los valores del área y velocidad en ambas secciones se procede a realizar el cálculo de la ecuación de continuidad.

$$465.29 * 0.8896 = 1089.27 * 1.051$$

$$413.921 = 1144.822$$

6.5.2. Corroboración de la ecuación de Bernoulli

Simulación 1.

Reemplazando los valores de presión densidad y velocidad en la ecuación de Bernoulli.

$$5.215e^3 Pa + \frac{1}{2} 997 * 0.9945^2 m/s = 6.474e^2 Pa + \frac{1}{2} 997 * 3.3985^2 m/s$$

$$5708.03158 = 6404.9764$$

Simulación 2.

$$261.5233 Pa + \frac{1}{2} 997 * 0.8896^2 m/s = 9.937e^1 Pa + \frac{1}{2} 997 * 1.051^2 m/s$$

$$656.096 = 650.01$$

6.5.3. Corroboración de la ecuación de conservación de la masa

Simulación 1.

Se activa la opción de graficar residuos y la impresión en consola de reporte de flujo de masa, este reporte es una comparación entre la entrada y salida del sistema.

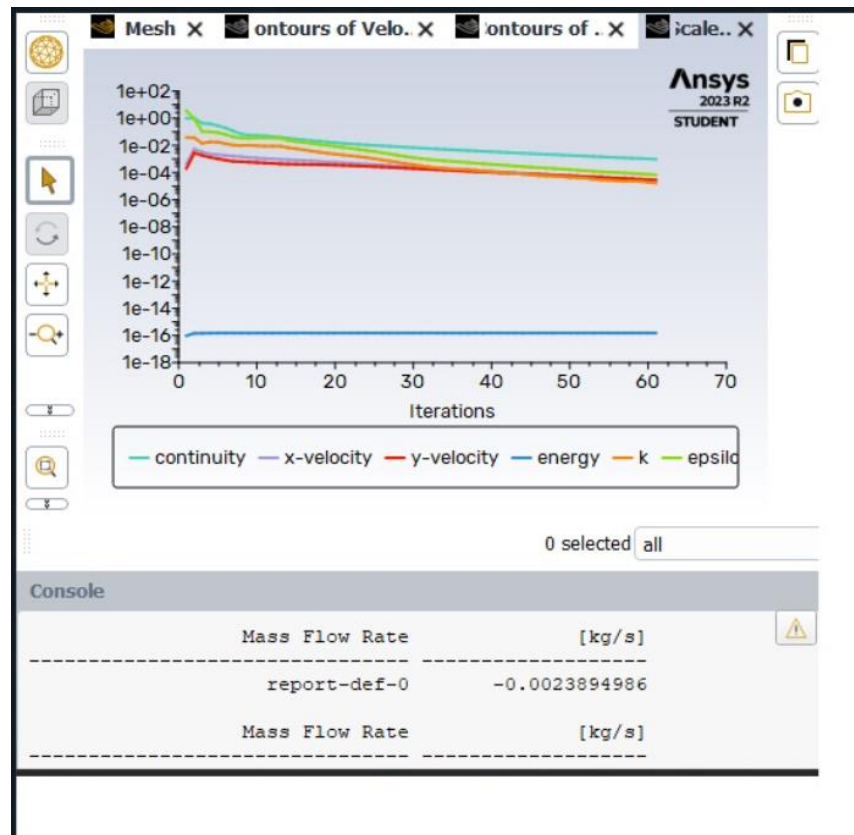


Figura 6.5.1 Resultados residuos y reporte de flujo de masa simulación 1. Fuente: Autoría propia.

Simulación 2.

Al momento de correr los cálculos de la simulación se activa la opción de graficar residuos y la impresión en consola de reporte de flujo de masa, este reporte es una comparación entre la entrada y salida del sistema.

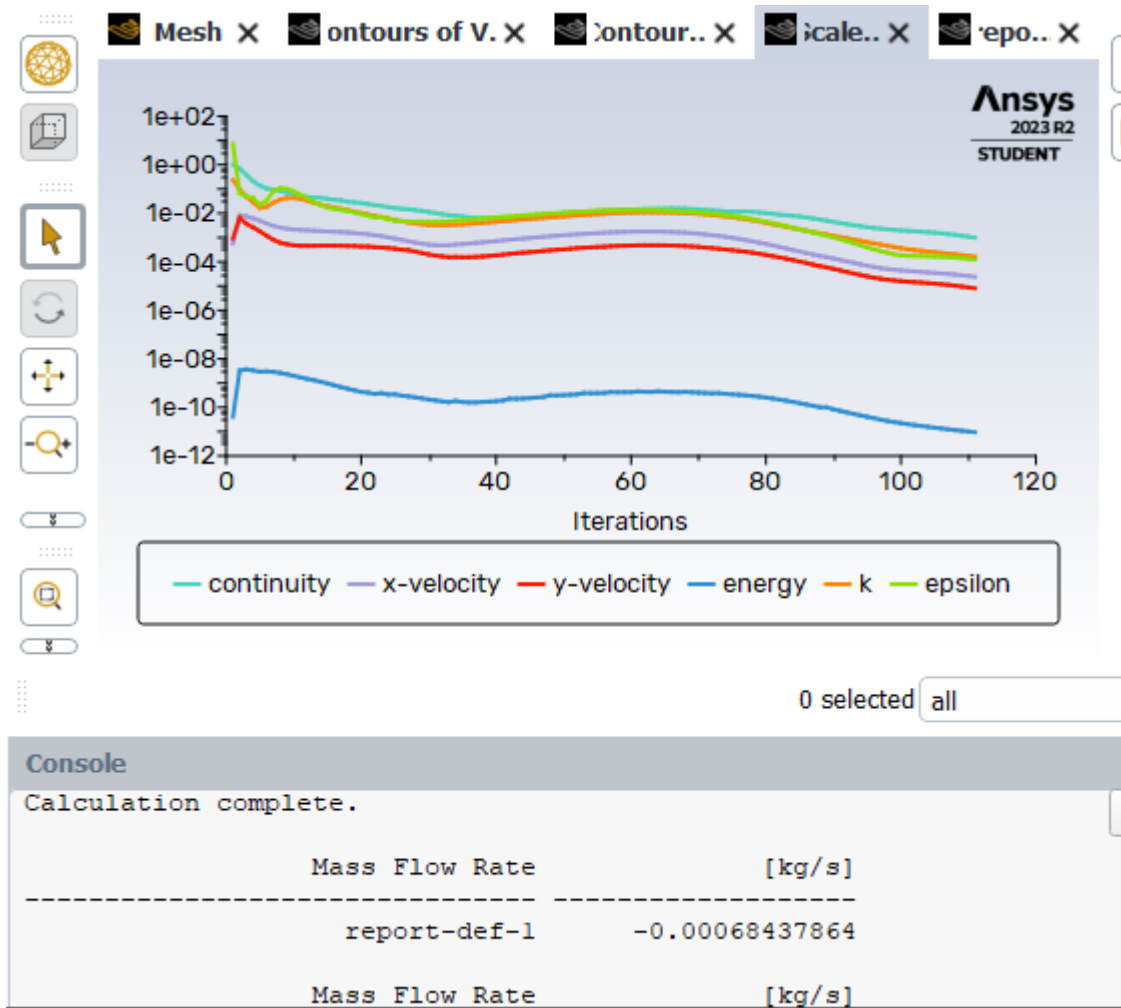


Figura 6.5.2 Resultados residuos y reporte de flujo de masa simulación 2. Fuente: Autoría propia.

6.6. Probar las simulaciones anteriores con diferentes fluidos

En este apartado se presentan los resultados de las ecuaciones de Bernoulli y continuidad en ambas simulaciones con el cambio de fluido del sistema con el aceite de motor y combustible Diesel, también se presentan los pantallazos de la grafica de residuos y reporte de flujo de masa para corroborar la conservación de la masa.

6.6.1. Corroboración de la ecuación de continuidad

Simulación 1

Aceite de motor.

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de continuidad.

$$20208.3 \text{ mm}^2 * 1.236 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5790.9128 \text{ mm}^2 * 4.120 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$19601.04059 = 19095.53496$$

Combustible Diesel

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de continuidad.

$$20208.3 \text{ mm}^2 * 0.96995 \frac{m}{s} = 5790.9128 \text{ mm}^2 * 3.2975 \frac{m}{s}$$

$$24977.4588 = 23858.5607$$

Simulación 2 Aceite de motor.

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de continuidad.

$$465.29 \text{ mm}^2 * 0.946925 \frac{m}{s} = 1089.27 \text{ mm}^2 * 0.4873 \frac{m}{s}$$

$$437.3726 = 530.8012$$

Combustible Diesel

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de continuidad.

$$465.29 \text{ mm}^2 * 0.8374 \frac{m}{s} = 1089.27 \text{ mm}^2 * 1.1825 \frac{m}{s}$$

$$389.633 = 1285.3386$$

6.6.2. Corroboración de la ecuación de Bernoulli

Simulación 1 Aceite de motor.

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de Bernoulli teniendo en cuenta que no existe un cambio de altura.

$$3.020e^4 Pa + \frac{1}{2} 889 * 1.236^2 m/s = 9.830e^3 Pa + \frac{1}{2} 889 * 4.120^2 m/s$$

$$30879.06087 = 17375.12$$

Combustible Diesel

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de Bernoulli teniendo en cuenta que no existe un cambio de altura.

$$4.402e^3 Pa + \frac{1}{2} 846 * 0.96995^2 m/s = 5.674e^2 Pa + \frac{1}{2} 846 * 3.2975^2 m/s$$

$$4799.04059 = 5166.893144$$

Simulación 2

Aceite de motor

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de Bernoulli teniendo en cuenta que no existe un cambio de altura.

$$773Pa + \frac{1}{2}889 * 0.946925^2m/s = 2.748e^1Pa + \frac{1}{2}889 * 0.487375^2m/s$$

$$1166.16 = 129.89$$

Combustible Diesel

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de Bernoulli teniendo en cuenta que no existe un cambio de altura.

$$252.1666Pa + \frac{1}{2}846 * 0.83474^2m/s = 1.350e^1Pa + \frac{1}{2}846 * 1.1825^2m/s$$

$$545.9091 = 604.98$$

6.6.3. Corroboración de la ecuación de la masa

Simulación 1.

Aceite de motor.

Se realiza el cálculo de residuos variando únicamente el fluido del sistema

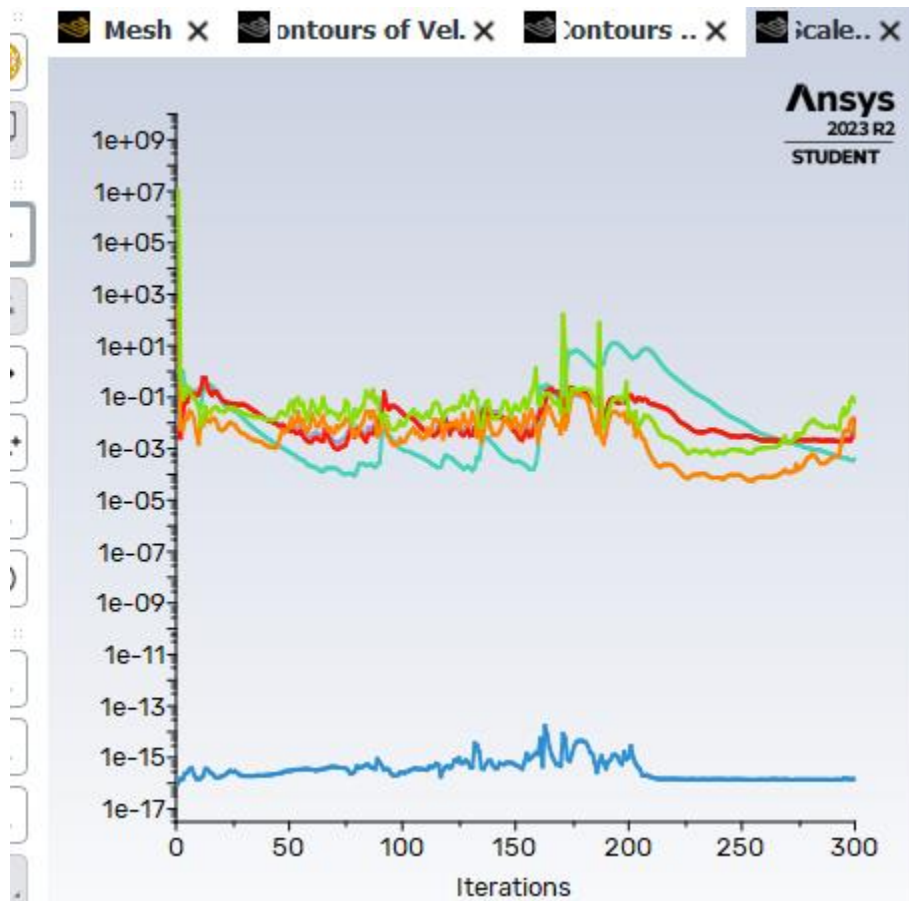


Figura 6.6.1 Resultados residuos aceite simulación 1. Fuente: Autoría propia.

Cuando los cálculos del sistema estén completos, se realiza el reporte de masa de la simulación.

Console	
Mass Flow Rate	[kg/s]
-----	-----
report-def-0	-0.60087471
Mass Flow Rate	[kg/s]

Figura 6.6.2 Reporte de flujo de masa aceite simulación 1. Fuente: Autoría propia.

Aunque en las primeras iteraciones de la simulación esta tenga cambios abruptos en continuidad, en las últimas esta logra estabilizarse variando gradualmente el valor de la continuidad permitiendo el correcto cumplimiento de la ley de conservación de la masa.

Combustible Diesel

Primeramente, se procede a inicializar nuevamente la simulación y realizar los cálculos de esta, la solución al converger presenta los resultados de los residuos del combustible Diesel

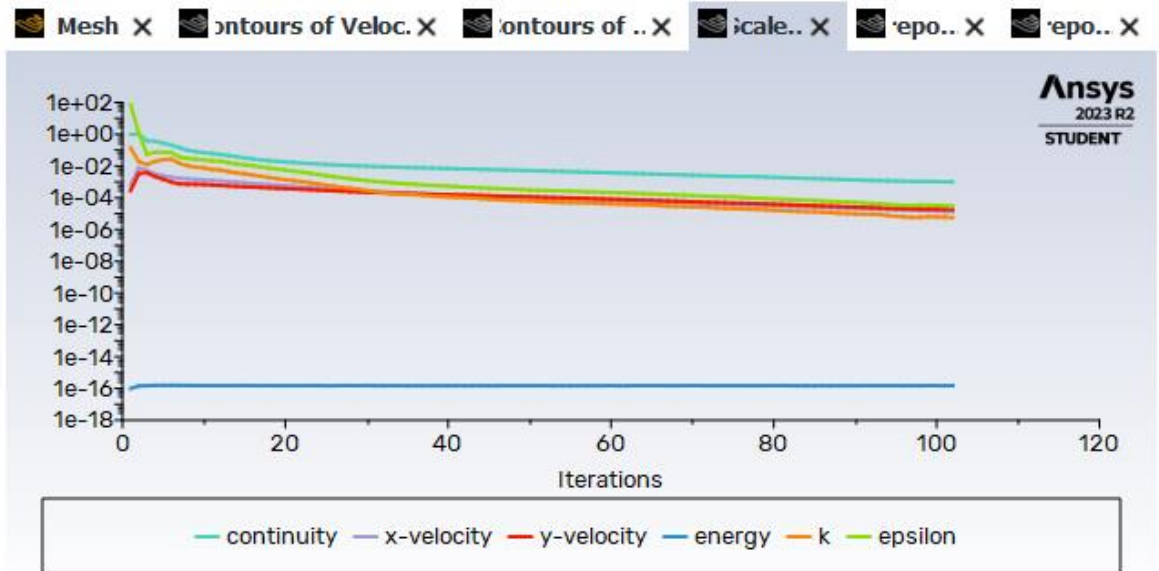


Figura 6.6.3 Resultados residuos Diesel simulación 1. Fuente: Autoría propia.

Con los cálculos de la simulación realizados se procede a realizar el reporte del flujo de masa.

Console	

Mass Flow Rate	[kg/s]

report-def-2	0.0017301054
Mass Flow Rate	[kg/s]

Figura 6.6.4 Reporte de flujo de masa Diesel simulación 2. Fuente: Autoría propia.

Simulación 2. Aceite de motor

Se inicializa la simulación y se corren los cálculos de esta, cuando esto sucede se abre una ventana con la gráfica de residuos.

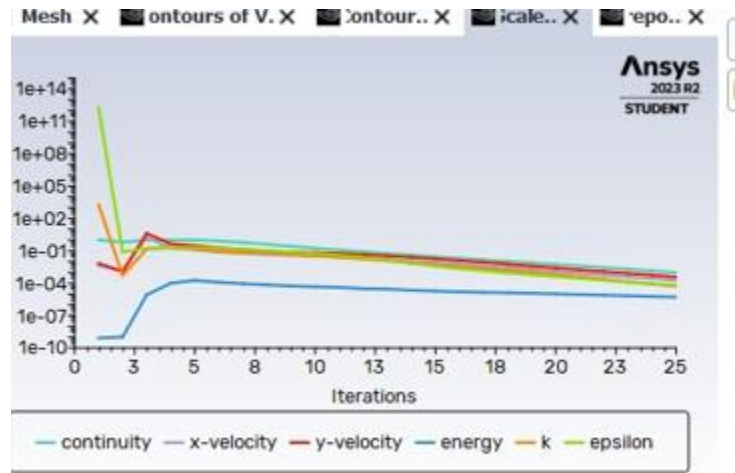


Figura 6.6.5 Resultados residuos aceite simulación 2. Fuente: Autoría propia.

Se procede a realizar el reporte de flujo de masa.

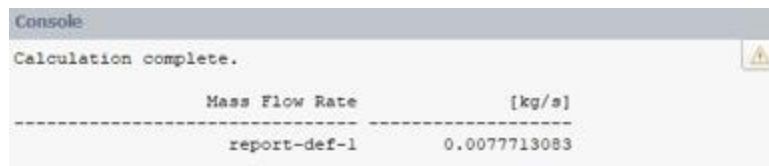


Figura 6.6.6 Reporte de flujo de masa aceite simulación 2. Fuente: Autoría propia.

Combustible Diesel

Nuevamente se inicializa la simulación con el nuevo fluido y se corren los cálculos para observar el comportamiento de los residuos.

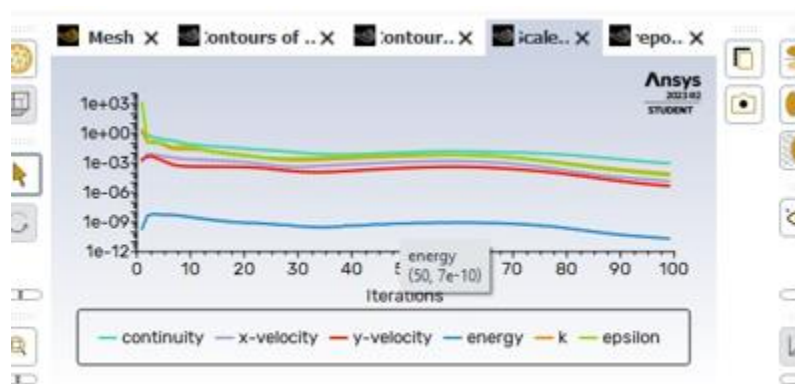


Figura 6.6.7 Resultados residuos Diesel simulación 2. Fuente: Autoría propia.

Ahora de nueva cuenta se realiza el reporte de flujo de masa de la simulación.

```

Console
k
epsilon
Done.
Calculation complete.

-----
Mass Flow Rate                               [kg/s]
-----
report-def-1                                -6.8035283e-05

```

Figura 6.6.8 Reporte de flujo de masa Diesel simulación 2. Fuente: Autoría propia.

6.7. Parámetros de nivel y caudal de los sistemas

En la presente sección se realizan los cálculos de los valores de nivel y caudal en ambas simulaciones y con los fluidos de agua, aceite de motor y combustible Diesel.

6.7.1. Caudal

Según la fórmula de caudal las únicas variables son volumen y tiempo, por ende, el usuario posee la capacidad de definir el tiempo de la simulación.

- El primer paso es en ANSYS Fluent cambiar la opción en el menú “Setup-General” la opción de tiempo de simulación de “Steady” a “Transient”

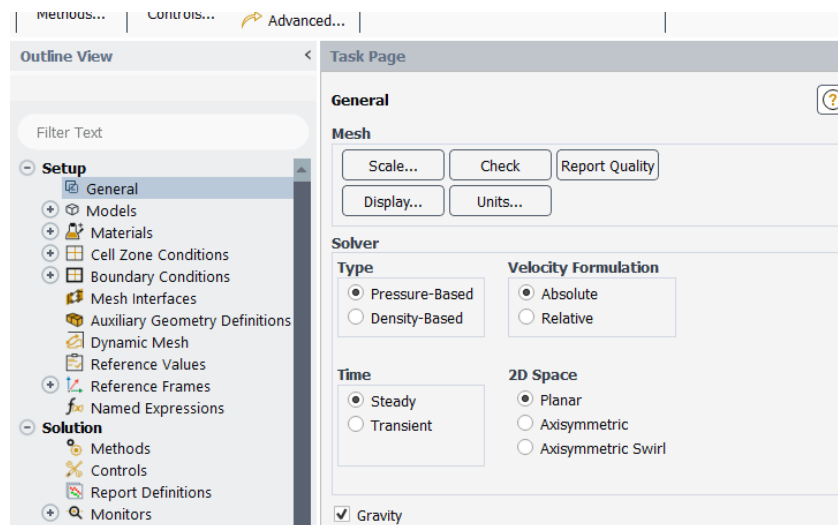


Figura 6.7.1 Cambio tiempo de simulación. Fuente: Autoría propia.

- Finalmente, al momento de correr los cálculos se varían los valores de “Time steps” y “Number of time steps”, en donde la primera opción es la cantidad en segundos que dura un time step y la segunda opción es la cantidad de time steps en la simulación, por ejemplo, si el time step es de 1 segundo y la cantidad de time steps es de 8, el tiempo a reemplazar en la ecuación de caudal es de 8 segundos.

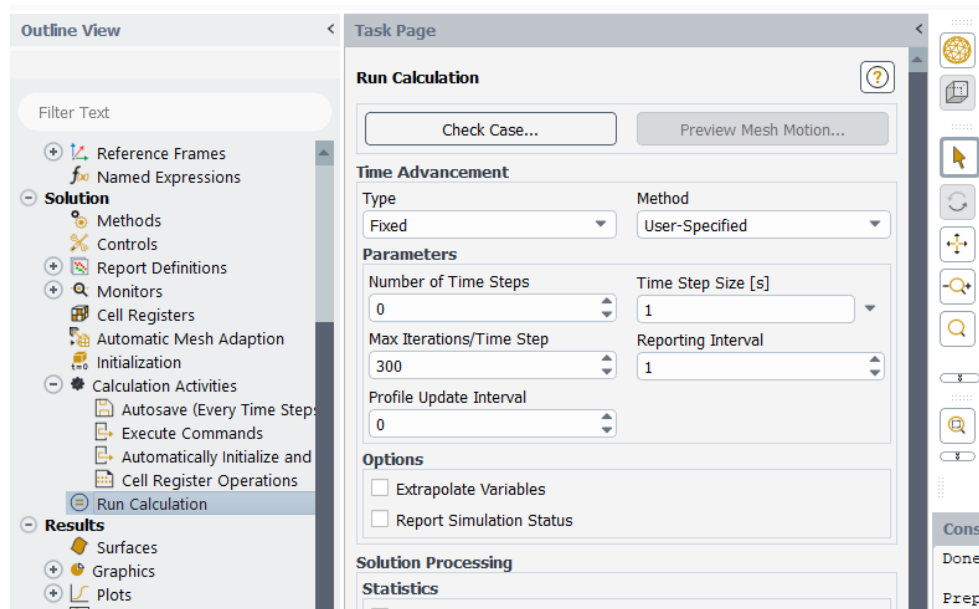


Figura 6.7.2 Configuración para determinar el tiempo de duración de la simulación. Fuente: Autoría propia.

Con esto en cuenta se procede a realizar los cambios en las configuraciones de todas las simulaciones por las siguientes.

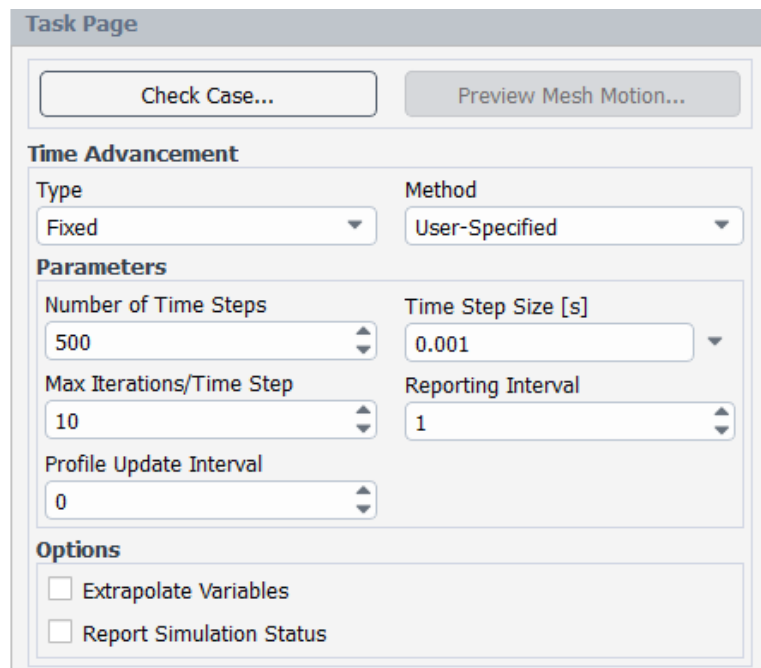


Figura 6.7.3 Ajuste de duración de la simulación. Fuente: Autoría propia.

