

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y

ELECTRÓNICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE PRÁCTICAS VIRTUALES
SOBRE LA VARIABLE FLUJO Y HUMEDAD PARA EL
LABORATORIO DE SENSORES Y TRANSDUCTORES DE LA
ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL MEDIANTE UNA
PLATAFORMA DE DESARROLLO EN LÍNEA.**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE DOS PRÁCTICAS VIRTUALES
RELACIONADAS CON EL MEDIDOR DE FLUJO VENTURI Y EL
MEDIDOR DE FLUJO CORIOLIS PARA EL LABORATORIO DE
SENSORES Y TRANSDUCTORES MEDIANTE UNA PLATAFORMA
DE DESARROLLO EN LÍNEA.**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR PRESENTADO COMO
REQUISITO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
ELECTRÓNICA Y AUTOMATIZACIÓN**

JOSÉ LUIS LEÓN GRANIZO

jose.leon02@epn.edu.ec

DIRECTOR: ING. MARÍA FERNANDA TRUJILLO GUERRERO

maria.trujillo01@epn.edu.ec

DMQ, 4 de Abril de 2024

CERTIFICACIONES

Yo, JOSÉ LUIS LEÓN GRANIZO declaro que el trabajo de integración curricular aquí descrito es de mi autoría; que no se ha presentado antes para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas de este documento.

JOSÉ LUIS LEÓN GRANIZO

Certifico que JOSÉ LUIS LEÓN GRANIZO ha desarrollado el presente trabajo de integración curricular, bajo mi supervisión.

ING. MARÍA FERNANDA TRUJILLO GUERRERO
DIRECTOR

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

A través de la presente declaración, afirmamos que el trabajo de integración curricular aquí descrito, así como el (los) producto(s) resultante(s) del mismo, son públicos y estarán a disposición de la comunidad a través del repositorio institucional de la Escuela Politécnica Nacional; sin embargo, la titularidad de los derechos patrimoniales nos corresponde a los autores que hemos contribuido en el desarrollo del presente trabajo; observando para el efecto las disposiciones establecidas por el órgano competente en propiedad intelectual, la normativa interna y demás normas.

JOSÉ LUIS LEÓN GRANIZO

ING.MARÍA FERNANDA TRUJILLO GUERRERO

DEDICATORIA

Este trabajo se lo dedico a mis Padres Carmita y Pedro que gracias a ellos soy la persona que soy ya que siempre me han apoyado incondicionalmente y lo siguen haciendo.

A mis hermanos Johanna y Santiago que siempre han estado para mí en las buenas y malas cuando yo lo he necesitado.

A todas las personas que me han ayudado a crecer como persona y profesional.

AGRADECIMIENTO

Mi grato agradecimiento a Dios por permitirme vivir y disfrutar de la vida.

A mis Padres y hermanos por el apoyo brindado a lo largo de mi vida tanto personal como profesional.

A mi tutora de Tesis Ing. María Fernanda Trujillo porque desde el primer momento ha sido una guía y un apoyo para que se pueda materializar este trabajo.

TABLA DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA	II
DEDICATORIA	III
AGRADECIMIENTO	IV
TABLA DE CONTENIDO	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos	2
1.3. Alcance	3
1.4. Marco teórico	3
1.4.1. Variable flujo	3
1.4.2. Tipos de flujo.....	4
1.4.3. Medición de la variable flujo	6
1.4.4. Laboratorio virtual	14
2. METODOLOGÍA	16
2.1. Práctica 1: Sensor de flujo Venturi	16
2.1.1. Válvula	17
2.1.2. Transmisor de flujo.....	19
2.1.3. Tubería	20
2.1.4. Tubo Venturi	21
2.1.5. Conexión de los componentes con la tubería	22
2.2. Práctica 2: Sensor de flujo Coriolis.....	23
2.2.1. Controlador	23
2.2.2. Actuador	24
2.2.3. Elemento final de control.....	25
2.2.4. Sensor de flujo	28
2.3. Implementación de las prácticas de laboratorio.....	30
2.3.1. Estructura general de la aplicación	30
2.3.2. Escena “sensor de flujo Venturi”	33
2.3.1. Escena “sensor de flujo Coriolis”	43
3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	50
3.1. Resultados	50
3.2. Conclusiones	57
3.3. Recomendaciones	58
4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59

RESUMEN

En el presente trabajo se realiza un análisis de la variable flujo considerando las características físicas, tipos de flujo, sensores y fórmulas matemáticas que permiten determinar el valor de la variable de maneta directa o indirecta especialmente en tuberías.

Para interactuar con la variable flujo y aplicar las fórmulas que sustentan sus cálculos se ha realizado dos prácticas virtuales dentro de un software interactivo.

La práctica 1 se enfoca en el sensor tipo Venturi que mediante la variación de la apertura de una válvula es decir la variación del diámetro por el que circula el fluido varía el flujo que se produce al aplicar la fórmula de Venturi.

La práctica 2 se centra en la implementación del sensor de flujo Coriolis en una aplicación industrial de llenado de tanques de gas, el caudal es generado por medio de un compresor y se realiza el control con una válvula proporcional, con esta información se determina indirectamente el flujo másico y la velocidad a la que circula el fluido por la tubería.

El desarrollo de estas dos prácticas se realizó mediante el uso de software enfocados a la realidad virtual como UNITY 3D, modelado de piezas como AUTOCAD, BLENDER y TINDERCAD.

PALABRAS CLAVE: Flujo, Instrumentación virtual, Modelado 3D, Prácticas de Laboratorio, Sensores de caudal, Simuladores.

ABSTRACT

The present document examines the flow variable, taking into account its physical characteristics, types of flow, sensors, and mathematical formulas that allow determining the value of the variable directly or indirectly, especially in pipes.