Esto se realizó debido a las limitaciones de los computadores ya que la simulación en tiempo transitorio en ANSYS consume demasiados recursos, por ende, se limitó el tiempo de todas las simulaciones a 0.5 segundos.

Para hallar el volumen se debe de generar un reporte de volumen, al igual que el reporte de flujo de masa este es una opción que brinda ANSYS Fluent, este es un reporte del volumen general a través de todo el sistema.

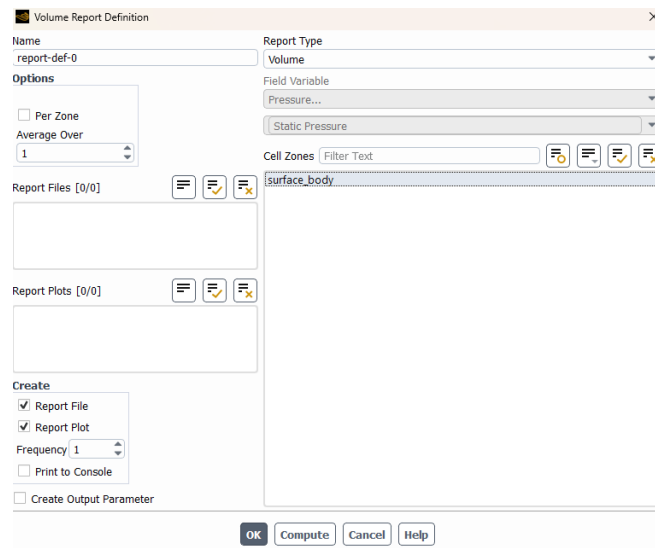


Figura 6.7.4 Generación reporte de volumen. Fuente: Autoría propia.

Simulación 1.

Se inicia con la generación del reporte de volumen en los tres fluidos trabajados, pero en todos los casos el volumen es el mismo, aunque se cambie el tiempo de la simulación o el número de iteraciones por time step, así que con un volumen y tiempo iguales, los tres fluidos poseerán el mismo caudal.

Setting Post Processing and Surfaces information ...

Volume	[m^3]
surface_body	0.071329974

Figura 6.7.5 Reporte de volumen simulación 1. Fuente: Autoría propia.

Se reemplazan los valores en la fórmula de caudal.

$$Q = \frac{0.0713m^3}{0.5s}$$

$$Q = 0.1426 \frac{m^3}{s}$$

Simulación 2.

Se inicia con la generación del reporte de volumen, al igual que en el primer sistema los 3 fluidos poseen el mismo volumen y, por ende, el mismo caudal.

Console	
Volume	[m^3]
solid-surface_body	0.0015545615
Volume	[m^3]

Figura 6.7.6 Reporte de volumen simulación2. Fuente: Autoría propia.

Se reemplazan los valores en la fórmula de caudal.

$$Q = \frac{0.001554m^3}{0.5s}$$

$$Q = 3.108e^{-3} \frac{m^3}{s}$$

6.7.2. Nivel

Simulación 1.

Agua.

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de nivel para la sección 1 de la simulación.

$$H = \frac{5.215e^3}{997 * 9.8}$$

$$H = 0.53m$$

Se realiza el mismo procedimiento para la sección 2.

$$H = \frac{6.474e^2}{997 * 9.8}$$

$$H = 0.0662m$$

Aceite de motor

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de nivel en la sección 1 de la simulación.

$$H = \frac{3.020e^4}{889 * 9.8}$$

$$H = 3.4664m$$

Se realiza el mismo procedimiento para la sección 2.

$$H = \frac{9.830e^3}{889 * 9.8}$$

$$H = 1.128m$$

Combustible Diesel

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de nivel en la sección 1 de la simulación.

$$H = \frac{4.402e^3}{846 * 9.8}$$

$$H = 0.5309m$$

Se realiza el mismo procedimiento para la sección 2.

$$H = \frac{5.674e^2}{846 * 9.8}$$

$$H = 0.0684m$$

Simulación 2. Agua.

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de nivel para la sección 1 de la simulación.

$$H = \frac{261.5233}{997 * 9.8}$$

$$H = 0.026m$$

Se realiza el mismo procedimiento para la sección 2.

$$H = \frac{9.937e^1}{997 * 9.8}$$

$$H = 0.0101m$$

Aceite de motor

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de nivel en la sección 1 de la simulación.

$$H = \frac{773}{889 * 9.8}$$

$$H = 0.088m$$

Se realiza el mismo procedimiento para la sección 2.

$$H = \frac{2.748e^1}{889 * 9.8}$$

$$H = 3.1541e^{-3}m$$

Combustible Diesel

Se reemplazan los valores obtenidos en la ecuación de nivel en la sección 1 de la simulación.

$$H = \frac{256.1666}{846 * 9.8}$$

$$H = 0.0308m$$

Se realiza el mismo procedimiento para la sección 2.

$$H = \frac{1.350e^1}{846 * 9.8}$$

$$H = 1.6283e^{-3}m$$

7. Conclusiones y Trabajos futuros

7.1. Conclusiones

Aunque ciertamente las leyes de los fluidos se cumplen en ambas simulaciones con los tres fluidos (agua, aceite de motor y combustible Diesel), los resultados teóricos de las ecuaciones no son una igualdad, esto ocurre debido a que en algunas ocasiones no se toman todos los valores ya sea de presión o velocidad o simplemente se toman los valores predominantes en la sección.

En la simulación 2 los resultados de las ecuaciones se producen por el área de ambas secciones de la boquilla ya que la línea divisoria de esta simulación se encuentra en el momento en que se ensancha la boquilla, se optó por posicionar esta división en este lugar con el fin de poder ver el comportamiento de la simulación en condiciones de cambio abrupto de las variables de presión y velocidad, a diferencia de la simulación 1 en donde existe una sección de paso en la cual el sistema se estrecha para después ensancharse un poco.

En esta simulación el caso más curioso es el aceite de motor en donde en la ecuación de Bernoulli existe una gran diferencia teórica pero experimentalmente se cumple esta ley, aunque en la sección 2 existe un comportamiento constante de presión, aunque esta debería tener un comportamiento de incremento, esto puede ser debido a la viscosidad, esta afecta la ecuación de Bernoulli principalmente en situaciones en las que el fluido no es ideal, es decir, cuando hay efectos viscosos significativos. La ecuación de Bernoulli se deriva asumiendo un flujo de fluido no viscoso e incompresible. Cuando la viscosidad es relevante, se pueden introducir términos adicionales en la ecuación para tener en cuenta los efectos viscosos, comparando con los otros dos fluidos el aceite de motor es más viscoso que el agua y el combustible Diesel.

En ambas simulaciones el volumen es constante independientemente del fluido esto se puede deber gracias al uso de propiedades de material constantes para diferentes fluidos, o por la geometría fija de los sistemas.

Los resultados presentados con relación al nivel del fluido dependen del volumen del mismo, a mayor volumen, mayor será el nivel, también la temperatura puede afectar el nivel del líquido, especialmente si se trata de un líquido que experimenta expansión o contracción significativa con cambios de temperatura, en el presente proyecto se trabajó con 300 K es decir unos 26 °C se toma en cuenta que la temperatura ambiente es de 26 °C. Esto explica los resultados grandes de nivel en la simulación 1 especialmente con aceite de motor, también es posible debido a que la sección 1 y el tubo en forma de U poseen la misma presión, donde se tome una sumatoria de alturas de la sección 1 y el tubo.

Con los resultados expuestos en el presente proyecto se concluye que ANSYS puede ser una buena alternativa a la hora de realizar simulaciones de CFD y problemas relacionados con los fluidos.

7.2. Trabajos futuros

Como trabajos futuros se plantea el diseño de ejercicios o laboratorios enfocados únicamente en temática de nivel y caudal o tomar las simulaciones 1 y 2 visualizadas en el presente proyecto de grado realizando los ajustes y mediciones pertinentes para poder considerar estas simulaciones como gemelos digitales, basándose en modelos reales. También es posible tomar las simulaciones presentadas o la realización de unas nuevas e indagar más a fondo o buscar herramientas que ANSYS incorpore en futuras actualizaciones, para poder visualizar nivel, caudal y ecuación de continuidad desde el mismo software de manera experimental.

8. Anexos

8.1 Anexo A

GUÍA DE HERRAMIENTAS ANSYS FLUENT

William Fernando Fuentes Ossa
Santiago Estrada Sotelo

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	72
1.1 Objetivos Sensores y actuadores industriales	72
2. DEFINICIONES	73
3. REQUISITOS DEL SISTEMA PARA LA INSTALACIÓN	74
4. DESARROLLO MANUAL DE USUARIO	75
4.1. GEOMETRY	75
4.2 MESH	96
4.3 SETUP	108
4.4 RESULTS	119
5.ACTIVIDAD	122

1.INTRODUCCIÓN

Esta guía tiene como objetivo orientar acerca del uso del software ANSYS, como herramienta de simulación de sistemas de medición de nivel y caudal, para esto se hará uso de la versión estudiantil de ANSYS específicamente ANSYS Fluent, esta herramienta es compleja y potente, por ende, se proporciona una visión general del software. Al poseer la versión estudiante del software varios programas de ANSYS están instalados en una aplicación llamada ANSYS Workbench.

1.1 Objetivos Sensores y actuadores industriales

Objetivo General:

Fundamentar en la concepción teórica y práctica de los sistemas electrónicos de medida para aplicaciones industriales.

Objetivos específicos:

- Determinar los elementos constitutivos de los sistemas electrónicos de medición
- Analizar diferentes topologías para el diseño de sistemas electrónicos de medida de acuerdo a la naturaleza de los sensores.
- Construir sistemas de medición para variables industriales teniendo en cuenta los parámetros normativos vigentes.

2. DEFINICIONES

Ansys Fluent es una herramienta de simulación de dinámica de fluidos computacional (CFD) líder en la industria desarrollada por ANSYS INC, que permite resolver problemas complejos de flujo de fluidos y obtener información detallada sobre el comportamiento de los fluidos en diferentes sistemas. Ansys Fluent proporciona una interfaz gráfica intuitiva que facilita la configuración de la simulación, el procesamiento de datos y la visualización de resultados. Permite definir condiciones de frontera, propiedades del fluido, modelos de turbulencia, transferencia de calor, reacciones químicas y muchas otras características relevantes para cada caso específico.

3. REQUISITOS DEL SISTEMA PARA LA INSTALACIÓN

- Procesador Workstation class
- 4 GB RAM
- 25 GB de espacio disponible en disco duro.
- El computador debe poseer un disco C:/ físico.
- Tarjeta gráfica y driver: Professional workstation class 3-D
- OpenGL-capable

Cabe resaltar que el software utilizado es la versión estudiantil de ANSYS Workbench llamado ANSYS Students, el presente manual es realizado bajo la versión ANSYS Students 2023 R2, la empresa desarrolladora del software se encarga de actualizar el programa cada 6 meses, pero el enlace de descarga es el mismo.

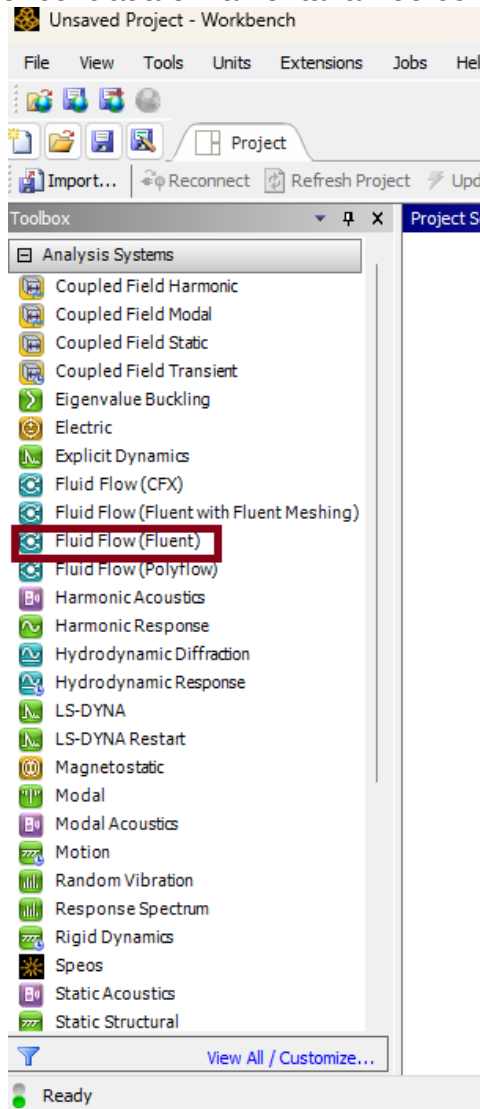
Enlace de descarga: <https://www.ansys.com/academic/students/ansys-student>

4. DESARROLLO MANUAL DE USUARIO

4.1. GEOMETRY

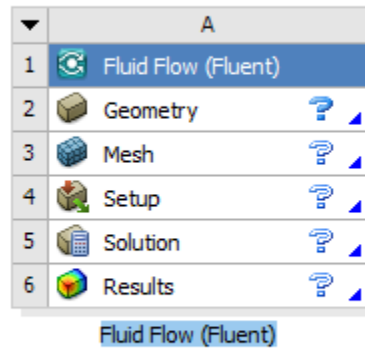
Para el desarrollo del presente manual se realiza una simulación en ANSYS Fluent para verificar el teorema de Bernoulli.

Al momento de abrir el programa ANSYS Workbench hacer clic en la opción “Fluid Flow (Fluent)” encontrada en la ventana Toolbox.



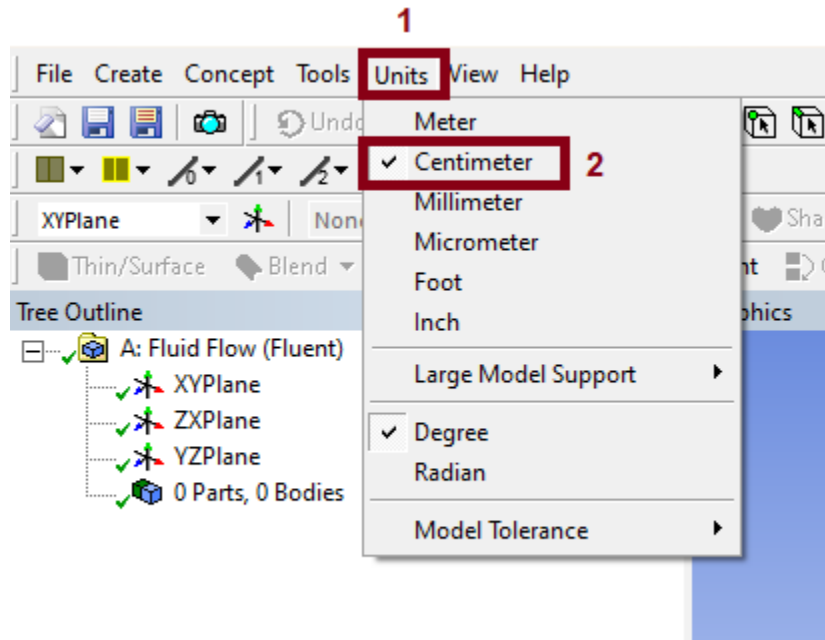
Posteriormente en la ventana Project Schematic aparece una ventana que permite modificar factores importantes dentro de la simulación como puede ser la “malla” (mesh) o “geometría” (geometry).

Project Schematic

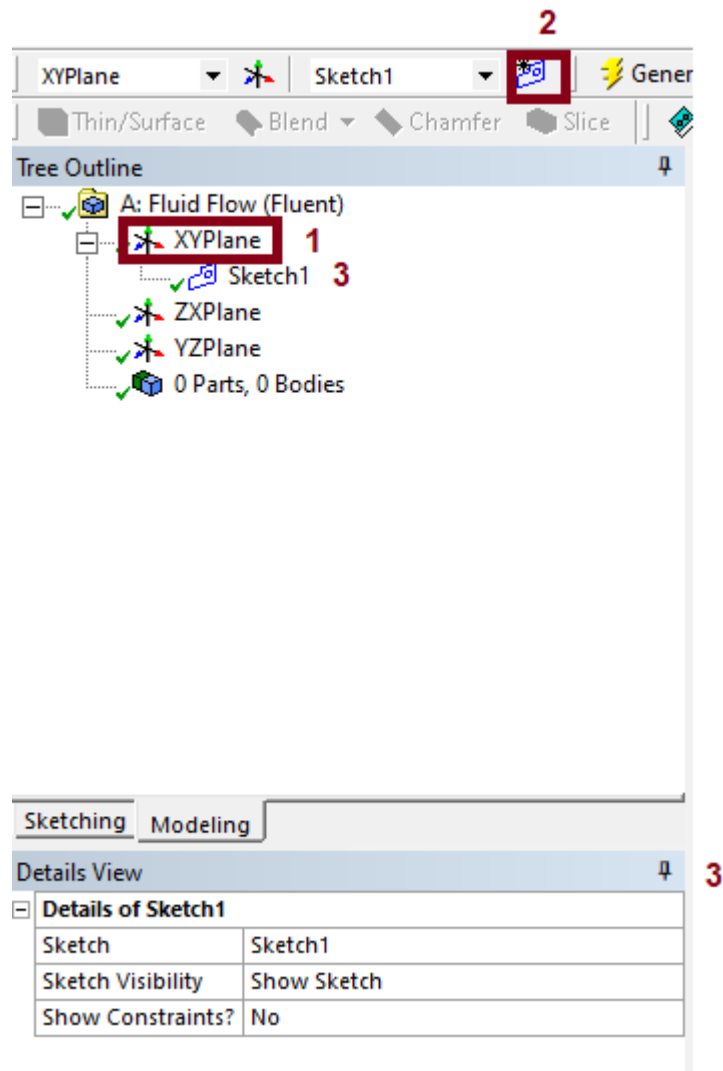


En ANSYS, "geometry" (geometría) se refiere a la representación gráfica y matemática de las formas y estructuras que se van a analizar mediante simulaciones de ingeniería. La geometría es la base sobre la cual se construyen los modelos virtuales de objetos físicos, componentes y sistemas que se someterán a análisis numéricos utilizando el método de elementos finitos.

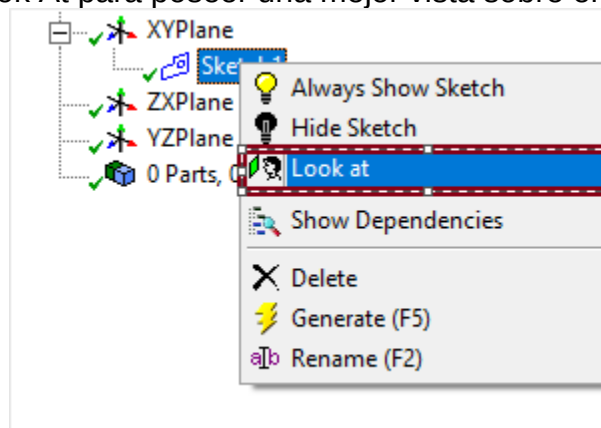
Con el concepto de geometría claro, haciendo clic en la opción geometry se puede importar geometría o crear una geometría desde cero. En este caso se procede a crear una nueva geometría por ende se hace clic en la opción New DesingModeler Geometry.



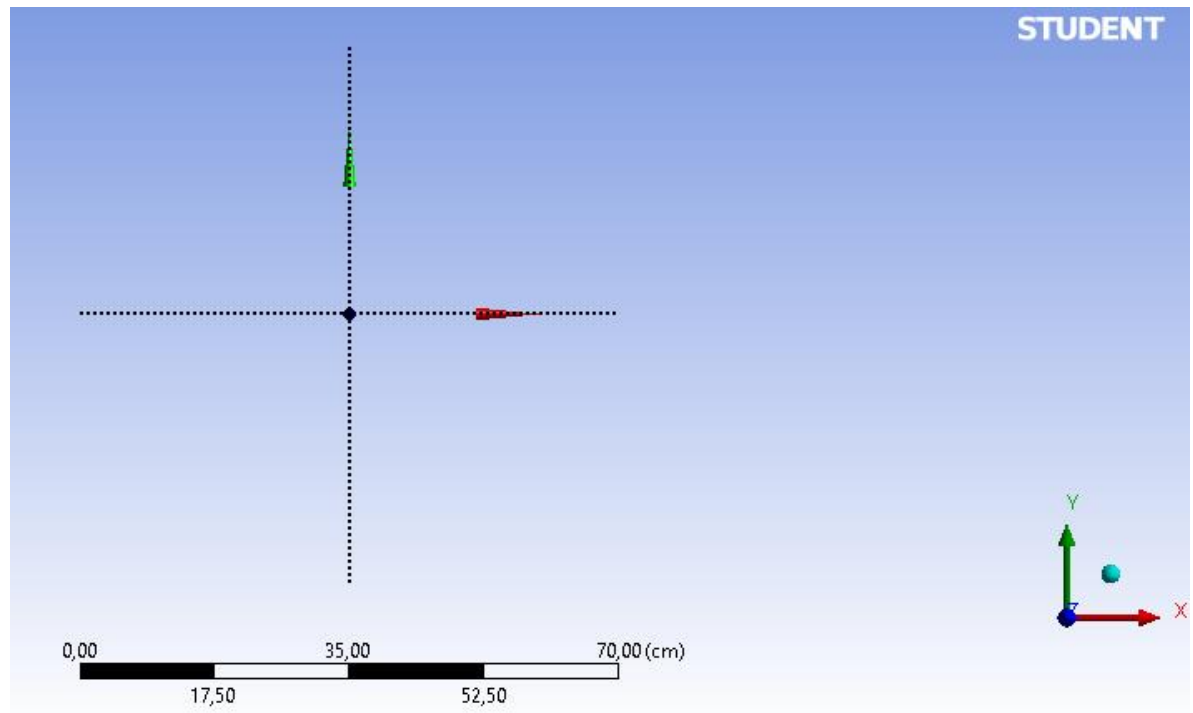
Para iniciar con la simulación se hace clic en el plano XY, después hacer clic en la opción New Sketch, al momento de crear el Sketch debajo de la opción XYPlane una opción llamada Sketch1 y en una ventana en la parte inferior del programa llamada Sketching con los detalles del Sketch serán visibles.



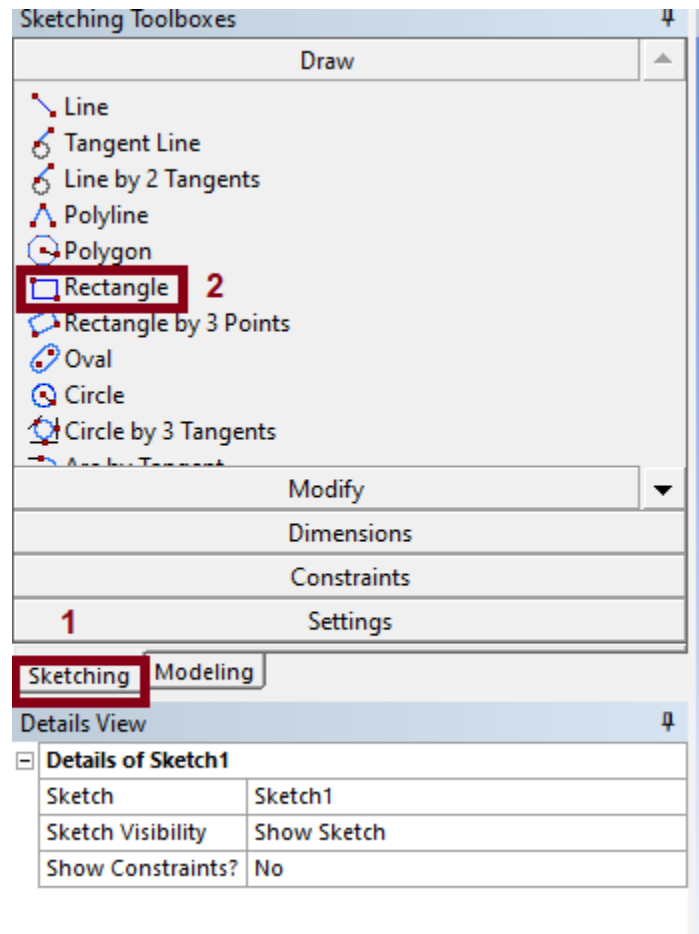
Con el Sketch creado se realiza clic derecho sobre la opción Sketch 1 y seleccionar Look At para poseer una mejor vista sobre el plano.



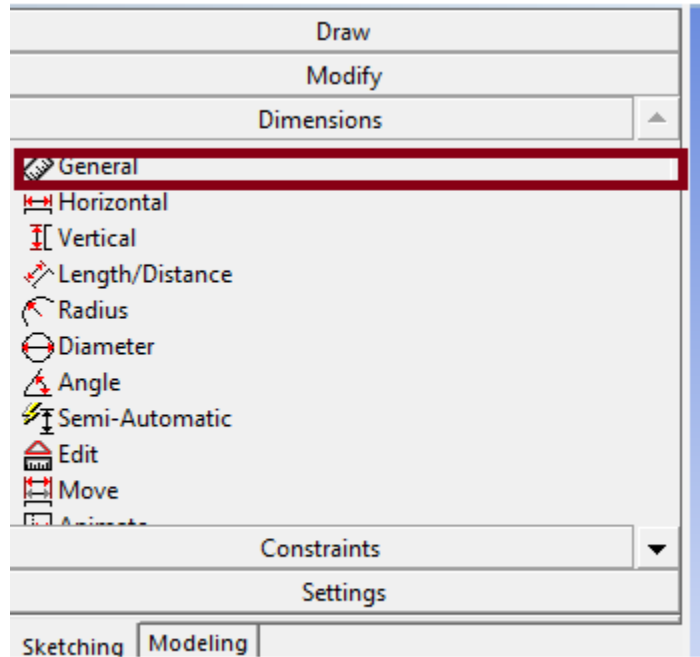
La visualización del plano XY debe quedar de la siguiente manera:



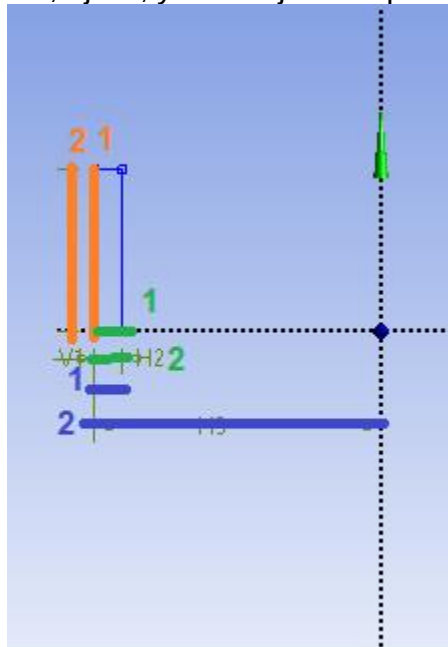
Primero se va a realizar el dibujo de un rectángulo, por lo cual se realiza clic en la pestaña Sketching la cual se encuentra en la ventana situada en la parte inferior izquierda de la pantalla, al dar clic en Sketching, se abre una nueva ventana llamada Sketching Toolboxes, por defecto se despliega la pestaña Draw en la cual buscamos la opción Rectangle.



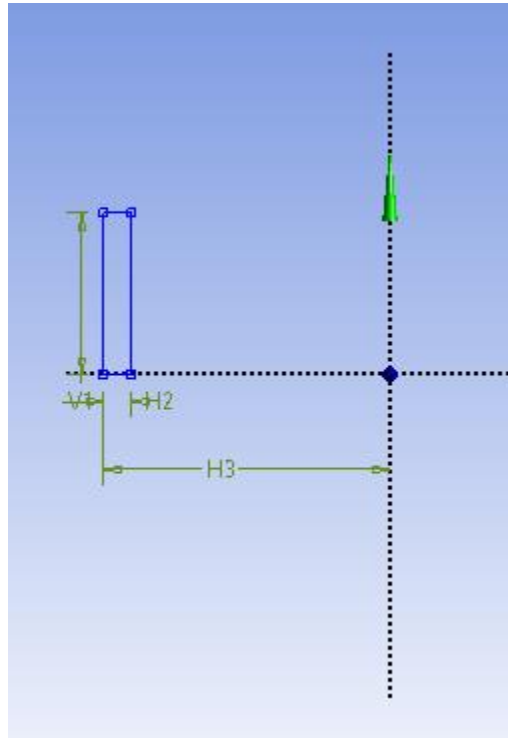
Después de dibujar el rectángulo ajustamos las dimensiones necesarias del mismo, para realizar esta acción, se despliega el menú Dimensions el cual se encuentra como 3 opción dentro de la ventana Sketching Toolboxes y buscamos la opción general.



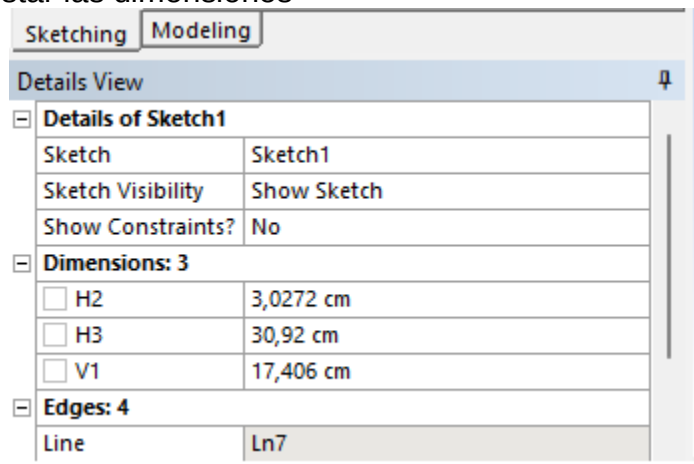
Para ajustar las especificaciones del rectángulo en el plano se hace clic en la dimensión la cual se desea visualizar y modificar dentro del rectángulo y después se hace clic en la parte del plano donde se desea visualizar, en este caso se hace en el eje X, eje Y, y en el eje Y respecto al origen del plano.



El plano debe quedar de la siguiente manera:



Al realizar esta acción se abre una ventana llamada Details View en la cual podemos ajustar las dimensiones

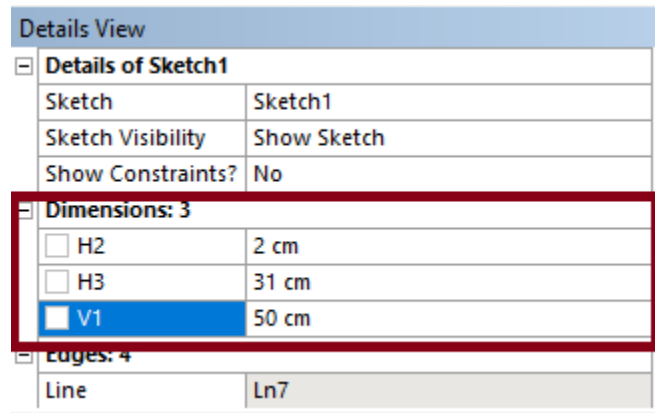


Las dimensiones son las siguientes:

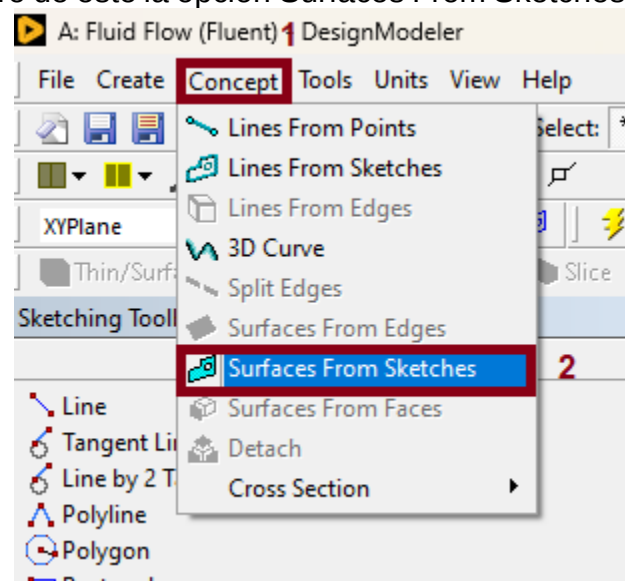
H2: 2 cm.

H3: 31 cm.

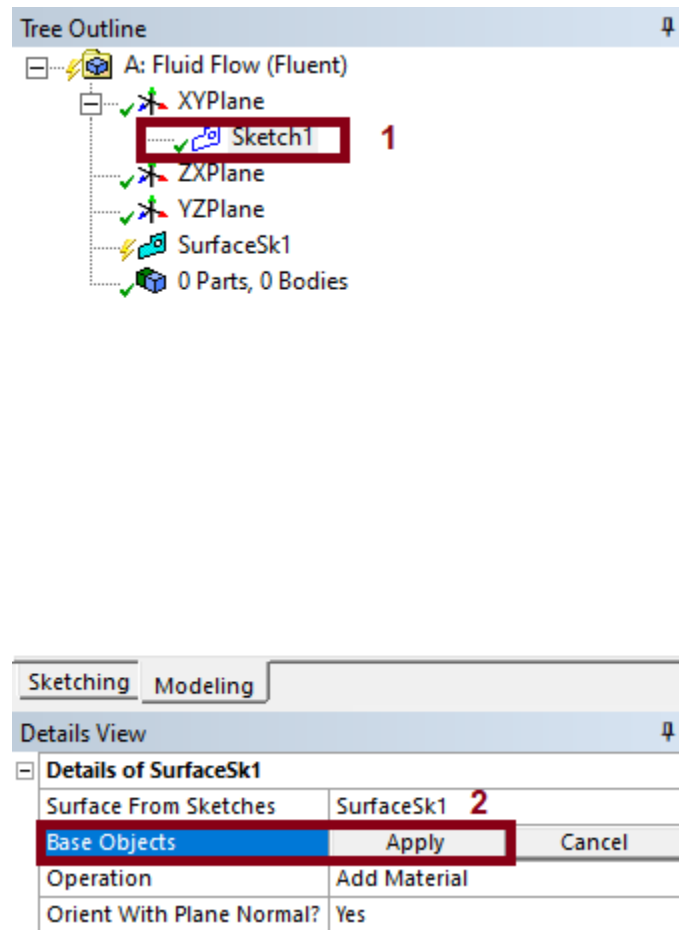
V1: 50 cm.



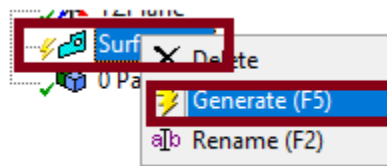
Posteriormente en la barra de menús hacer clic en el menú Concept buscando dentro de este la opción Surfaces From Sketches seleccionándola.



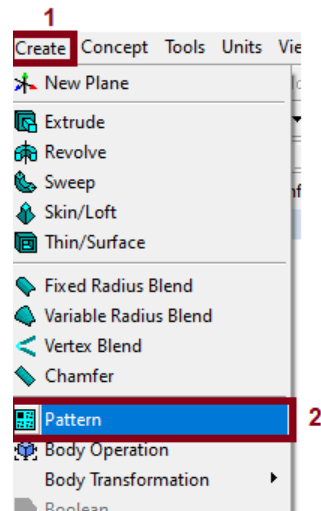
Al realizar esta acción se despliega la primera ventana Tree Outline, se debe realizar clic en la opción Sketch 1 y en la ventana de Details view buscar la opción Base Objects y realizar clic en Apply.



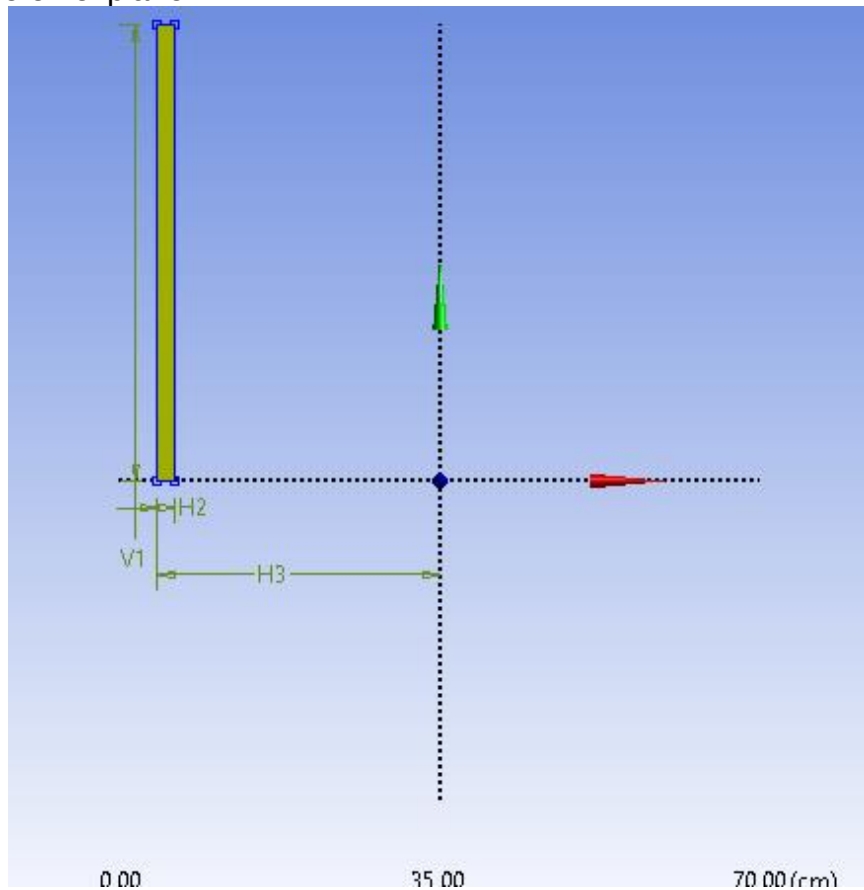
En la opción Tree Outline Buscar la opción Surface SK1 hacer clic izquierdo en esta opción y posteriormente dar clic en Generate.



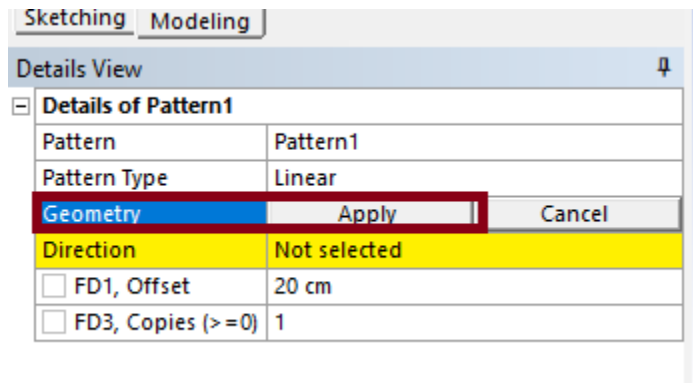
Buscar el menú Create y dentro de este menú la opción Pattern y dar clic en esta opción.



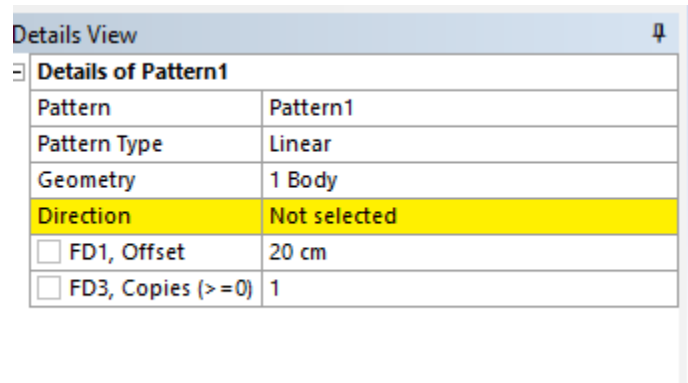
Al momento de hacer clic en Pattern se debe realizar clic en el rectángulo dibujado en el plano



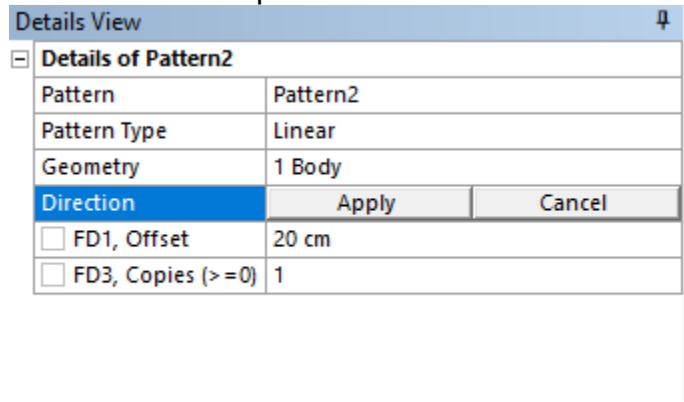
En Details View buscar la opción Geometry y dar clic en Apply



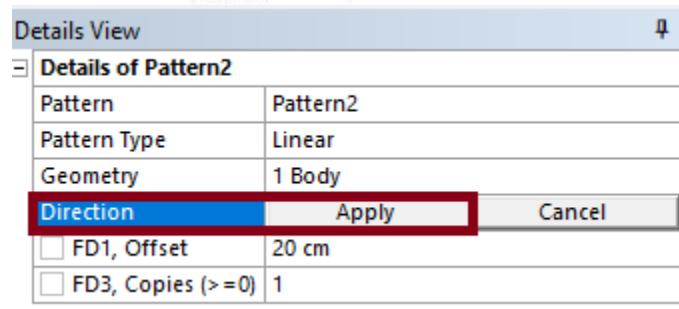
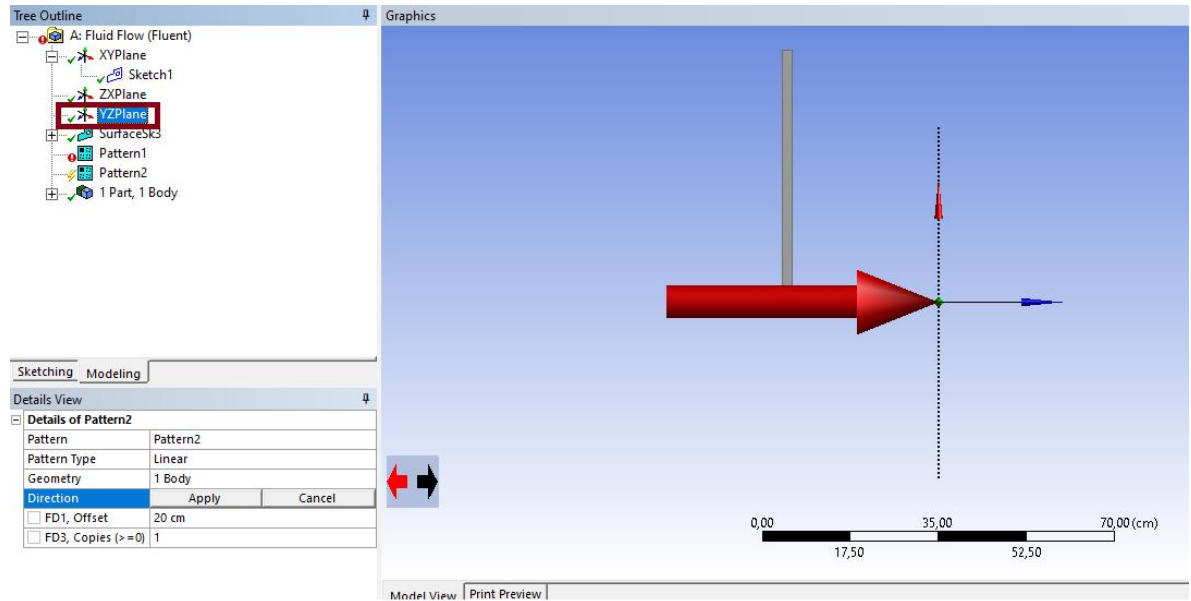
Cuando se selecciona la opción para aplicar, Geometry se debe visualizar de la siguiente manera



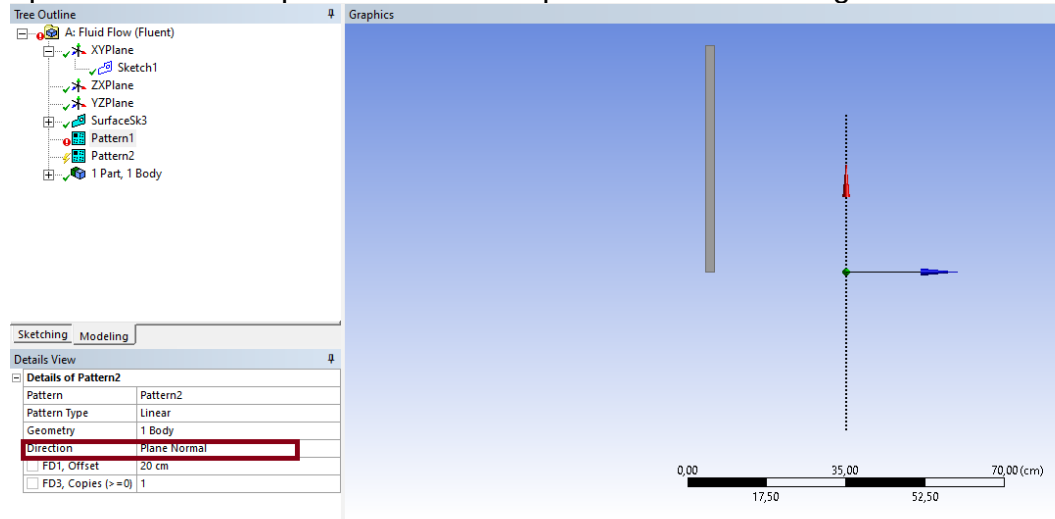
Se realiza el mismo proceso con la opción Direction, el cual es hacer clic en esta opción con esto cambiara el detalle de Not selected a dos opciones Apply y cancel, posteriormente hacer clic en la opción YZPlane y finalmente Apply. Este proceso se realiza para determinar el vector dirección.



Cuando se realiza clic en YZPlane la ventana de Graphics (la ventana en la cual se visualiza el rectángulo y el plano), aparece de la siguiente manera.



Si en la opción Direction aparece en detalles “Plane normal” la dirección fue aplicada mientras que la ventana Graphics resulta de la siguiente manera.

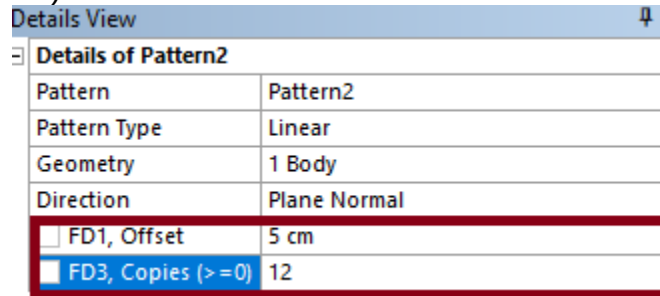


Para finalizar el proceso de creación de Pattern se debe realizar los cambios en las últimas opciones FD y FD3.

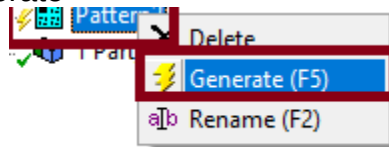
Las especificaciones del presente proyecto son:

FD1, Offset: 5cm.

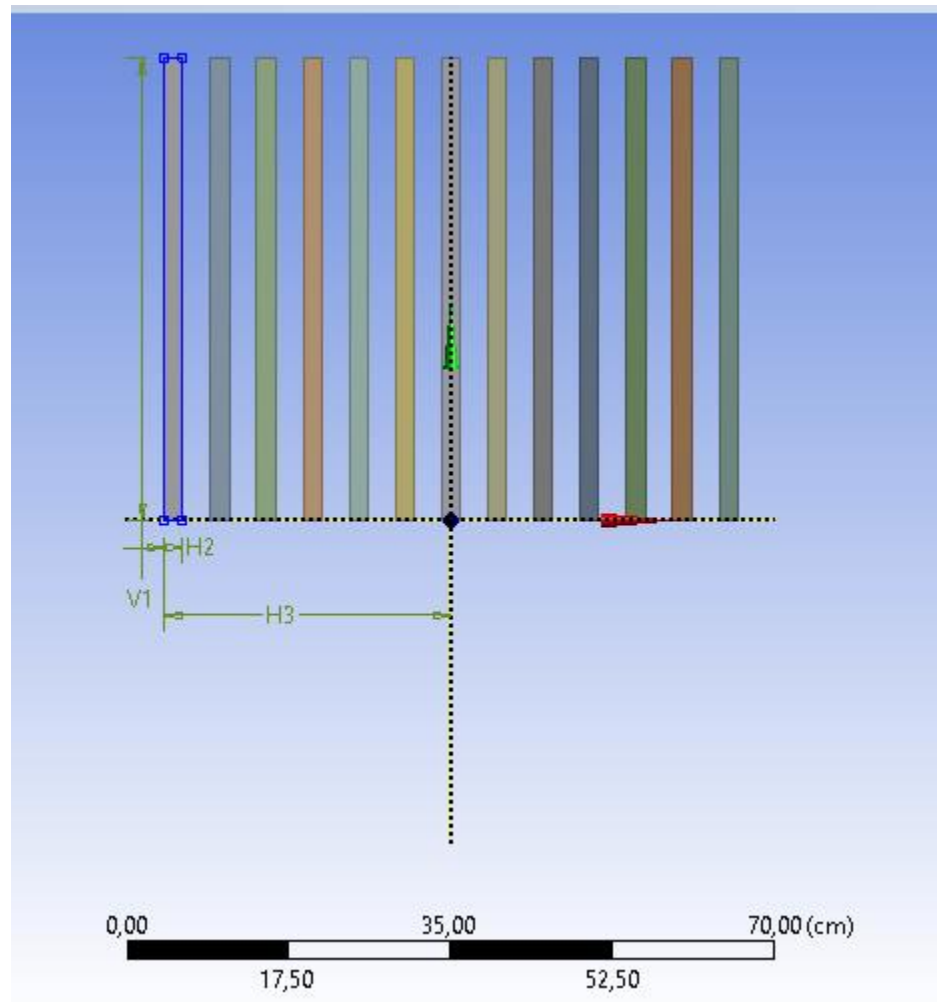
FD3, Copies(>=0): 12



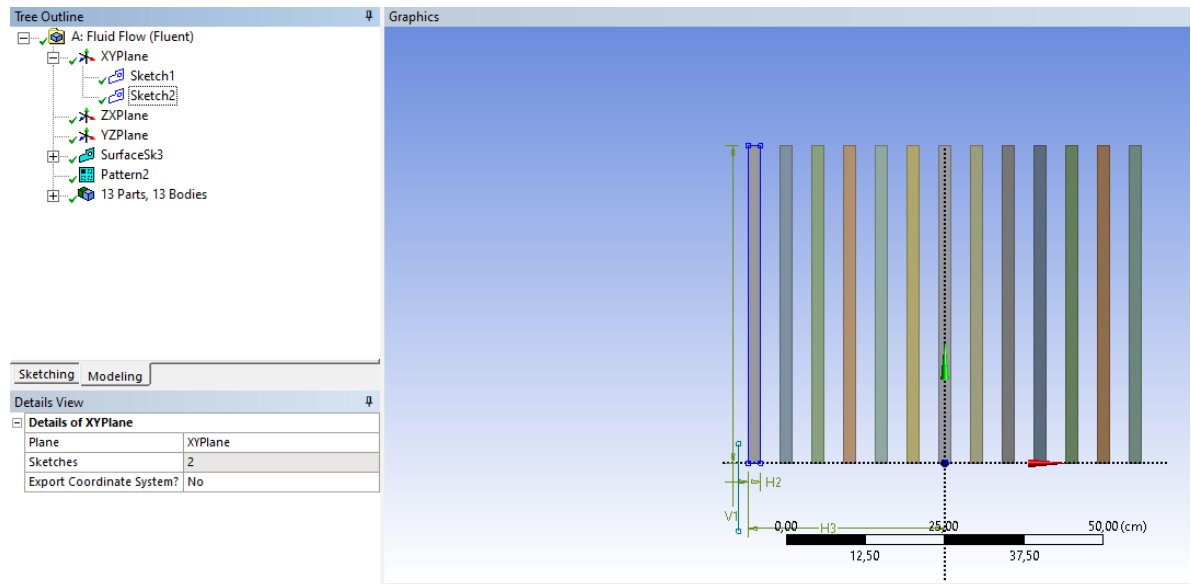
Para crear el Pattern se debe hacer clic izquierdo en la opción Pattern y dar clic en la opción Generate



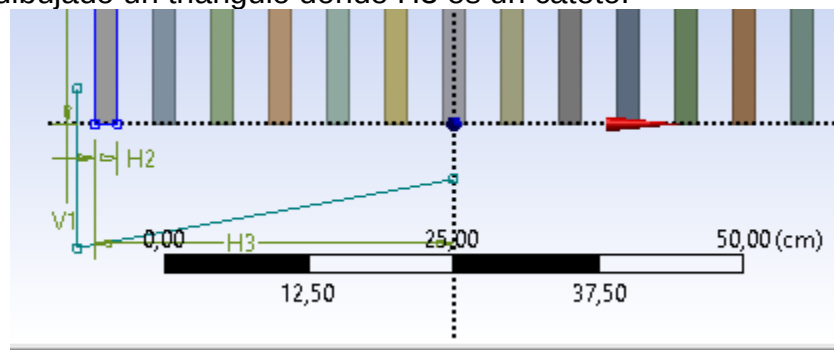
Pattern al ser generado provoca los siguientes cambios en la ventana Graphics.



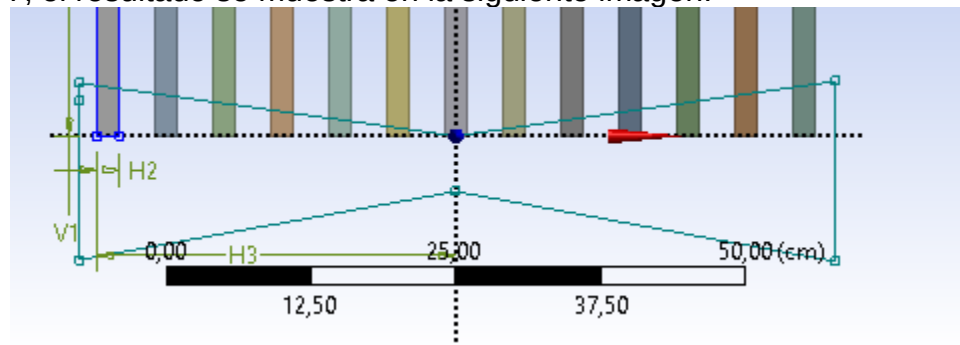
Continuando con la simulación se realiza la creación de un nuevo Sketch en el plano XY, en esta ocasión se busca la opción Line y se dibuja una línea paralela al eje Y, hasta llegar a la misma altura de H3 como se muestra en la siguiente imagen.



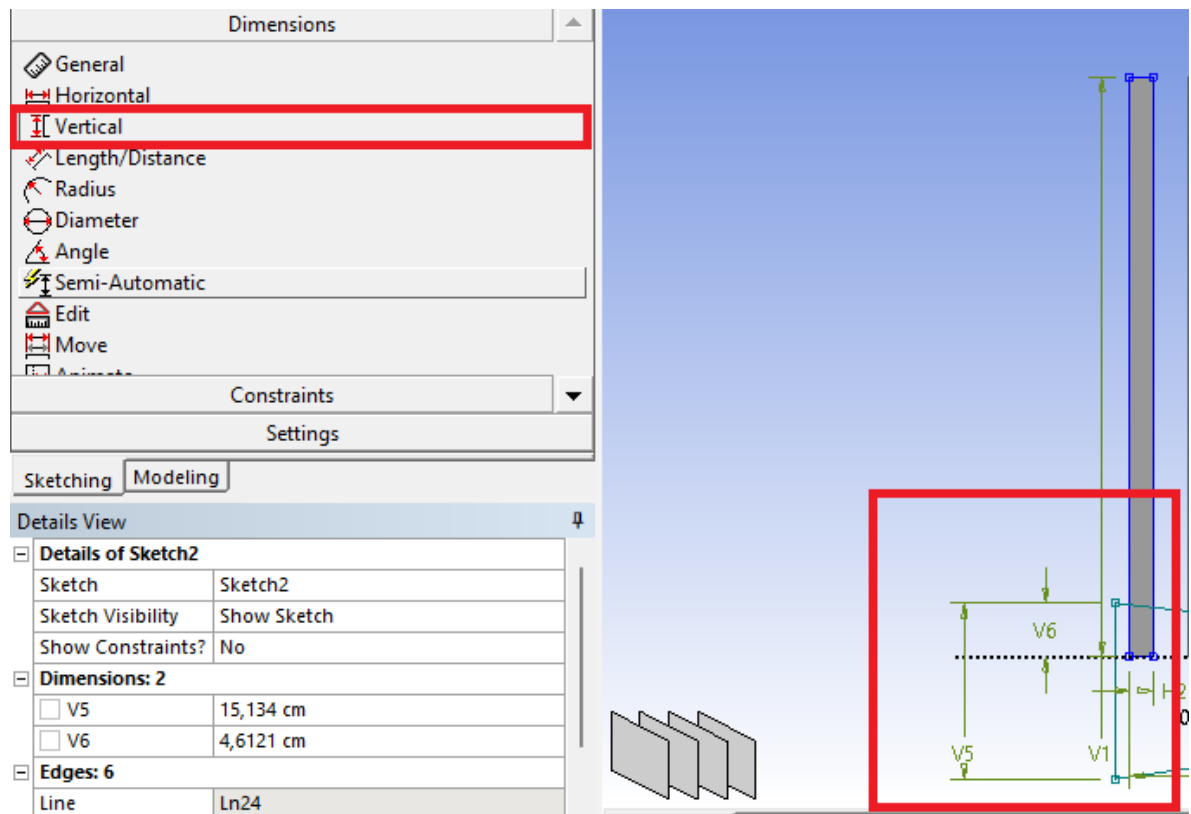
Posteriormente se dibuja otra línea en diagonal al eje X, con esta línea debe quedar dibujado un triángulo donde H3 es un cateto.



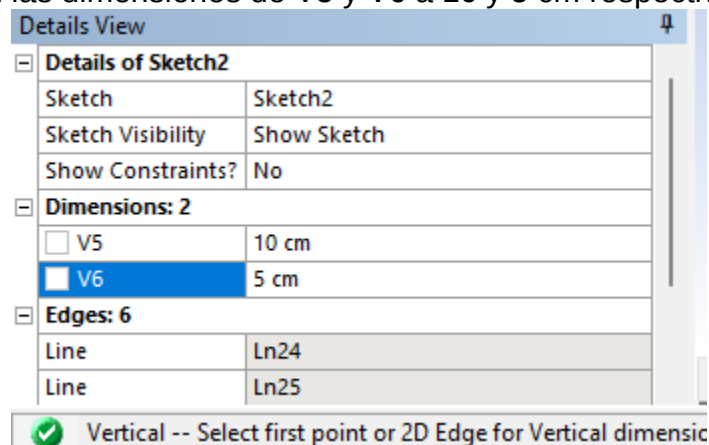
Se realiza nuevamente el dibujo de esta línea diagonal en el cuadrante 4 del plano y en el eje X positivo se realiza un dibujo de una línea paralela al eje Y, de esta línea se dibuja nuevamente dos líneas en diagonal en dirección al eje Y, el resultado se muestra en la siguiente imagen.



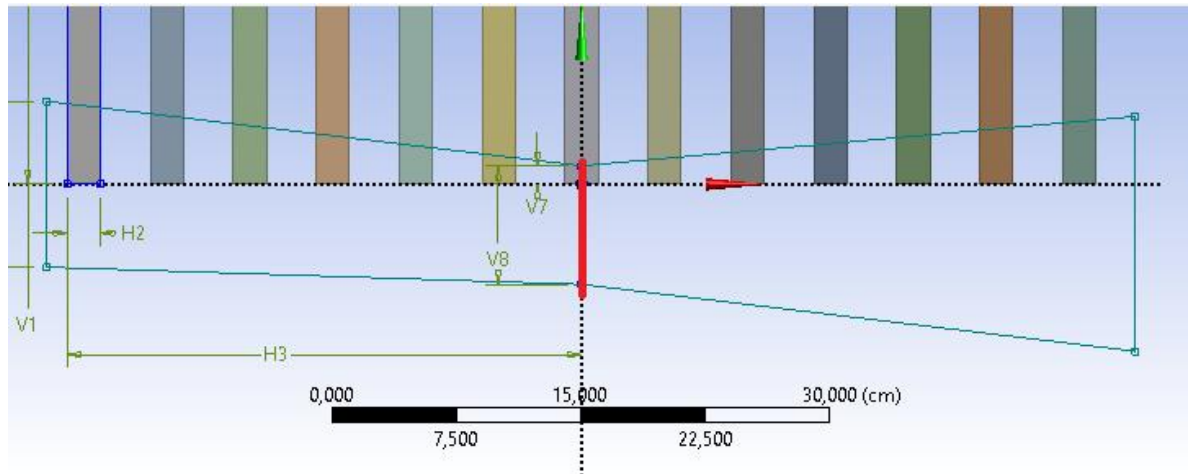
Con la herramienta vertical en el menú Dimensions se crean dos dimensiones nuevas, una parte del origen de la línea paralela al eje Y hasta el eje X, y la otra dimensión cubre toda la línea paralela al eje Y.



Se modifican las dimensiones de V5 y V6 a 10 y 5 cm respectivamente.



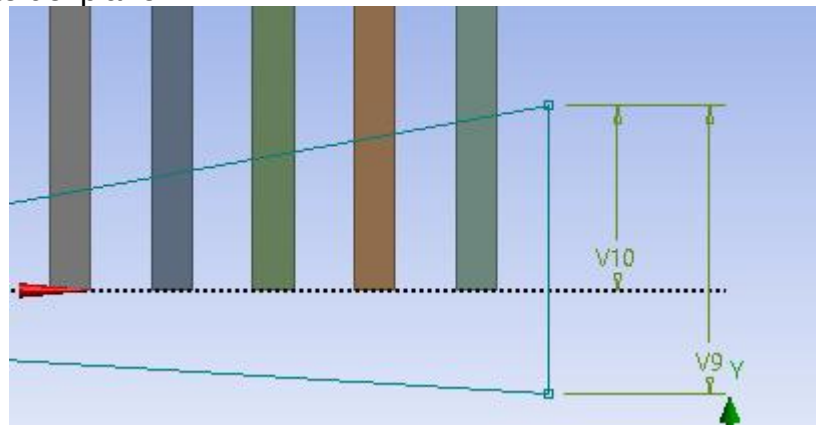
Se hace el mismo proceso con la línea situada sobre el eje Y.



Las dimensiones para V7 y V8 son 3 y 6 cm respectivamente

Details View	
Details of Sketch2	
Sketch	Sketch2
Sketch Visibility	Show Sketch
Show Constraints?	No
Dimensions: 4	
☐ V5	10 cm
☐ V6	5 cm
☐ V7	3 cm
☒ V8	6 cm
Edges: 6	

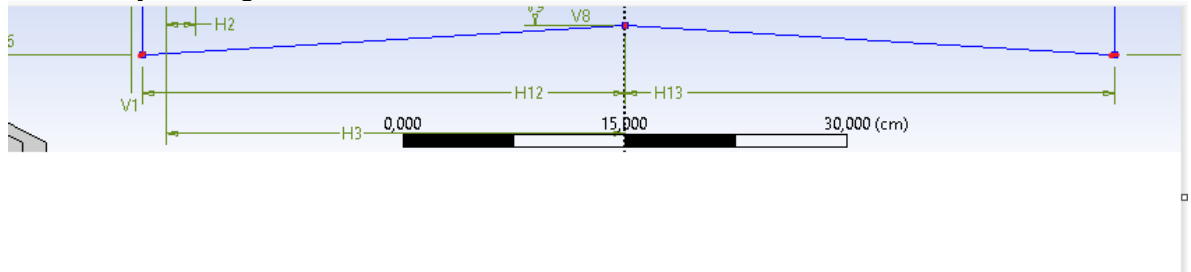
Se realiza el mismo proceso con la línea paralela situada en el primer cuadrante del plano.



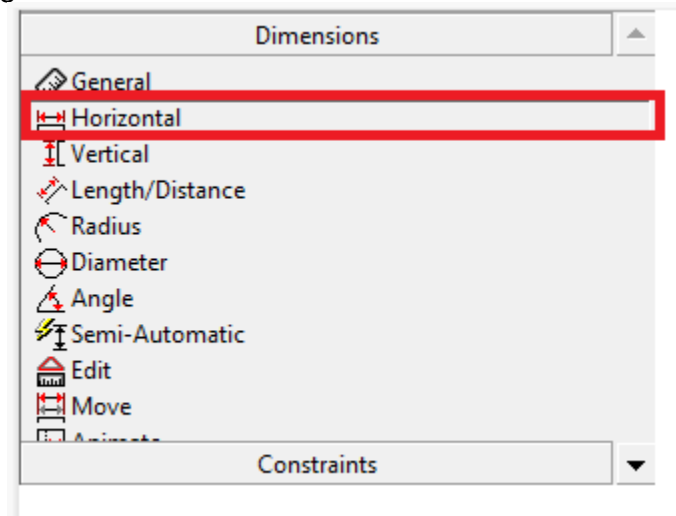
Las dimensiones para esta línea son para v9 y v10 son de 10 y 5 cm respectivamente.

Show Constraints?	No
Dimensions: 6	
☒ V10	5 cm
☐ V5	10 cm
☐ V6	5 cm
☐ V7	3 cm
☐ V8	6 cm
☐ V9	10 cm
Edges: 6	

En el eje Y negativo se realizan nuevas dimensiones con la herramienta horizontal, esta dimensión termina al contacto con el punto de inflexión situado eje Y negativo.



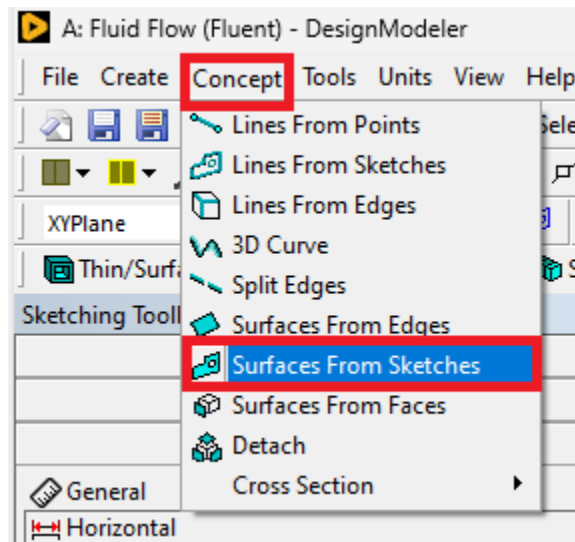
Los puntos rojos en la anterior imagen simbolizan los puntos de inflexión para la toma de dimensiones, la herramienta Dimensions horizontal es vista en la siguiente imagen:



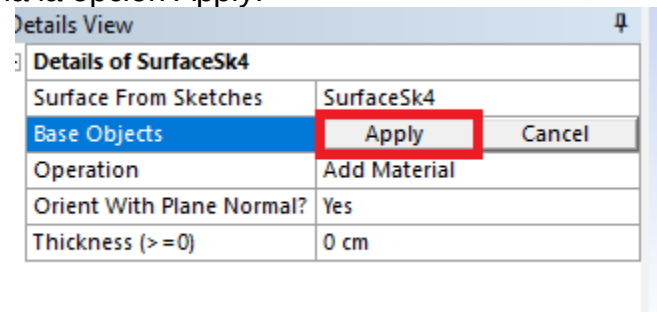
Las dimensiones de H12 y H13 son de 35 cm.

Dimensions: 8	
☐ H12	35 cm
☒ H13	35 cm
☐ V10	10 cm
☐ V11	5 cm
☐ V6	10 cm

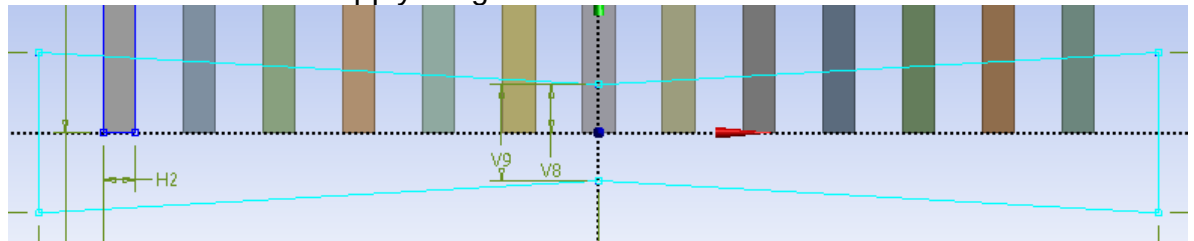
Ahora se busca el menú Concept y se hace clic en la opción Surface from sketches



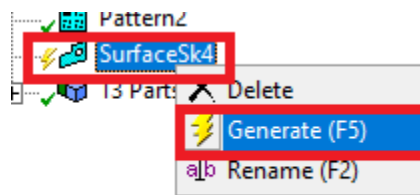
Seguidamente en la esquina inferior izquierda se abre la ventana Details view y se selecciona la opción Apply.



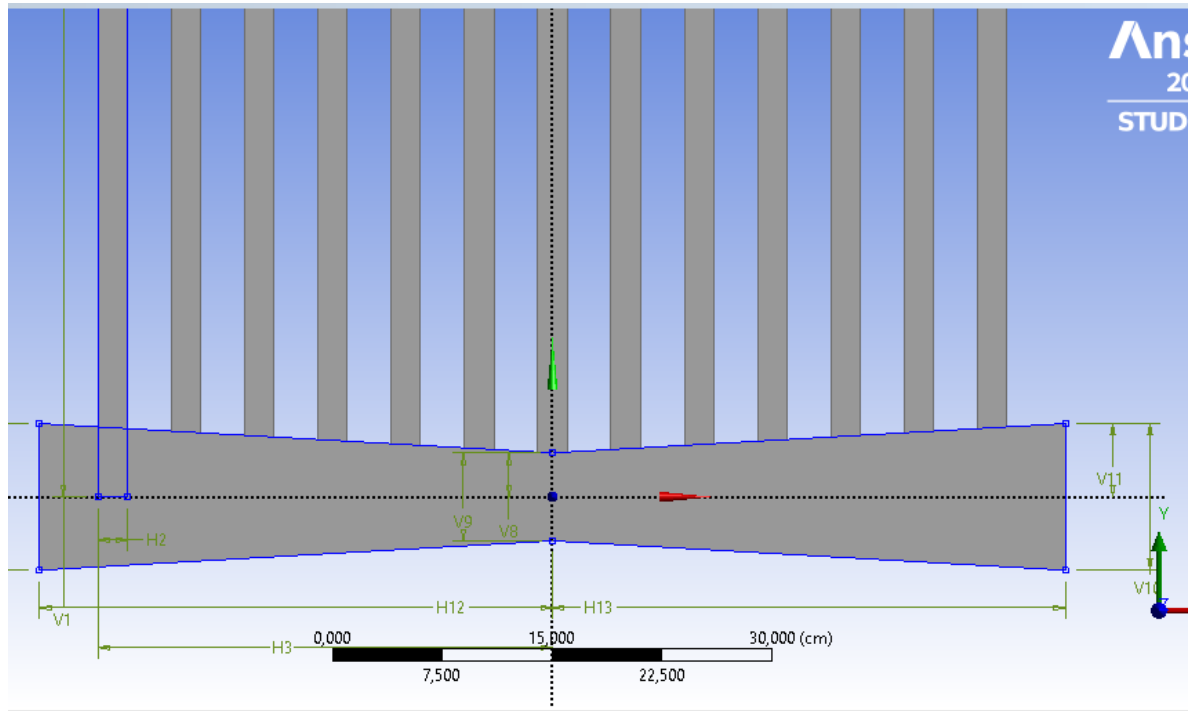
Cuando se selecciona Apply la figura toma un color de azul claro.



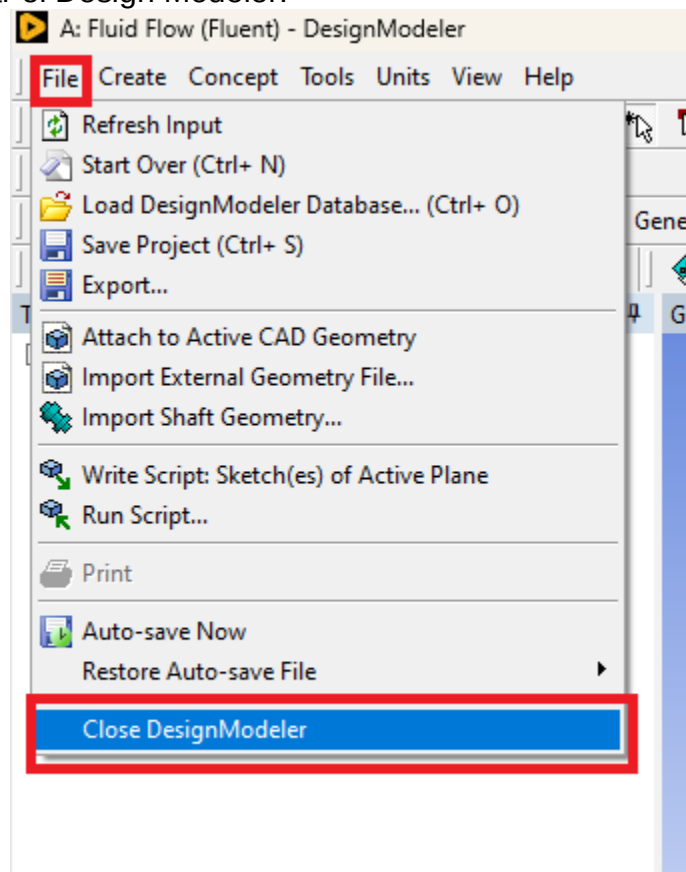
Se debe generar la figura para esto se hace clic derecho en el Surface sketch y clic en generar



Cuando se genera, el plano se muestra como en la siguiente figura.

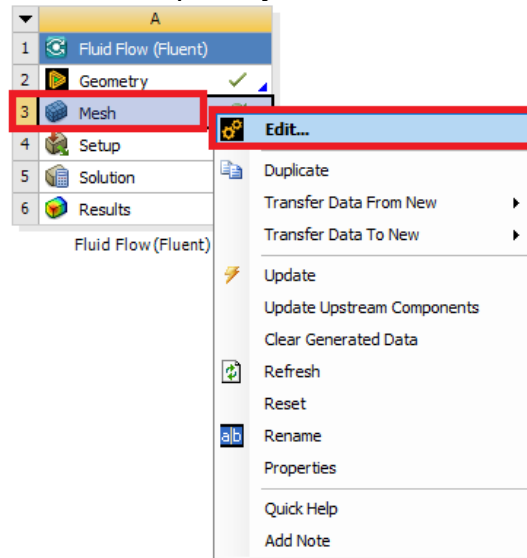


Con este proceso se finaliza la creación de la geometría, por ende, ya se puede cerrar el Design Modeler.

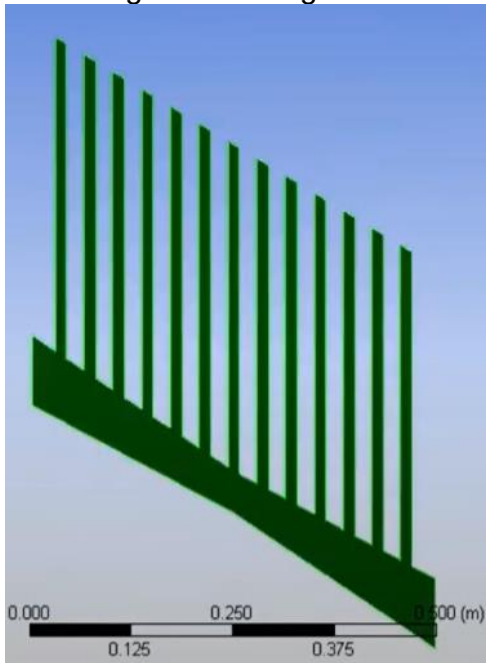


4.2 MESH

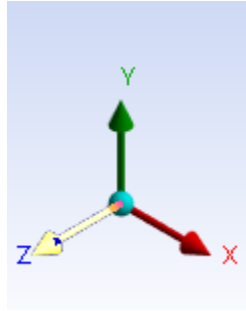
Ahora se edita la malla (mesh) es la discretización de la geometría en pequeños elementos finitos para permitir la realización de cálculos numéricos en puntos discretos. La malla es una parte esencial del proceso de simulación de elementos finitos, ya que permite aproximar el comportamiento de un objeto físico de manera numérica al dividirlo en elementos más pequeños y manejables. Para esto en la ventana Fluid Flow se busca la opción Mesh se hace clic derecho sobre esta opción y se hace clic en la opción Edit.



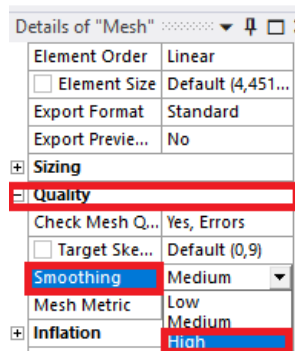
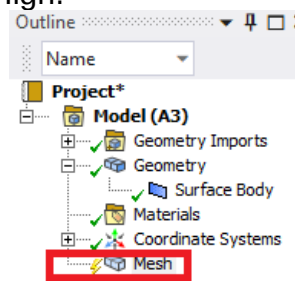
Al abrir Mesh se muestra la figura de la siguiente manera:



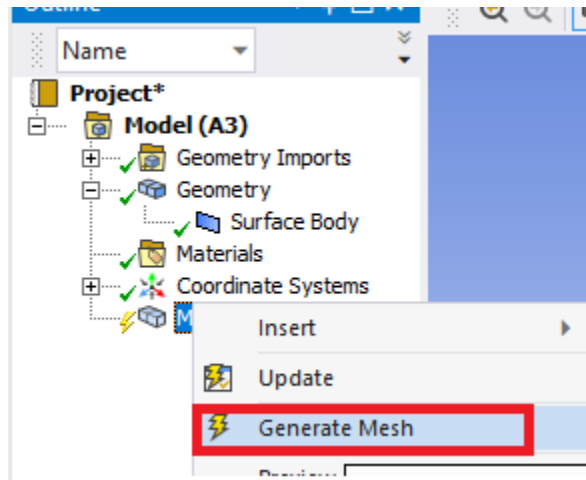
Pero se necesita una vista desde el plano XY para esto se hace clic en la flecha azul del plano Z, esta vista de los ejes del plano se encuentra en la parte derecha inferior de la pantalla.



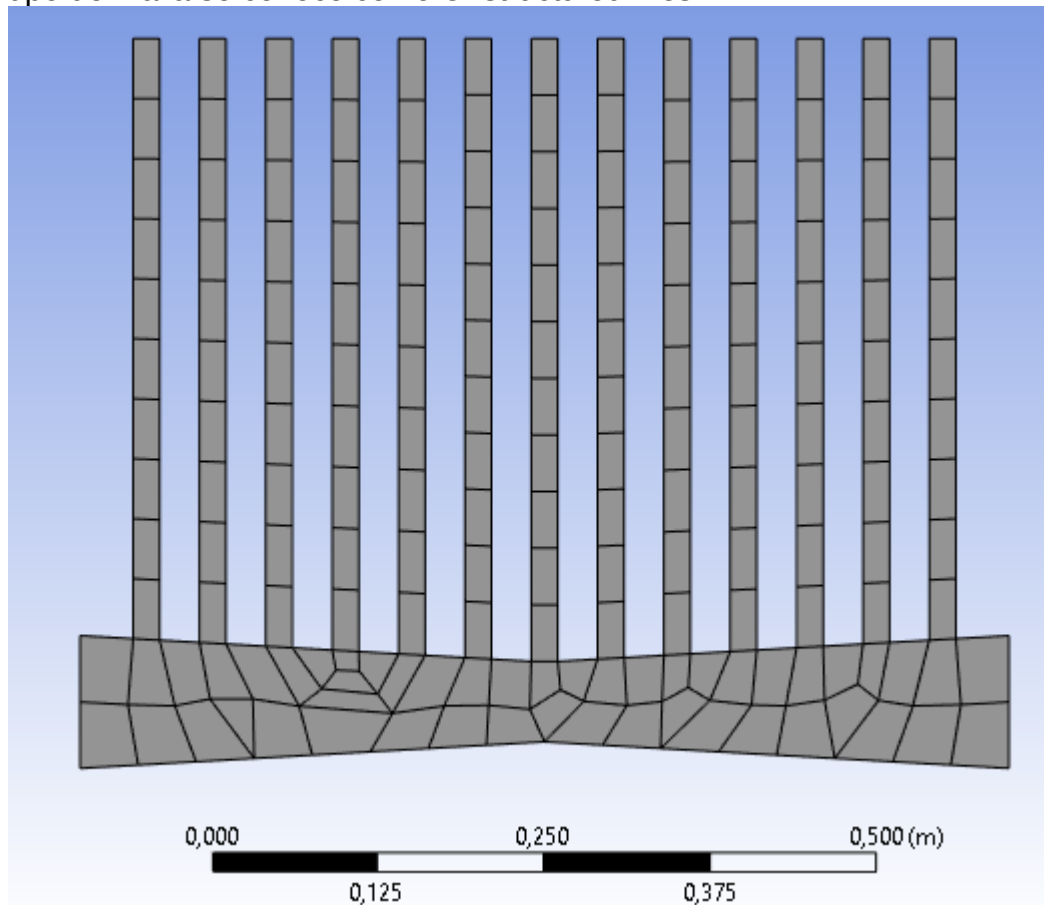
Ahora se hace clic en la opción Mesh y se despliega en la parte inferior izquierda de la pantalla una ventana llamada Details of "Mesh", dentro de esa ventana buscar un menú desplegable llamada Quality y se busca la opción Msmoothing y se cambia a High.



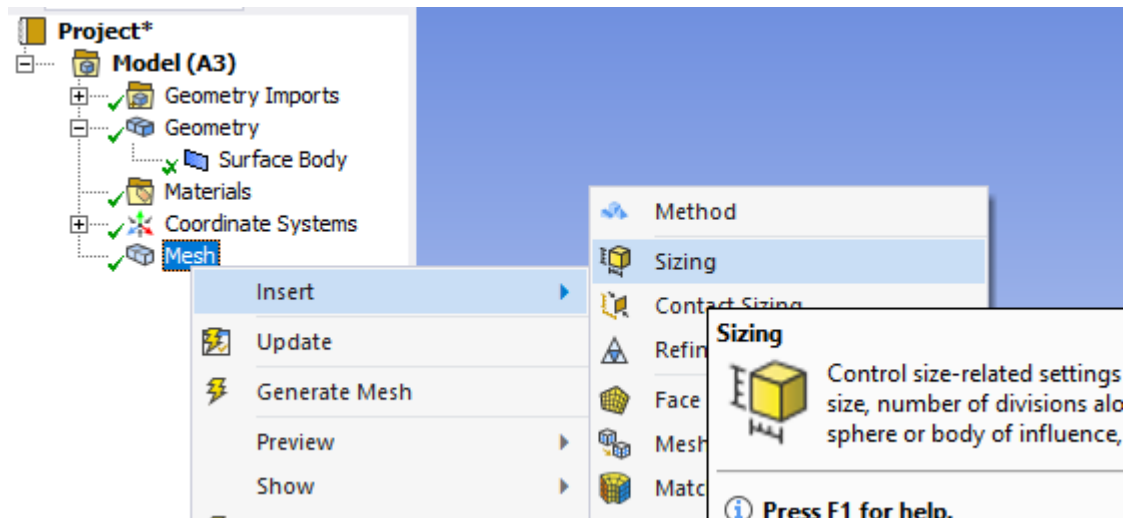
Finalmente se procede a generar la malla, para esto se busca la opción Mesh, clic derecho en esta y buscar la opción Generate.



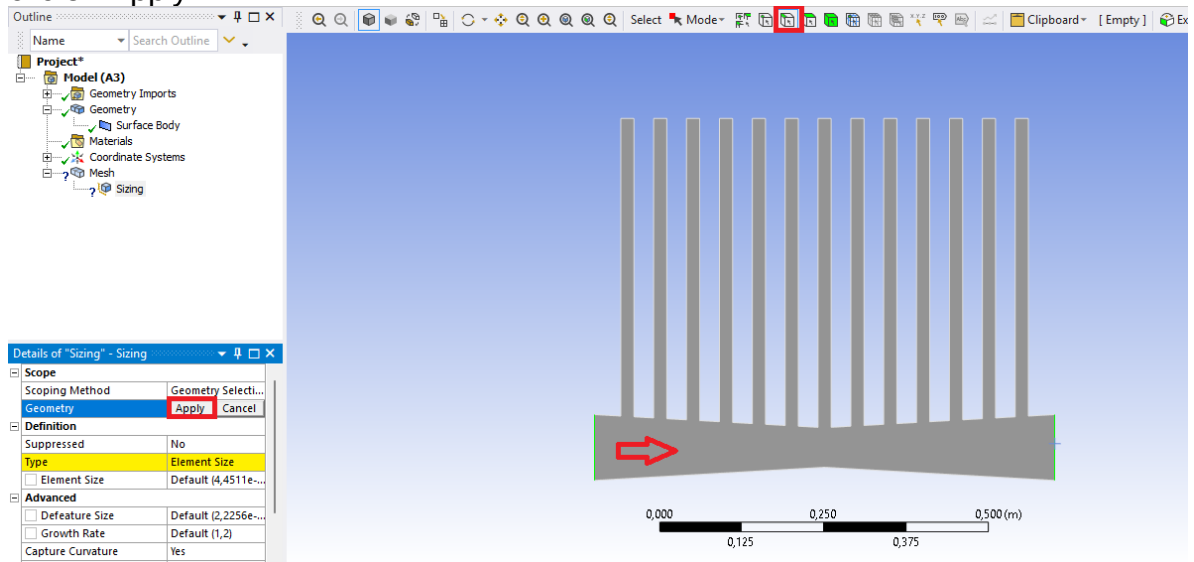
Al terminar de generar la malla, la figura se ve de la siguiente manera. Este tipo de malla se conoce como Unstructured Mesh



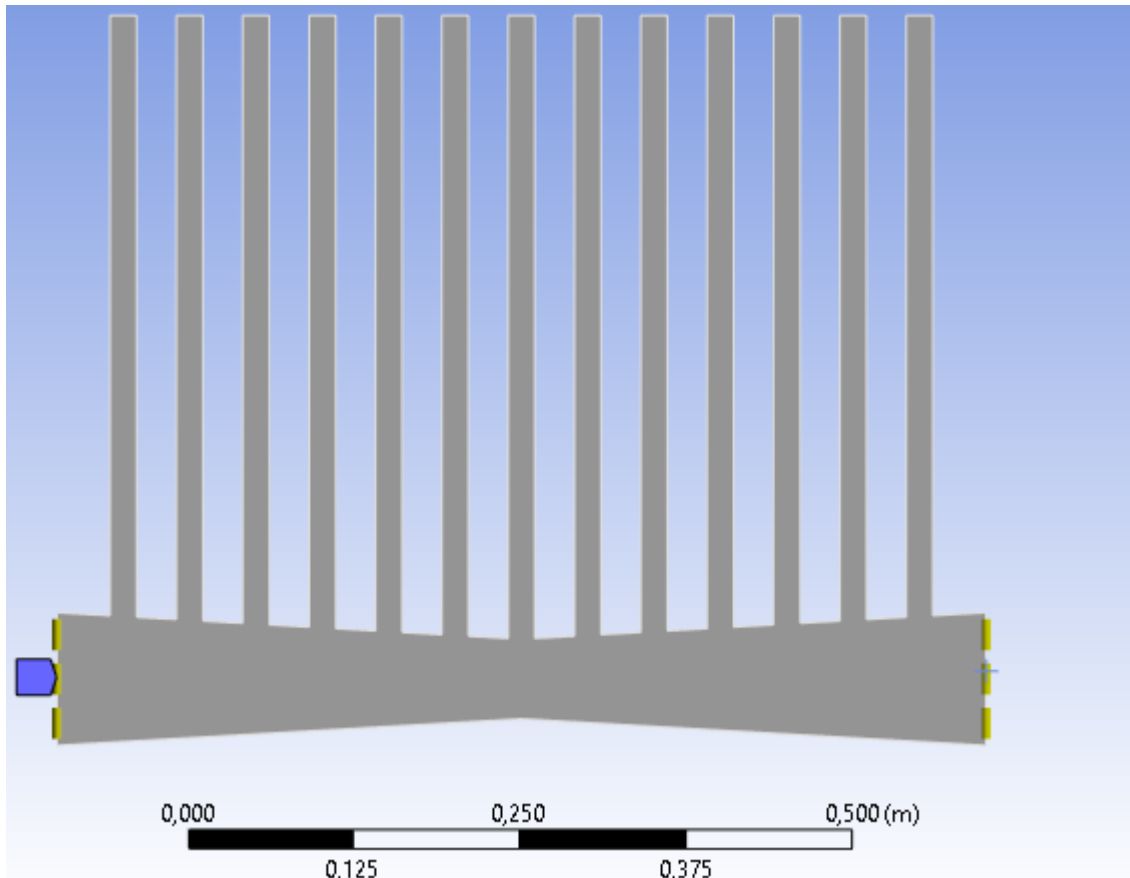
Con la malla generada se procede a hacer clic derecho sobre la opción Mesh buscar el menú Insert y finalmente en la opción Sizing



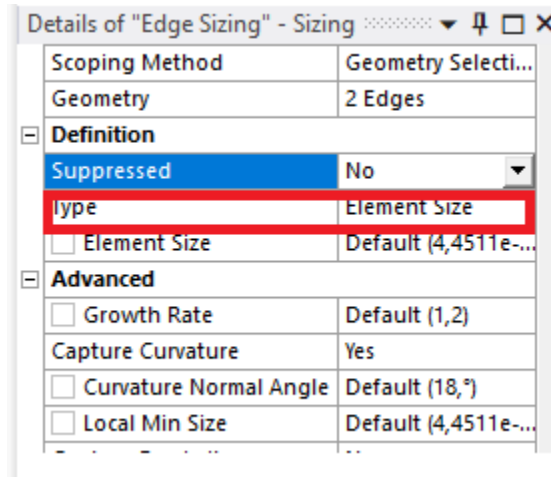
Se debe aplicar geometría a la figura para esto buscar en los menús de Sizing la opción Edge y seleccionarla, para después hacer clic sobre uno de los laterales de la figura y arrastrar el ratón hasta el borde de la figura. Si se seleccionó correctamente los bordes de la figura se observan resaltados en un color verde. Al tener los bordes resaltados buscar la opción Geometry ubicada en la ventana que aparece en la esquina inferior izquierda y hacer clic en Apply.



Si se realizó correctamente la geometría el nombre de Sizing debe cambiar a Edge Sizing y la figura debe aparecer de la siguiente manera.



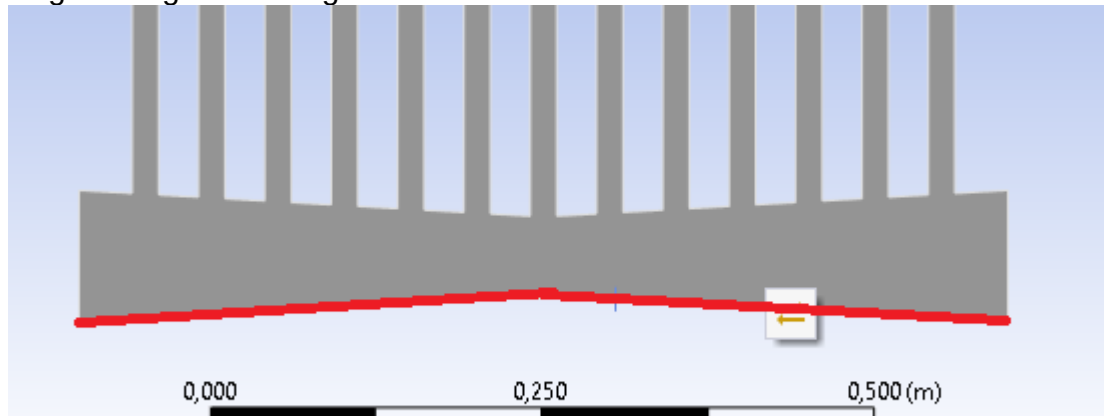
En la ventana Details of Sizing se busca la opción Type, y se hace clic en Element Size, cambiando esta opción a Number of Definitions encontrada en el menú Definition.



Se procede a cambiar el número de definiciones a 10

Scoping Method	Geometry Selecti...
Geometry	2 Edges
[-] Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisi...
☐ Number of Divisions	10
[-] Advanced	
☐ Growth Rate	Default (1,2)
Capture Curvature	Yes

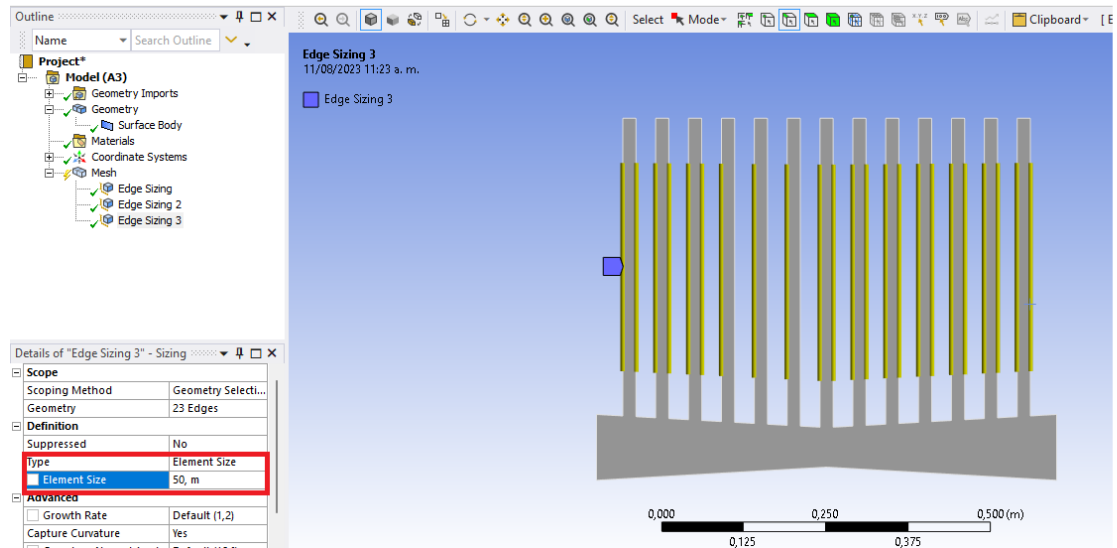
Posteriormente se realiza el mismo procedimiento de creación de Sizing y Edge Sizing con las siguientes formas



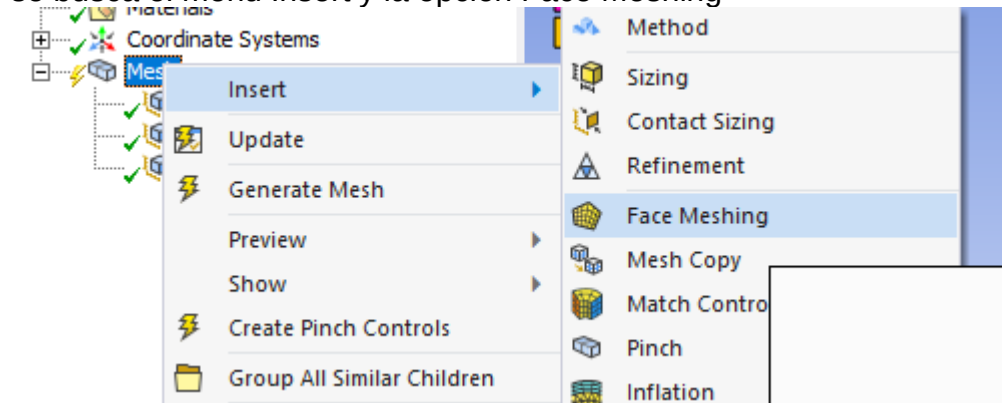
En esta ocasión el número de divisiones es de 30.

[-] Definition	
Suppressed	No
Type	Number of Divisi...
☒ Number of Divisions	30
[-] Advanced	

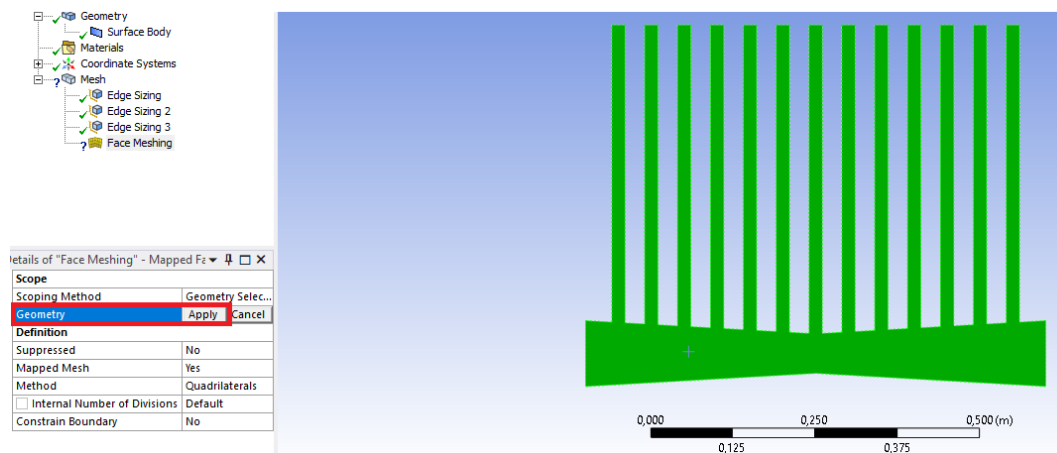
Se realiza casi que el mismo procedimiento con los rectángulos salvo que, en esta ocasión, en Definition se deja seleccionada la opción Element Size, el tamaño de los elementos es de 50.



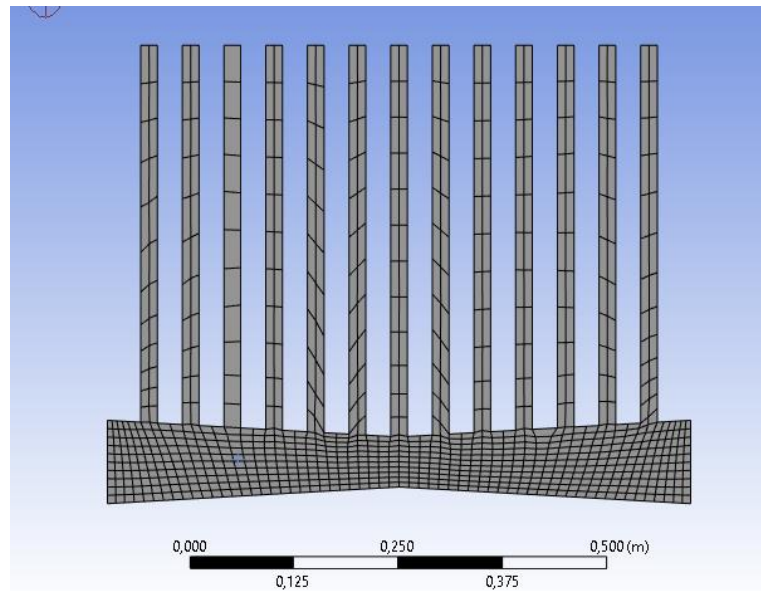
Con los 3 Sizing realizados se procede a realizar clic derecho sobre Mesh, se busca el menú Insert y la opción Face Meshing



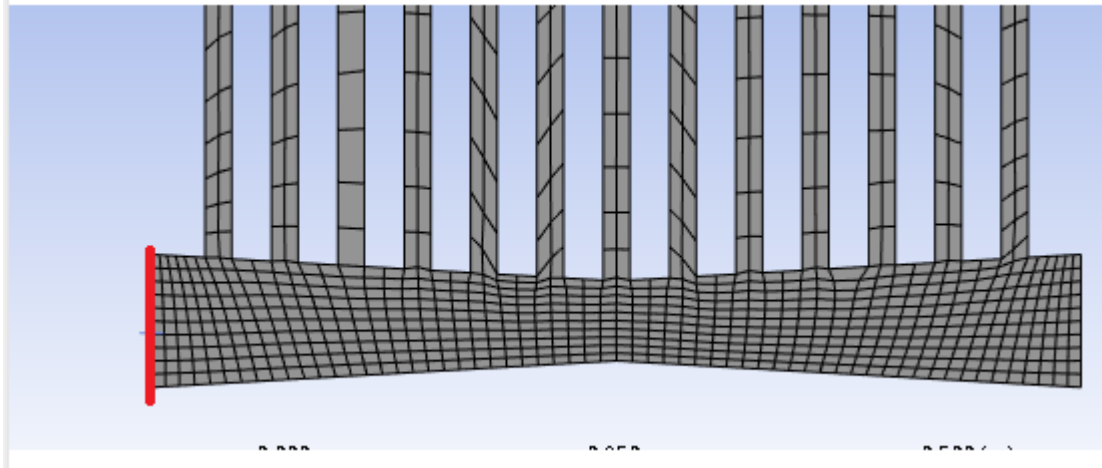
Al hacer clic sobre Face Meshing, se debe seleccionar la figura, la cual tendrá un color verde, y en Geometry se hace clic en Apply.



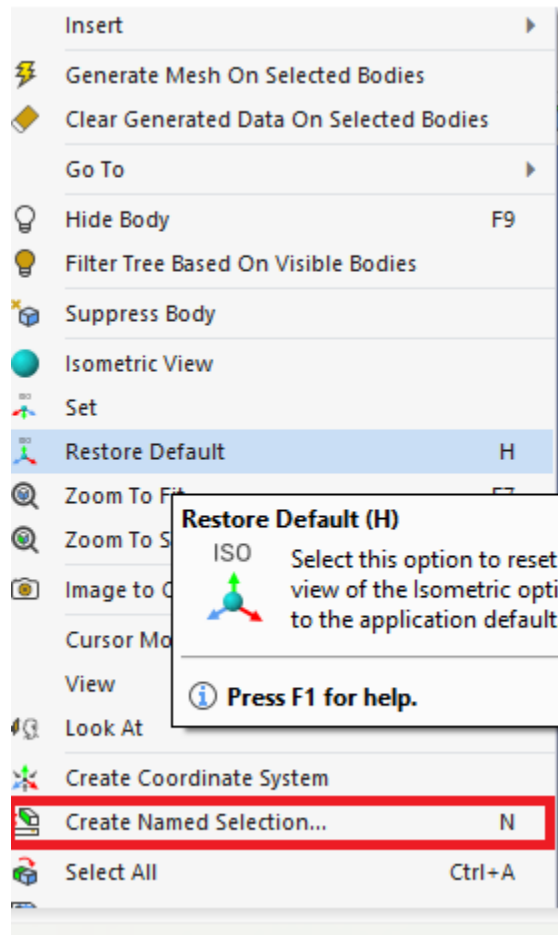
Al realizar esta acción, la figura tomara un color azul, posteriormente se genera nuevamente la malla, clic derecho sobre Mesh y buscar la opción Generate Mesh, cuando se genera la malla se obtiene una malla estructurada la cual se ve así.



En el borde izquierdo de la figura seleccionar la opción Edge y dar clic izquierdo sobre este borde.

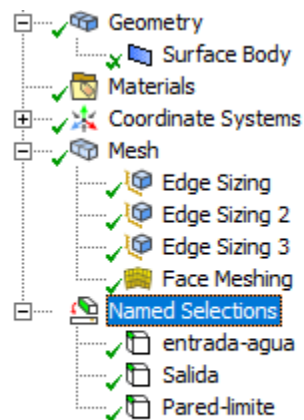


Al hacer clic izquierdo sobre este borde se despliega una ventana en la cual se debe buscar la opción Create Named Selection.

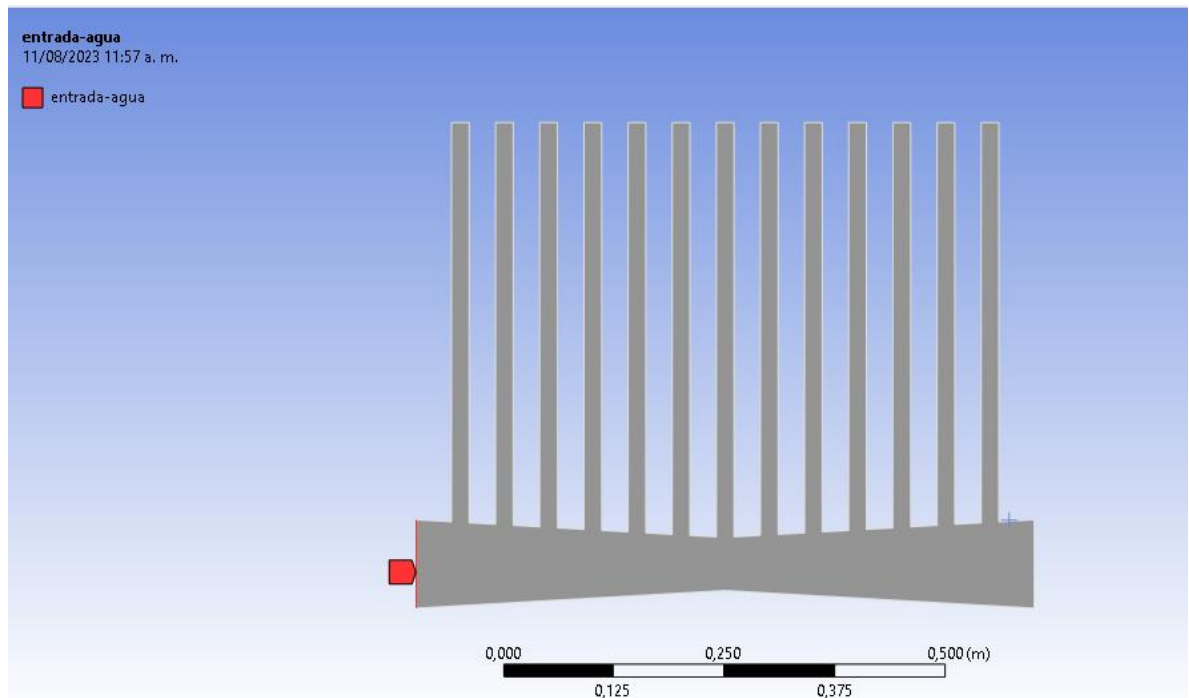


La sección se nombrará “entrada-agua”.

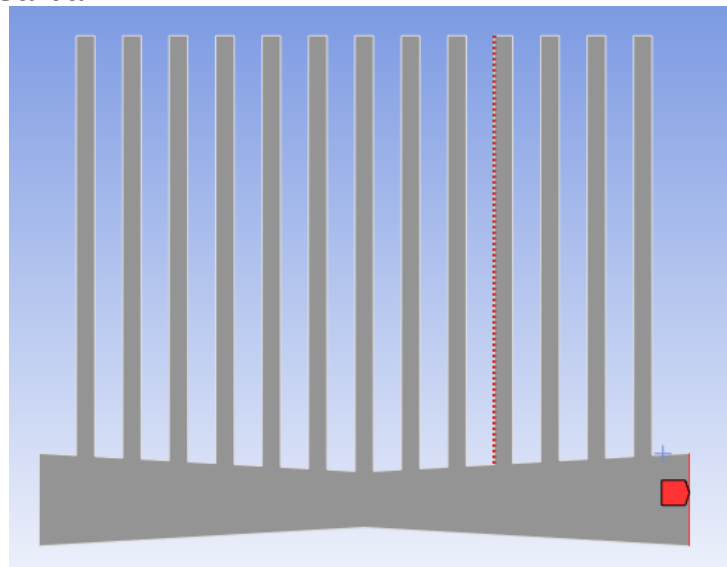
Se realiza el mismo procedimiento de creación de secciones nombradas, esta vez con el otro borde de la figura, esta sección se nombrará “salida”. También se debe seleccionar la parte faltante de la figura y crear una sección nombrada llamada “pared-limite”. Para cerciorarse sobre la selección correcta de las secciones nombradas, se debe ir al menú Named Sections y verificar cada sección.



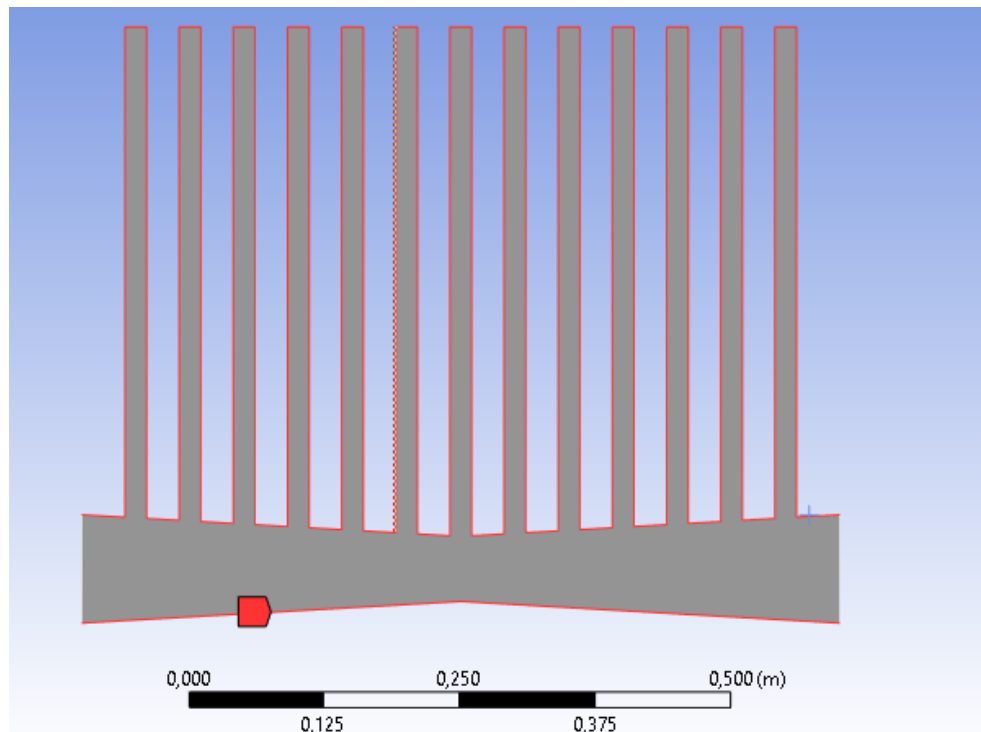
La sección Entrada-agua debe quedar:



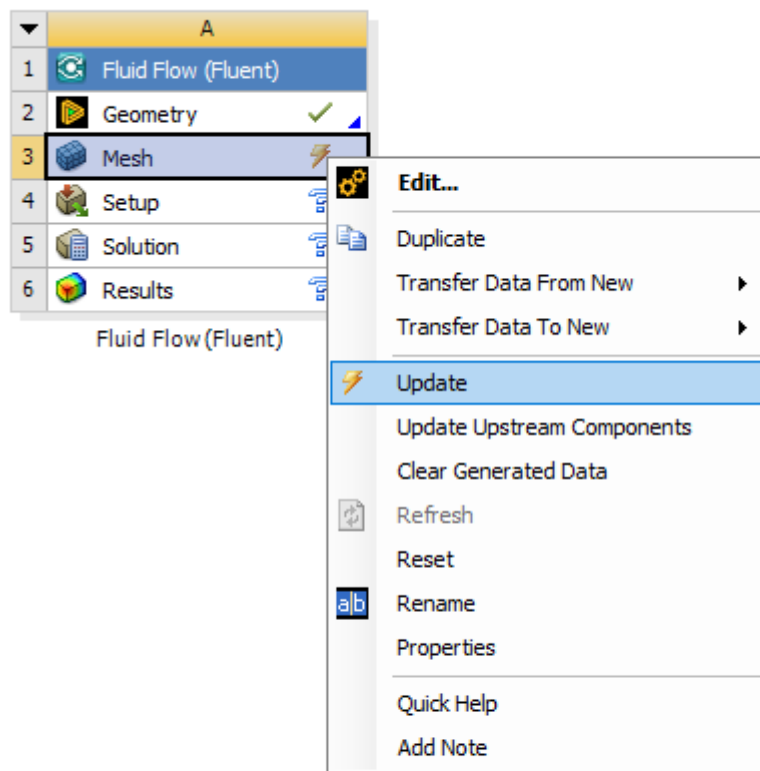
La sección Salida:



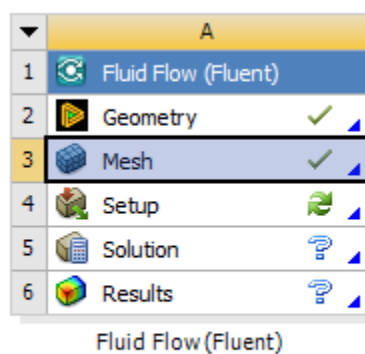
La sección pared:



Ya se puede cerrar la ventana Mesh.
En Workbench se debe hacer clic derecho sobre Mesh y buscar la opción Update.

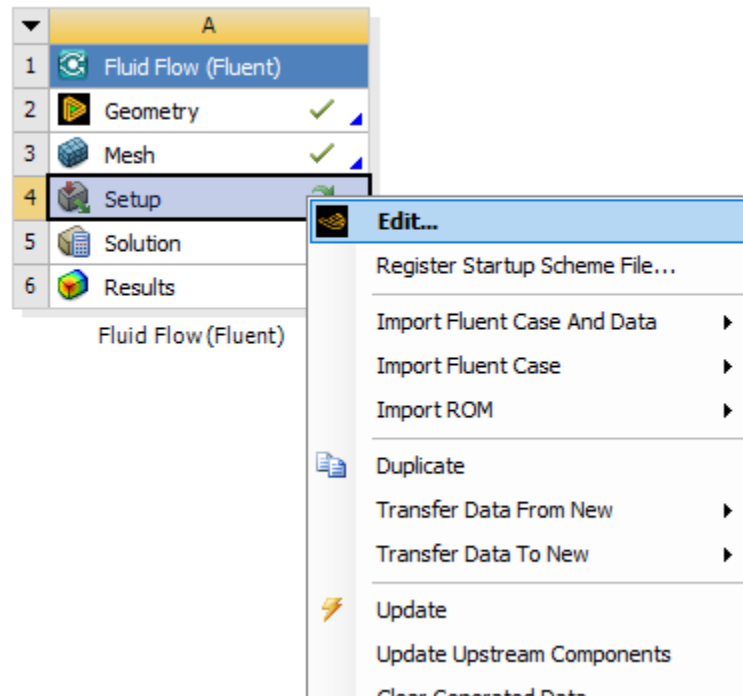


Para saber si efectivamente se actualizo la malla junto al nombre Mesh debe aparecer un chulo.

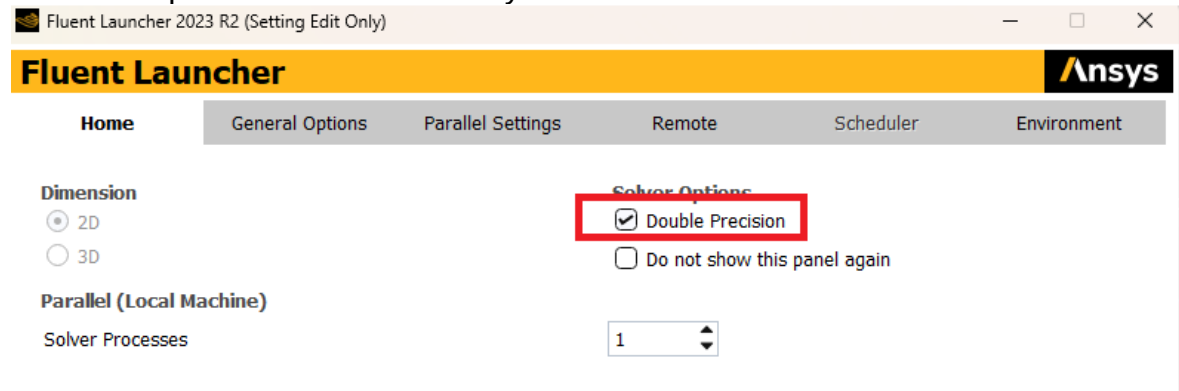


4.3 SETUP

En la ventana Fluid Flow, se debe buscar la opción 4 Setup, se debe hacer clic derecho sobre esta opción y buscar Edit.

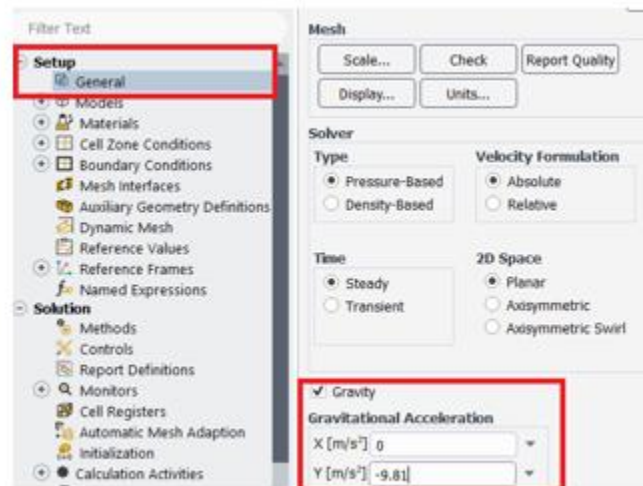


Cuando se selecciona Edit, se despliega una ventana, en esta ventana buscar la opción Double Precision y seleccionarla.

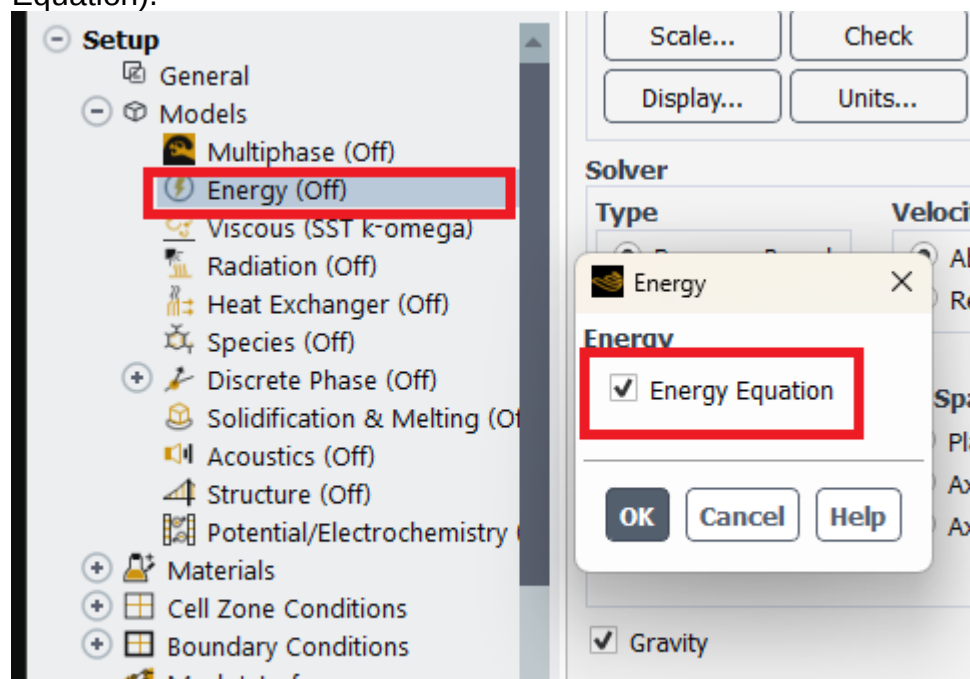


Cuando se hace clic en OK, se abre Fluent.

Con Fluent abierto se busca el menú General, situado dentro del menú Setup y se activa la opción Gravity y se configura la gravedad a -9.81 en el eje Y.

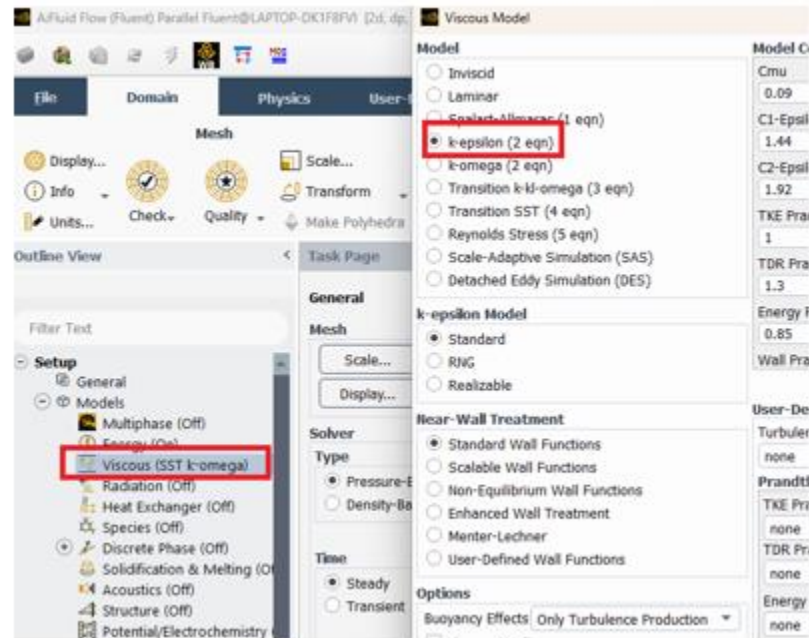


En el mismo menú Setup buscar el menú Models, dentro de este menú buscar la opción Energy y hacer doble clic en esta para que se despliegue una ventana, la cual se debe activar la única opción presente (Energy Equation).

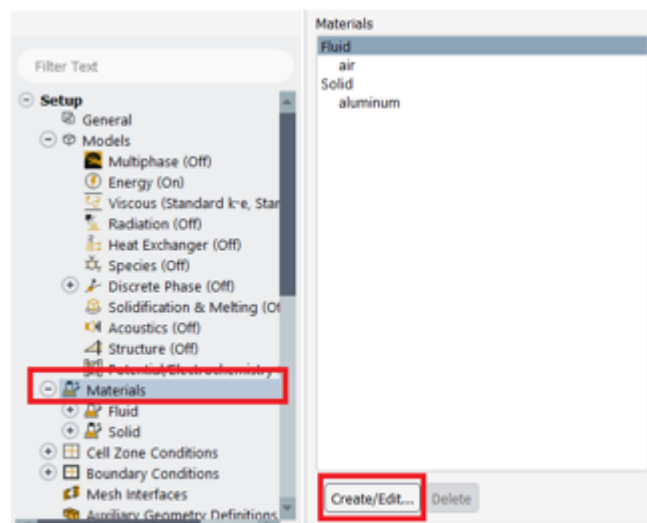


Al pulsar Ok la opción Energy se activará.

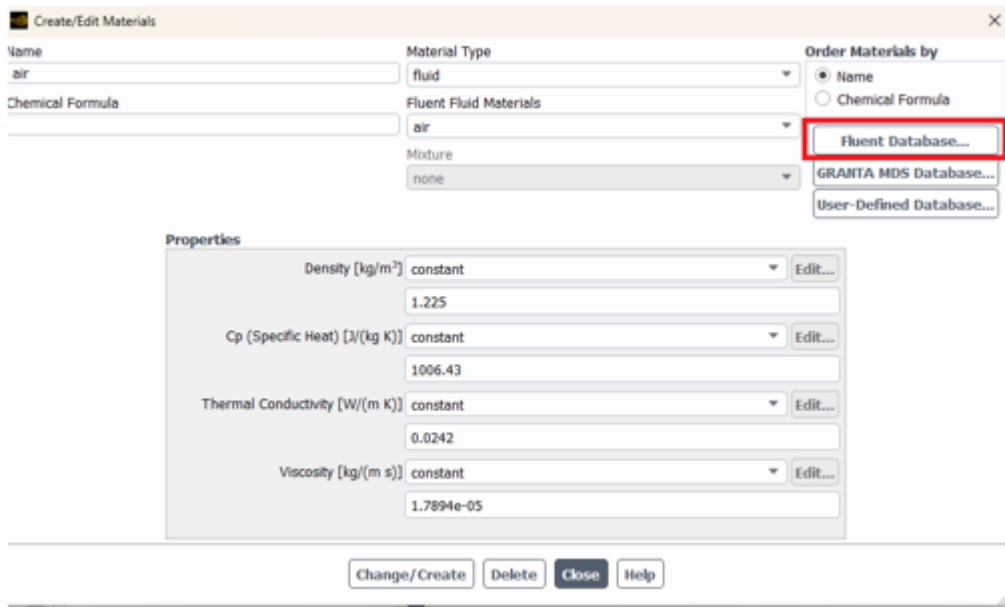
Posteriormente en el mismo menú Models buscar la opción Viscous y hacer doble clic en la misma, esto abrirá una ventana en la cual se debe buscar la opción k-epsilon(2eqn) hacer clic sobre esta y OK. Este paso se realiza para ajustar el modelo viscoso.



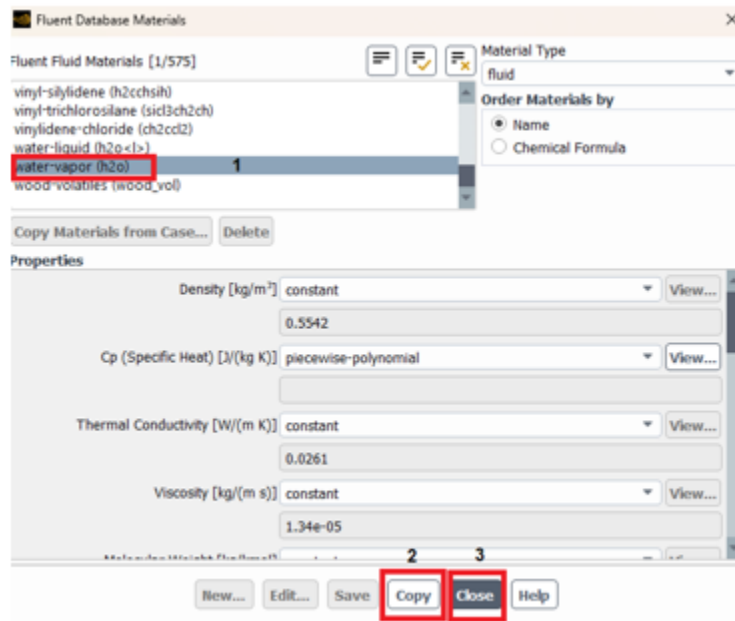
Se busca el menú Materials dentro del menú Setup, se abre una ventana en la cual se pulsa sobre el botón Create/Edit para abrir el panel de materiales.



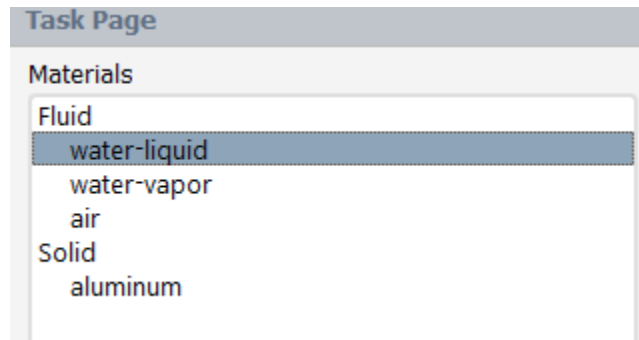
En el panel de materiales se hace clic sobre la opción Fluent Database



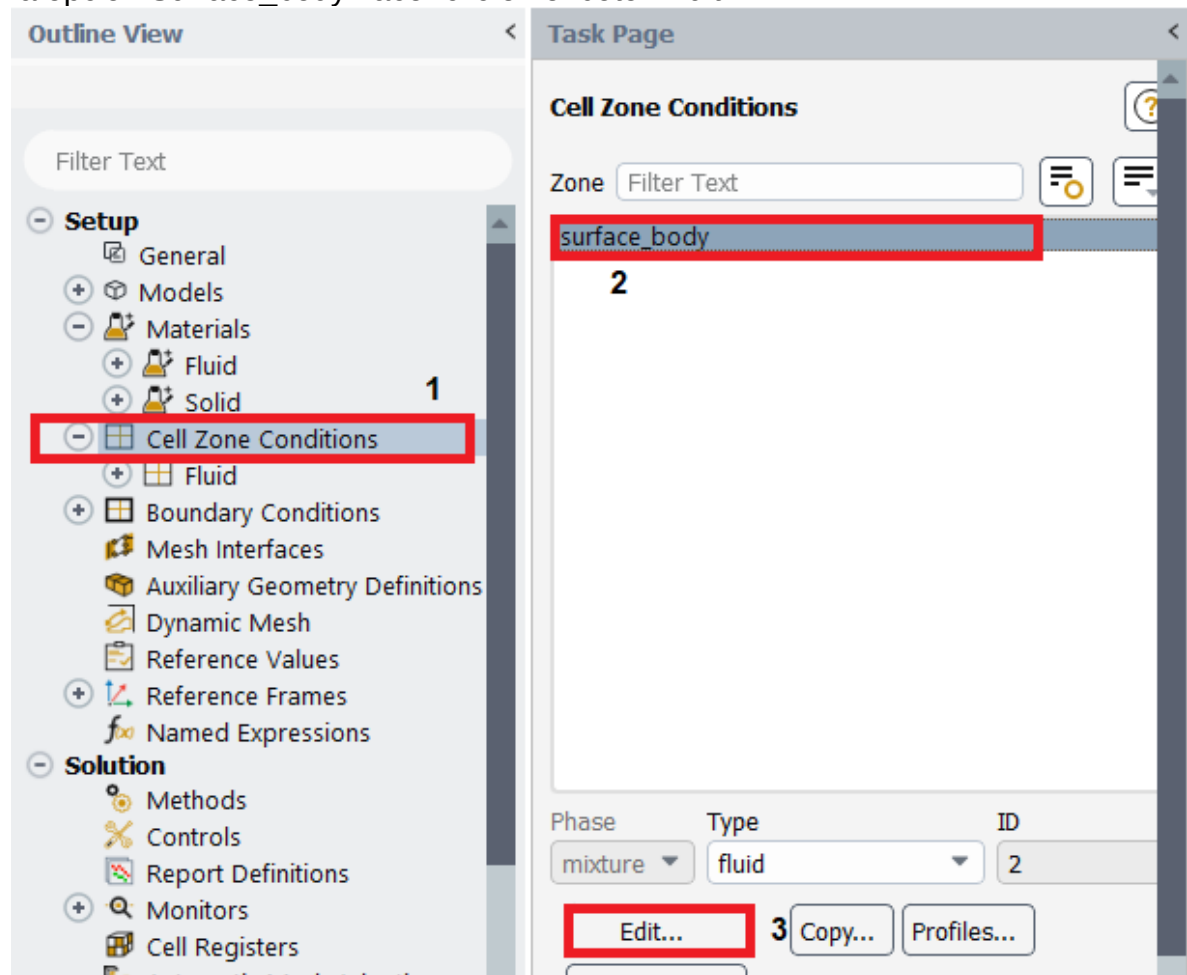
Dentro de la base de datos se busca el fluido “Water-Liquid”, posteriormente se hace clic en Copy y seguidamente en Close 2 veces.



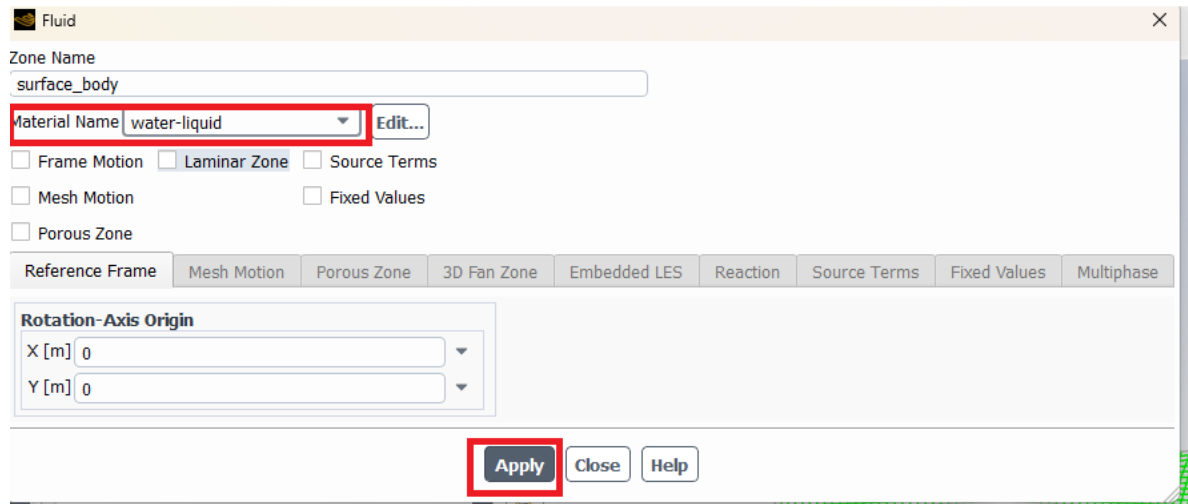
Al cerrar todas las ventanas seleccionar el fluido del agua en estado líquido.



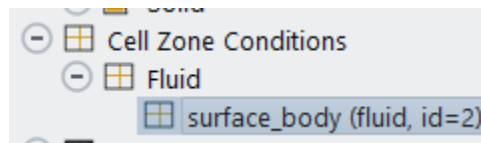
Con el fluido seleccionado, pasar al menú Cell Zone Conditions, seleccionando la opción Surface_body, la cual es encontrada en la ventana que se despliega al abrir el menú Cell Zone Conditions, al tener seleccionada la opción Surface_body hacer clic en el botón Edit.



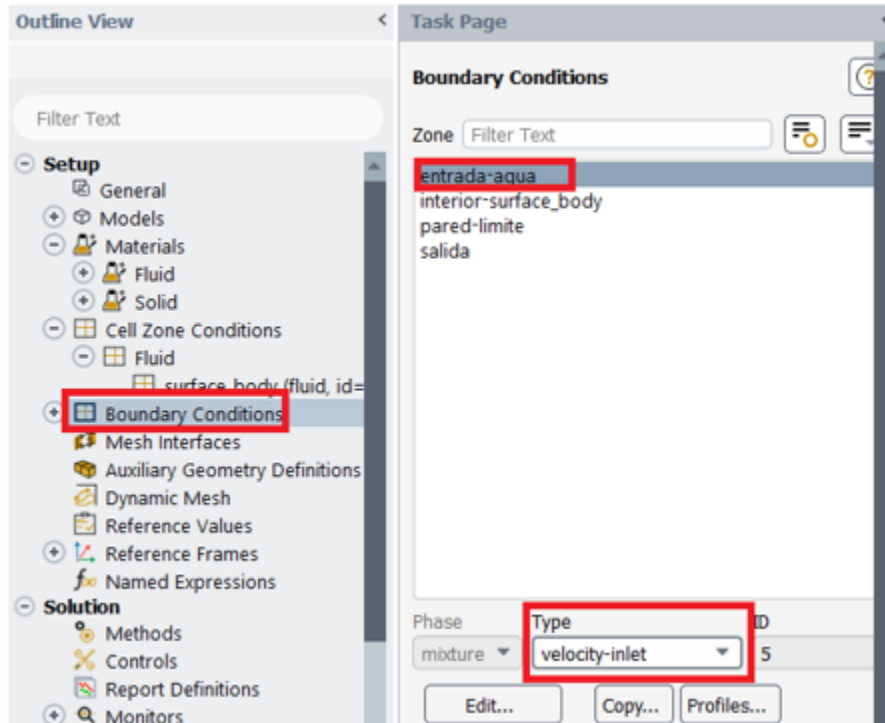
En la ventana abierta después de seleccionar el botón Edit se importa el agua como fluido del sistema, esta acción se realiza seleccionando Water-liquid en el apartado de Material Name, posteriormente se aplican los cambios.



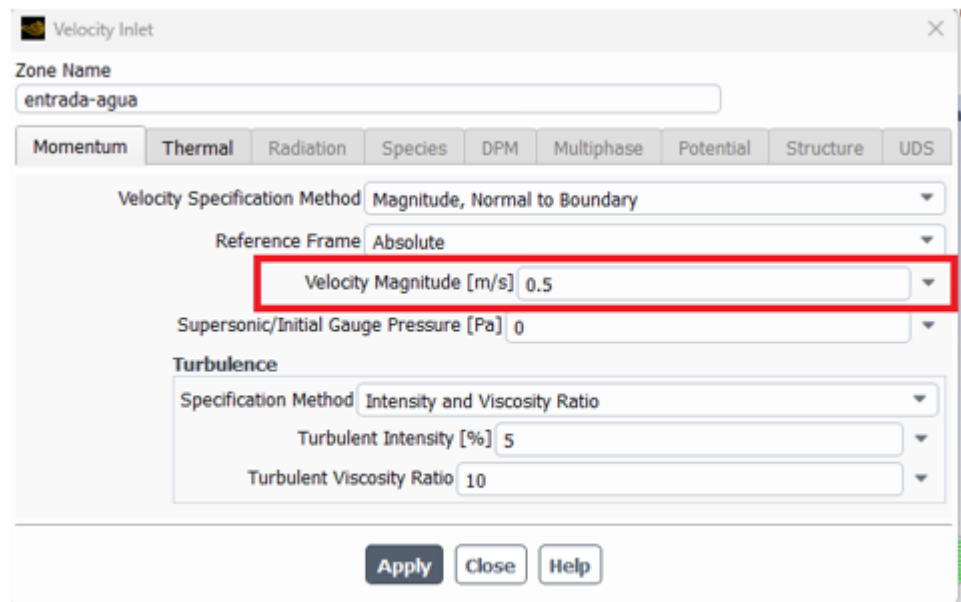
Si se importó correctamente el fluido en Cell Zone Conditions aparecerá el siguiente apartado:



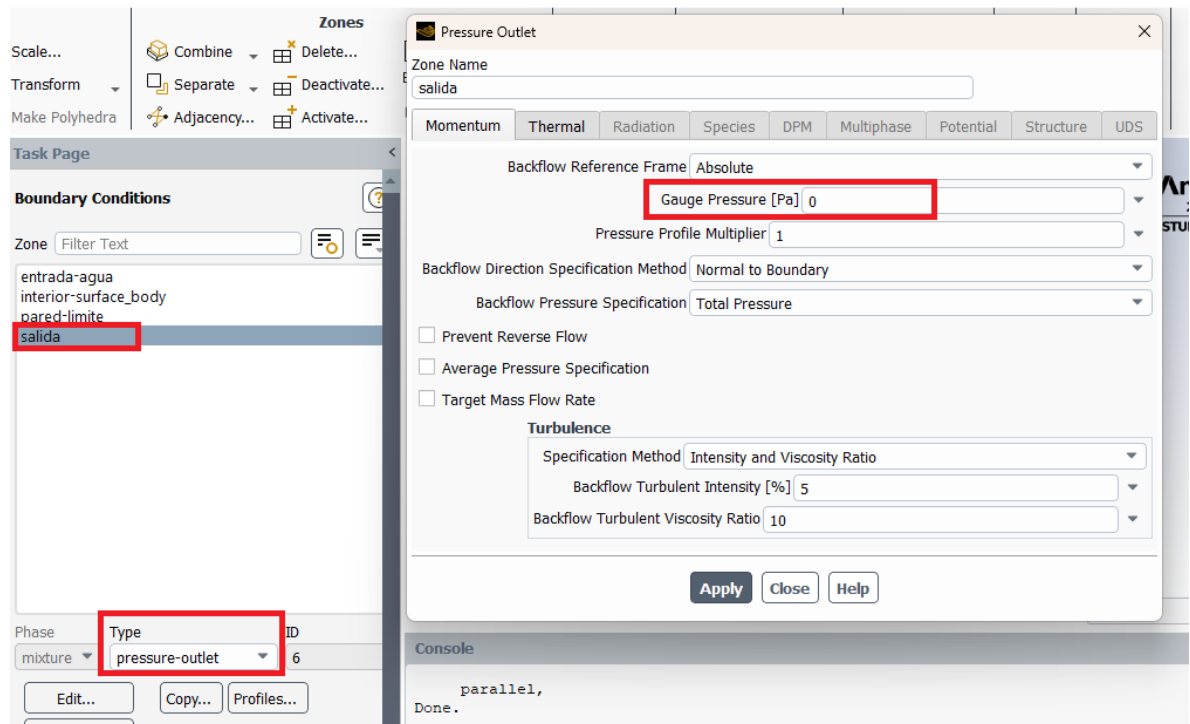
En el menú Boundary Conditions se especifica las condiciones de los límites del modelo, se inicia con la entrada la cual debe ser de tipo “velocity-inlet”. Al verificar el tipo de la entrada se procede a realizar doble clic sobre la misma o pulsar el botón Edit.



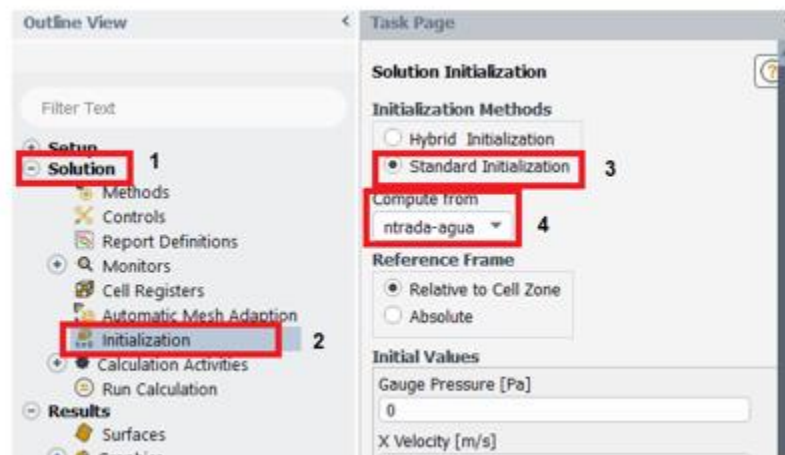
Al realizar esta acción se despliega una ventana, la cual su único parámetro a modificar es la magnitud de velocidad, el valor de Velocity Magnitude es de 0.5 m/s.



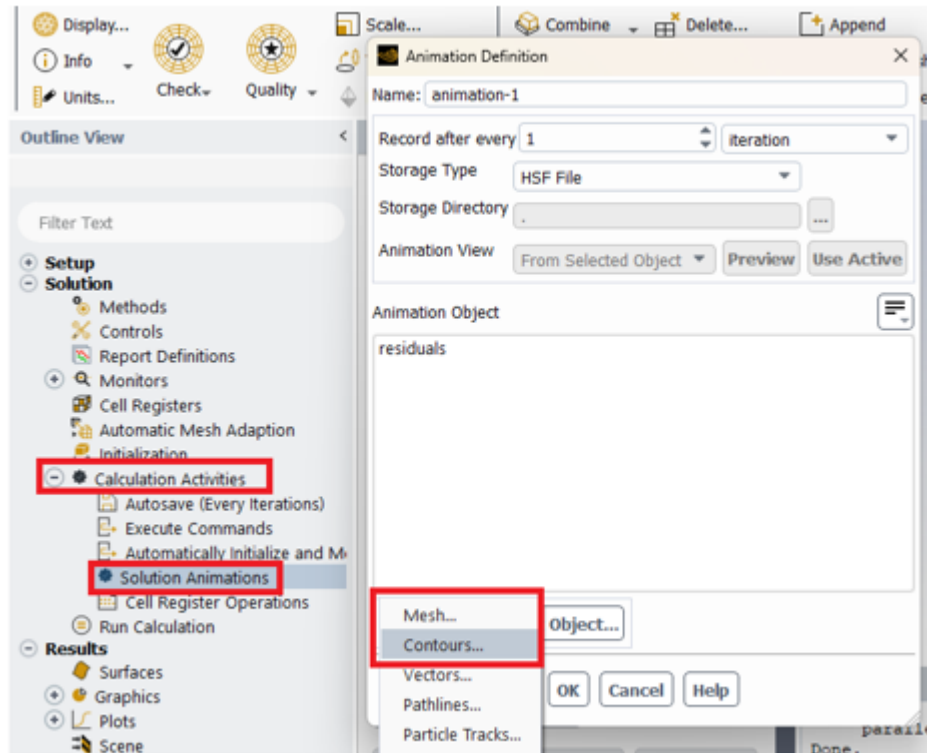
Se realiza el mismo procedimiento con la salida, la cual debe ser de tipo Pressure-outlet, en la ventana emergente se verifica que el parámetro Gauge Pressure tenga un valor de 0 Pa.



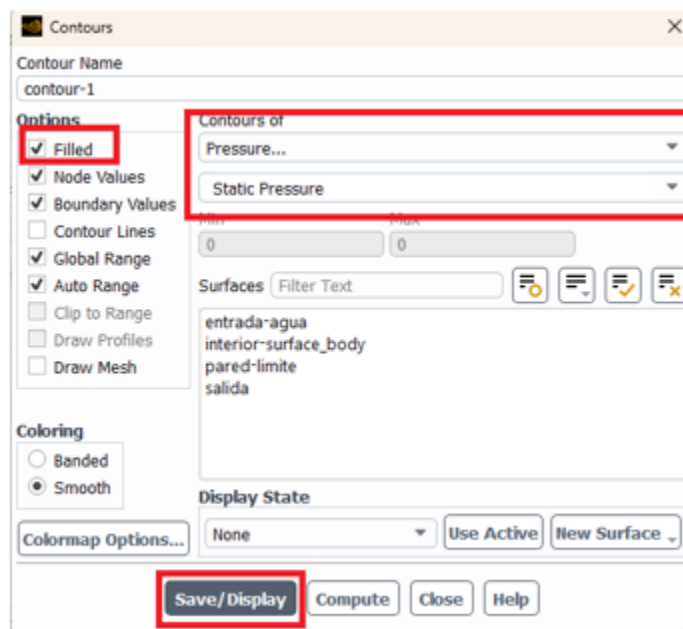
Continuando se realiza la iniciación del modelo para ello, primero se busca el menú Solution y dentro de este el menú Initialization, se cambia el modo de inicialización a Standard, se cambia el parámetro Compute from seleccionando la entrada (entrada-agua), y finalmente se hace clic en el botón Initialize ubicado en la parte inferior de la ventana.



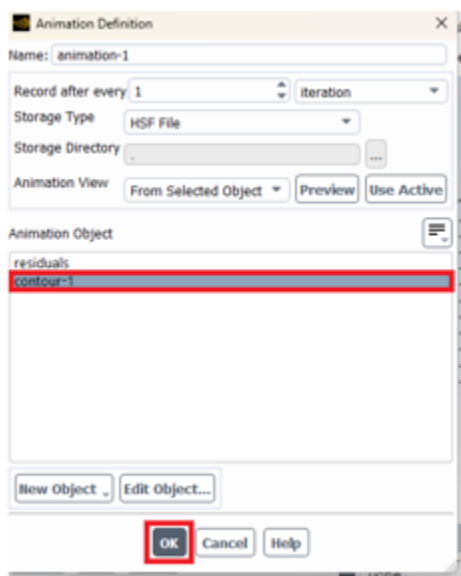
Posteriormente se define la animación de la solución para esto dentro del menú Solutions se busca el menú Calculation Activities y dentro de este la opción Solution Animation, al hacer clic sobre esta opción se despliega una ventana dentro de esta buscar la opción New Object y seleccionar Contours.



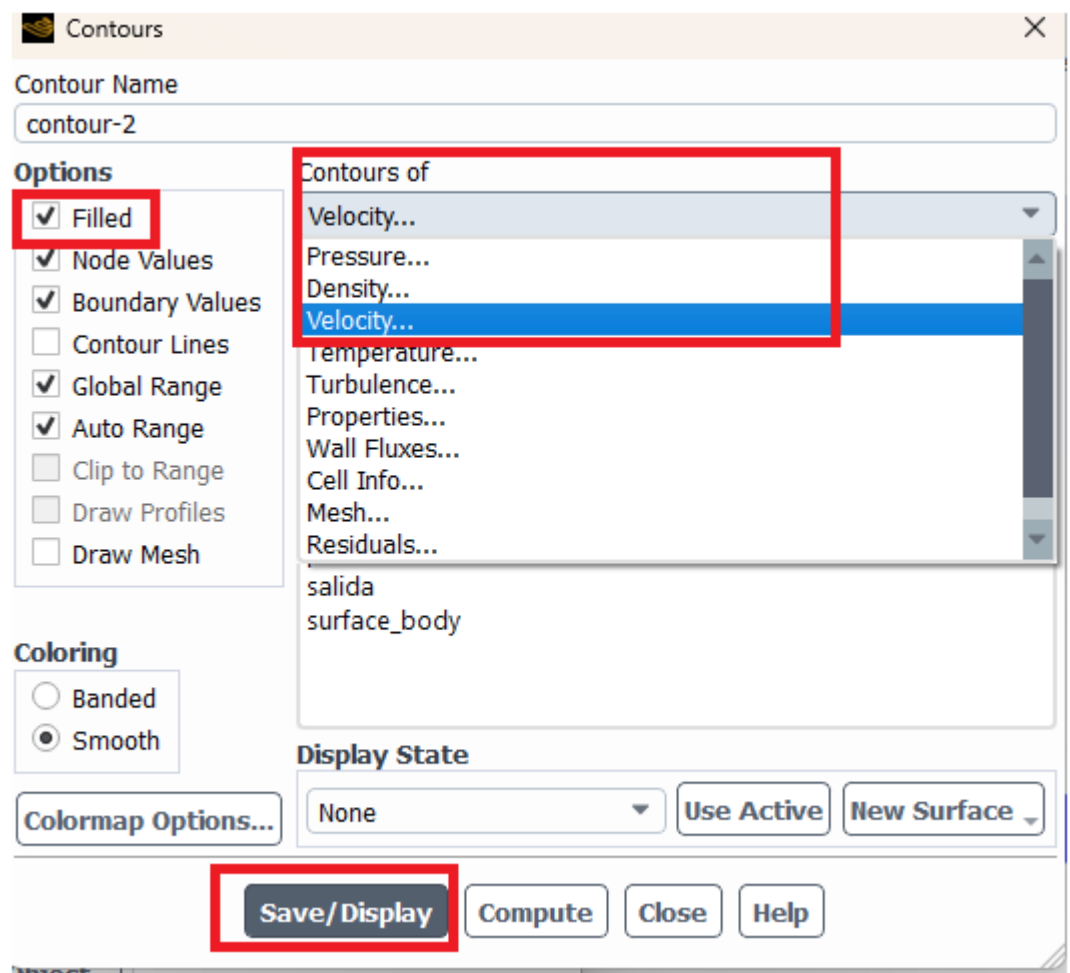
Cuando se selecciona el contorno se abre una nueva ventana, verificar que es contorno de presión y seleccionamos la opción Filled, para finalmente seleccionar el botón Save/Display y Close.



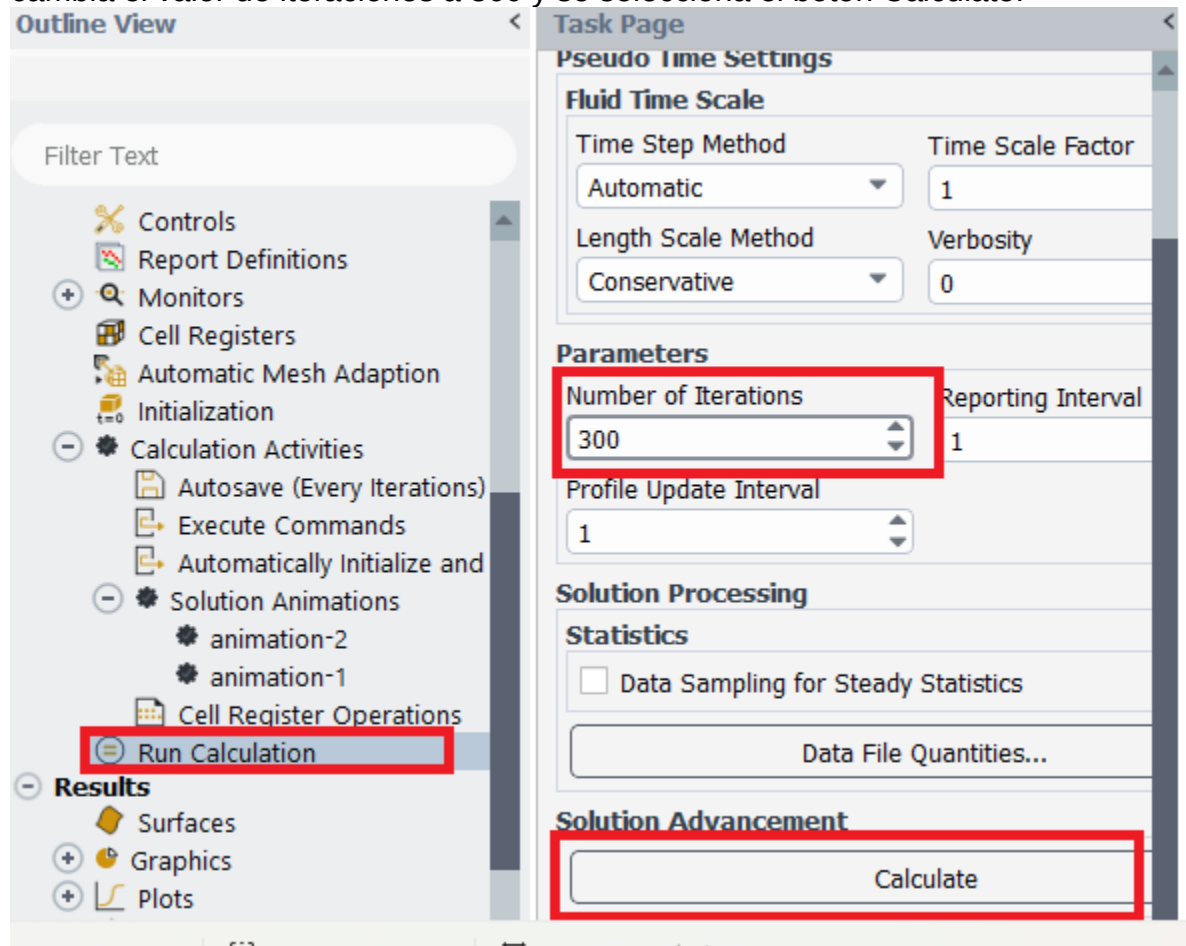
Al cerrar esta ventana se hace clic sobre la opción Contour 1 y se selecciona el botón OK, si se desea se puede cambiar el nombre de la animación.



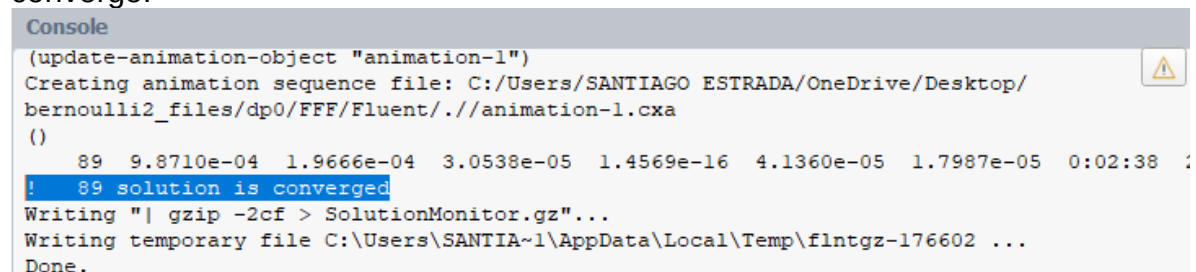
Se realiza el mismo procedimiento con una nueva animación, en este caso el contorno es de velocidad.



Con las animaciones realizadas se procede a correr los cálculos, para ello se debe ir a la opción Run Calculation, al desplegarse la ventana únicamente se cambia el valor de iteraciones a 300 y se selecciona el botón Calculate.

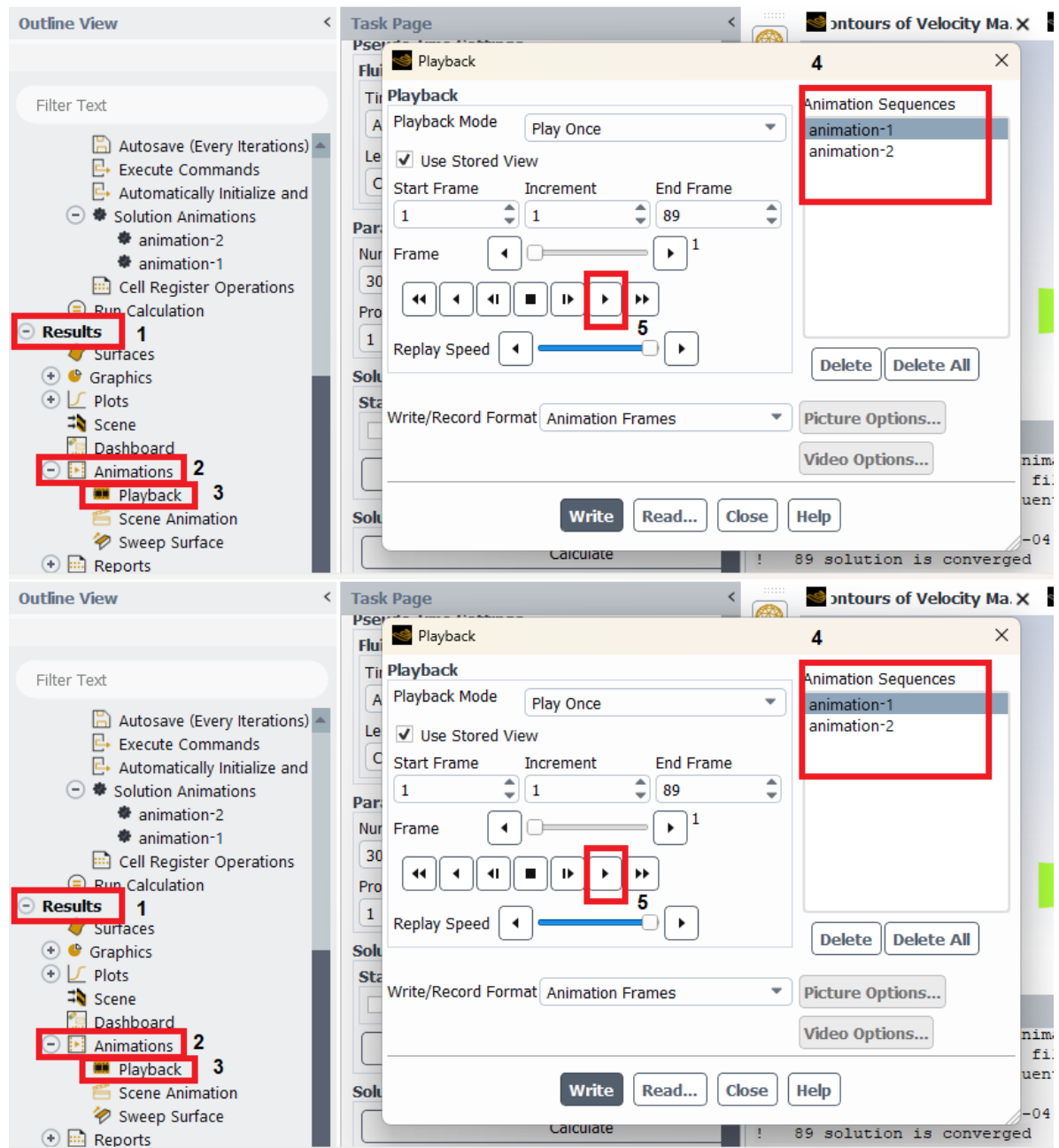


Al finalizar los cálculos en la ventana de consola se verifica que la solución converge.

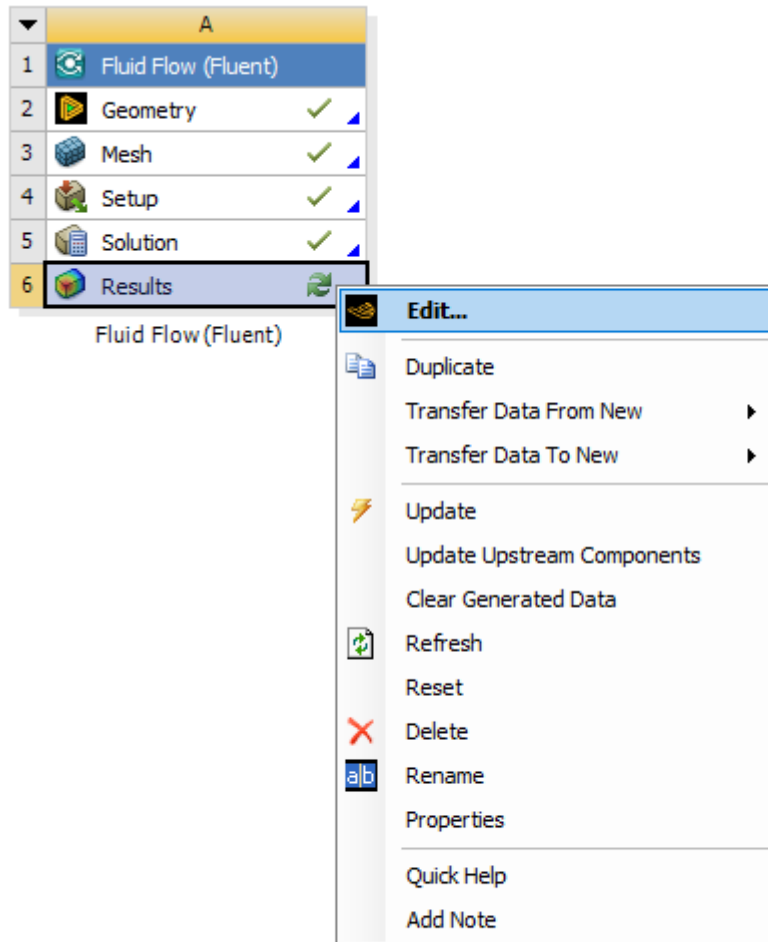


4.4 RESULTS

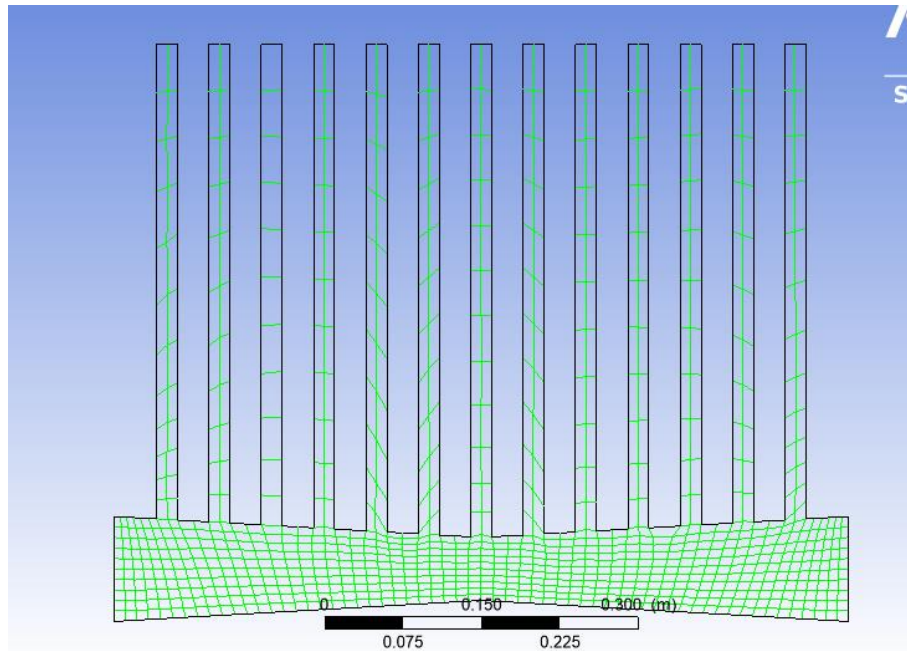
Si se desea ver ya sea el comportamiento de la variación de presión a través del tubo o la variación de velocidad a través del tubo, en el menú Results se busca el menú Animations, dentro de este menú se encuentra la opción Playback, la cual despliega una ventana en la cual se puede seleccionar la animación a visualizar, al seleccionar la animación se pulsa sobre el botón Play.



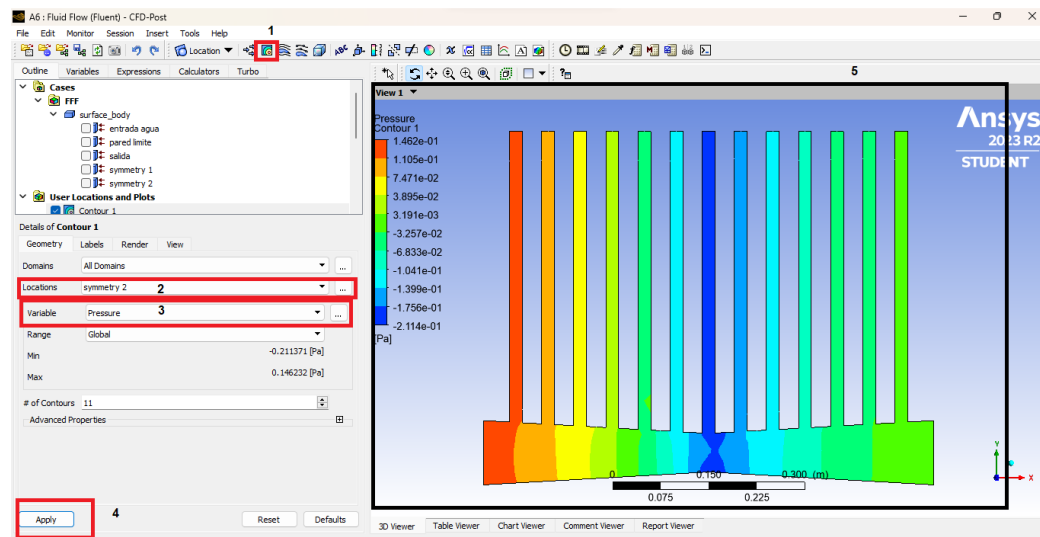
La simulación está completa por ende se puede cerrar ANSYS Fluent, ahora simplemente se pueden analizar los resultados en el CFD Post, para acceder a CFD Post en ANSYS Workbench, en el cuadro de Fluid Flow Fluent clic derecho en la última opción (opción 6) de nombre Results, buscar la opción Edit y seleccionarla.



Para analizar resultados dentro de CFD Post, se busca la opción Contour, al seleccionarla se despliega una ventana en la esquina inferior izquierda en la cual se puede modificar la zona que se desea visualizar, la variable a analizar, etc. En el presente caso se analizará el comportamiento de la presión a través de la longitud del tubo, para ello en la ventana Details of Contour 1 en variable se selecciona presión y en la opción Locations se escoge toda la figura esta aparece bajo el nombre Symmetry 2. Symmetry 2 es mostrado en la siguiente imagen.



Finalmente se pulsa el botón Apply para ver el comportamiento de la presión, en la siguiente imagen se muestran los pasos para realizar el análisis y el resultado de este.



5.ACTIVIDAD

Teniendo en cuenta lo explicado en la guía de herramientas, en ANSYS replique la siguiente figura, con el objetivo de verificar el teorema de Bernoulli. Utilice las mismas dimensiones que aparecen en el capítulo

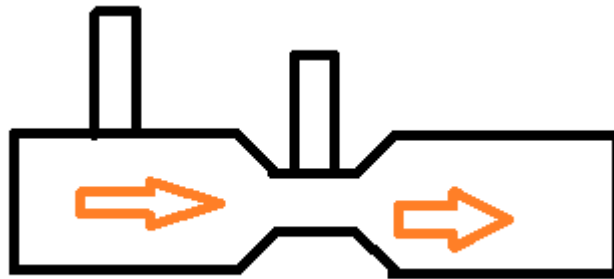


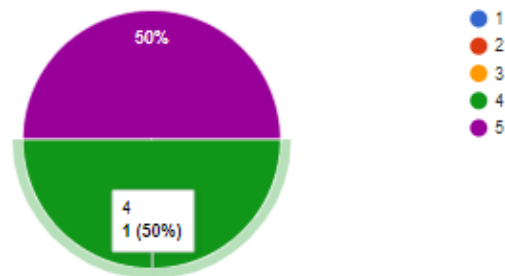
Figura 1. Actividad para realizar. Fuente: Autoría propia.

8.2 Anexo B



La guía es fiable

2 respuestas

 Copiar

Comentarios

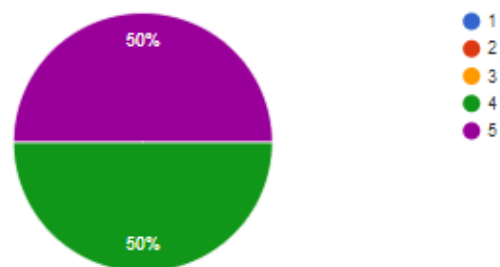
2 respuestas

Profundizar la actividad práctica en pasos generales.

Si, ya que se establece un contenido en el cual se evalúa

Buen manejo de tema

2 respuestas

 Copiar

Comentarios

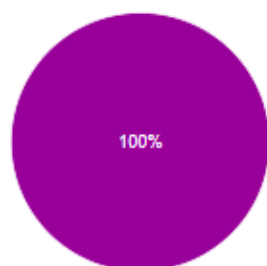
1 respuesta

Se sugiere incluir los objetivos que se quieren alcanzar en estas temáticas en el curso, para poder comparar a la hora de evaluar

La guía es completa

 Copiar

2 respuestas



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Comentarios

1 respuesta

Si cumple

Cumplimiento de requisitos específicos

 Copiar

2 respuestas



- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

Comentarios

1 respuesta

Si cumple pero se sugiere que se presenten los resultados de aprendizaje

8.3 Anexo C

L/S	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10
mm	0,13672409	0,19685039	0,28011204	0,28280543	0,28587764	0,2895194	0,34867503	0,3138732	0,15211439	0,3649635
A	166	166	166	168	168	168	166	166	168	170
B	164	162	164	164	166	164	164	164	164	166
C	158	148	140	136	136	134	130	128	156	122
D	146	128	100	90	92	84	76	68	140	50
E	148	132	108	100	102	96	88	82	140	70
F	154	144	130	124	128	120	118	104	150	106
G	158	150	142	138	140	136	134	130	156	126
H	160	154	150	146	148	144	144	140	158	138
J	162	156	154	150	152	150	150	148	160	146
K	164	158	158	156	158	156	154	152	162	150
L	166	160	162	160	160	160	160	158	164	158

Caudal de Simulación		Puntos de presión	Presión simulación	
0,28571429	L/s	A	167,316971	mm
		B	164,338857	mm
		C	135,732857	mm
		D	89,2814286	mm
		E	99,9657143	mm
		F	123,535714	mm
		G	138,265714	mm
		H	146,364	mm
		J	151,495714	mm
		K	155,779714	mm
		L	160,243143	mm

El error de linealidad

$$\Delta_{\text{linealidad}} = \text{máximo} |m_i - m_{\text{lineal}}(q_i)| = \text{máximo} \left| m_i - \frac{q_i - b}{a} \right|$$

$$\Delta_{\text{exactitud}} = \text{máximo} |q_i - m_i|$$

$$\%_{\text{linealidad}} = \frac{\Delta_{\text{linealidad}}}{FSC} \quad \%_{\text{exactitud}} = 100 \frac{\Delta_{\text{exactitud}}}{FSC}$$

Error linealidad	Error Exactitud	Error no linealidad %	Error Exactitud %
160,260049	0,68302857	1,01238045	4,85248447
157,509578	1,66114286		
132,318217	0,26714286		
90,8749271	2,71857143		
100,421	2,03428571		
121,031645	4,46428571		
134,395789	1,73428571		
141,583504	1,636		
146,259933	0,50428571		
149,861005	2,22028571		
154,096791	0,24314286		

9 Referencias Bibliográficas

- [1] ANSYS INC “Ansys Fluent Fluid simulation project” online available at: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-fluent>
- [2] ANSYS INC “Ansys fluent fluid manual” online available at: <http://www.pmt.usp.br/academic/martoran/notasmodelosgrad/ANSYS%20Fluent%20Users%20Guide.pdf> Manual del simulador de fluidos de ANSYS.
- [3] "Syllabus SENSORES Y ACTUADORES INDUSTRIALES", class notes for 12708, Facultad de Ingeniería Electrónica, Universidad Santo Tomás, 20- 03- 2019.
- [4] ANSYS, Inc (July 2021). Ansys Fluent Workbench Tutorial Guide 2021_R2 [Online]. Available: <https://forum.ansys.com/uploads/846/SCJEU0NN8IHX.pdf>
- [5] The MathWorks, Inc. (2023). Acceso a MATLAB y soporte para todos los usuarios: Universidad Santo Tomás [Online]. Available: <https://la.mathworks.com/academia/tah-portal/universidad-santo-tomas-31443512.html>
- [6] The MathWorks, Inc. (2022). Simscape Fluids User's Guide [Online]. Available: https://la.mathworks.com/help/pdf_doc/hydro/hydro_uq.pdf
- [7] T. Stolarski Y. Nakasone y S. Yoshimoto, *Engineering Analysis with ANSYS Software*. Second Edition. United Kingdom: Butterworth-Heinemann, 2018.
- [8] J.E. Matsson, *An Introduction to ANSYS Fluent 2022*. SDC Publications. United States of America, 2022.
- [9] L. A. Cardenas (17 de octubre de 2019). Historias de Grandes Exitos - Como se hicieron Millonarios [Online]. Available: <http://www.historiasdegrandesexitos.com/2019/10/ansys-inc-millones-con-su-software.html>
- [10] Equipo IDA (junio 24 de 2020). ¿Por qué son importantes los manuales de usuario?[Online]. Available: <https://blog.ida.cl/estrategia-digital/importancia-manuales-usuario/>
- [11] A. Chakrabarti and M. Arora, *Industry 4.0 and Advanced Manufacturing: Proceedings of I-4AM 2019*. Springer Nature. Singapore, 2021.
- [12] Yayun Zhang; Jinghui Peng; Songjing Li, 2022, Numerical Simulation of High-Temperature Gas Flow Rate Control Valve with Laval Structure by Fluid-thermal-structure Coupling [Online]. Available: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9930890>
- [13] Z. Equity (3 de Noviembre de 2022). ANSYS (ANSS) Q3 Earnings Beat Estimates, Revenues Up Y/Y [Online]. Available:

<https://finance.yahoo.com/news/ansys-anss-q3-earnings-beat-133201681.html>

[14] Universidad Santo Tomas (2020). Formación a la medida [Online]. Available: <https://educacioncontinua.usta.edu.co/index.php/formacion-a-la-medida>

[15] ANSYS, Inc (2023). Ansys for Students [Online]. Available: <https://www.ansys.com/academic/students>

[16] R. Magargle, L. Johnson, P. Mandloi, P. Davoudabadi, O. Kesarkar, S. Krishnaswamy, J. Batteh and A. Pitchaikani (15 de mayo de 2017). A Simulation-Based Digital Twin for Model-Driven Health Monitoring and Predictive Maintenance of an Automotive Braking System [Online]. Available: <https://ep.liu.se/ecp/132/003/ecp1713235.pdf>

[17] edX LLC (2023). A Hands-on Introduction to Engineering Simulations [Online]. Available: <https://learning.edx.org/course/course-v1: CornellX+ENGR2000X+1T2018/home>

[18] F. Pimenta, J. Pacheco, C. M. Branco², C. M. Teixeira and F. Magalhães (2023). Development of a digital twin of an onshore wind turbine using monitoring data [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1618/2/022065/meta>

[19] I. Naplekov, I. Zheleznikov, D. Pashchenko, P. Kobysheva, A. Moskvitina, R. Mustafin, M. Gnutikova, A. Mullagalieva and P. Uzlov (2018). Methods of computational modeling of coronary heart vessels for its digital twin [Online]. Available: https://www.mateconferences.org/articles/mateconf/abs/2018/31/mateconf_icdams2018_01009/mateconf_icdams2018_01009.html

[20] Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2017). Fluid mechanics: Fundamentals and applications (8th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.

[21] White, F. M. (2018). Fluid mechanics (8th ed.). New York, NY: McGraw-Hill Education.

[22] Sherif, M. M. (2019). Fundamentals of fluid mechanics (4th ed.). Springer.

[23] Studocu (2020). Conceptos generales, leyes básicas y propiedades de los fluidos [Online]. Available: <https://www.studocu.com/latam/document/universidad-centroamericana-jose-simeon-canas/fisica/propiedades-de-los-fluidos-leyes-basicas-y-conceptos/7570710>

[24] Conservación de la masa (2011). Grupo 9 - Mecánica de Fluidos [Online]. Available: http://grupo9fluidos.blogspot.com/2011/06/conservacion-de-la-masa_18.html

[25] Citeia (2021). "PRINCIPIO DE BERNOULLI | Aplicación- Ejercicios" [Online].

Available: <https://citeia.com/innovaciones-en-tecnologia/principios-de-bernoulli-ejercicios>.

[26] Lifeder (2021). "Ecuación de continuidad: fórmula, aplicaciones, ejercicios resueltos" [Online]. Available: <https://www.lifeder.com/ecuacion-de-continuidad/>.

[27] NIVEL

[28] iAgua (2023). "¿Qué es un caudal?" [Online]. Available: <https://www.iagua.es/respuestas/que-es-caudal>

[29] Dinámica de fluidos computacional (CFD) (2015). Virtual Pro - Portal especializado en procesos industriales. <https://www.virtualpro.co/editoriales/20151001-ed.pdf>

[30] A. J. Smith, "Fluid Mechanics," 3rd ed., McGraw-Hill Education, New York, NY.

[31] Universidad Veracruzana. [En línea]. Disponible: https://www.uv.mx/personal/fcastaneda/files/2010/10/guia_elab_manu_proc.pdf

[32] D. A. Ivanov, Marco La Rosa, & M. V. Mangia, Industry 4.0: The challenges and opportunities for manufacturing. Production Planning & Control, 27, No. 6, pp. 507-529, 2016.