To interact with the flow variable and apply the formulas that support its calculations, two virtual practices have been carried out within an interactive software environment.

Practice 1 focuses on the Venturi-type sensor, which varies the flow by adjusting the aperture of a valve, i.e., by varying the diameter through which the fluid circulates, thereby affecting the flow produced when applying the Venturi equation.

Practice 2 centers on the implementation of the Coriolis flow sensor in an industrial application for filling gas tanks. The flow rate is generated by a compressor, and control is achieved with a proportional valve. With this information, mass flow and the velocity at which the fluid circulates through the pipe are indirectly determined.

The development of these two practices was carried out using software focused on virtual reality, such as UNITY 3D, and modeling of parts such as AUTOCAD, BLENDER, and TINDERCAD.

KEYWORDS: Flow, Virtual Instrumentation, 3D Modeling, Laboratory Practices, Flow Sensors, Simulators.

1. INTRODUCCIÓN

Conocer el entorno y las cualidades donde el ser humano desarrolla sus actividades da información importante para comprender, controlar o hasta predecir las causas de un suceso entre ellos el comportamiento de sistemas más complejos.

Esta interacción diaria hace que el estudio de magnitudes físicas nos ayude a comprender de mejor manera el mundo en el que vivimos.

La magnitud física que se estudia en este documento es el caudal y tiene relevancia su estudio porque se encuentra presente en actividades cotidianas como en la mayoría de los procesos industriales.

En el ámbito industrial el estudio del caudal es clave para comprender el comportamiento de líquidos y gases en condiciones reales además de garantizar la calidad del producto y mantener el entorno de trabajo seguro aplicando regulaciones y estándares ambientales y de seguridad. Otra de las consideraciones importantes del estudio del flujo es el impulso tecnológico ya que se busca mejorar la eficiencia en los procesos en busca de nuevas soluciones permitiendo una reducción de costos operativos.

En este documento el caudal se lo analiza tomando en cuenta todas sus características considerando los tipos de flujo que se encuentran en la naturaleza como son el laminar y el turbulento, y además de tomar en consideración la forma en la que se determina el caudal ya sea midiendo su volumen en función del tiempo teniendo un flujo volumétrico o considerando una la masa circulante en el tiempo teniendo un flujo másico. Finalmente, otra de las consideraciones que toman en cuenta son las unidades de trabajo ya sea en el sistema internacional o sistema americano ya que dependiendo la necesidad se utiliza la una o la otra. Después de analizar las características del flujo se requiere medir esta variable y representar su valor numéricamente, esto se consigue mediante la utilización instrumentos de medición que de forma directa o indirecta brindan esta información.

Los sensores de flujo utilizan diferentes métodos de medición dependiendo el tipo de flujo estos pueden ser medidores volumétricos que determinan el flujo mediante distintos principios como presión diferencial, conceptos de velocidad, fuerza o desplazamiento positivo y si el sensor es másico las técnicas pueden ser mediante compensación, presión diferencial, aplicando torque y principios térmicos.

Ya que la medición de flujo en procesos industriales se los realiza en físicamente en campo, utilizando las prácticas virtuales de flujo se manipula y maneja los sensores tal y como se lo realizaría físicamente en la planta industrial.

1.1. Objetivo general

1. Realizar el diseño y la implementación de dos prácticas para el laboratorio de Instrumentación Industrial de la Escuela Politécnica Nacional mediante la aplicación de instrumentación virtual para el análisis de la variable caudal.

1.2. Objetivos específicos

1. Conocer los conceptos fundamentales de la variable flujo realizando una investigación bibliográfica en libros, revistas y documentos que se enfoquen en la variable.

2. Realizar una investigación de softwares especializados en la creación de ambientes virtuales, así como del modelado de piezas en 3D para lograr desarrollar la simulación de un laboratorio de instrumentación virtual.

3. Generar representaciones tridimensionales de instrumentos físicos, considerando sus dimensiones reales y características de operación mediante el uso de softwares de modelado.

4. Realizar la programación de las acciones que realizan los elementos diseñados en 3D por medio de un programa de desarrollo para observar un funcionamiento a los instrumentos reales.

5. Integrar en una interfaz 3D los dispositivos creados, así como sus funciones programadas formando un entorno de interacción entre el estudiante y el laboratorio virtual permitiendo desarrollar pruebas de funcionamiento y el desarrollo de ejercicios.

1.3. Alcance

1. Se efectuará una revisión de fuentes bibliográficas relevantes que permitan comprender los conceptos fundamentales de la variable flujo, para establecer una base teórica sólida sobre la variable.
2. Se identificará y evaluará las características, capacidades y requisitos técnicos de los softwares de diseño escogidos para realizar la aplicación, seleccionando las herramientas más adecuadas para la simulación del laboratorio de instrumentación industrial para la variable flujo.
3. Se utilizarán los softwares escogidos para realizar la recreación 3D de los instrumentos considerando las dimensiones físicas y características de cada uno de los instrumentos requiriendo que estos tengan una precisión fidelidad con respecto a los instrumentos físicos reales.
4. Se desarrollarán programas para asignar las acciones a los elementos 3D reflejando su comportamiento real y se verificara la correcta ejecución de las acciones programadas en relación con el comportamiento del instrumento.
5. Se integrará los instrumentos 3D a las funciones programadas en una interfaz tridimensional que sea intuitivo y fácil de manejar permitiendo realizar pruebas de funcionamiento y ejercicios dentro del entorno virtual desarrollado.

1.4. Marco teórico

En esta sección se explica la teoría referente a la variable caudal tomando en cuenta sus principales características, las formas de medición del flujo, aplicaciones y como interactuar de manera virtual con esta. Además, se realiza un análisis de los sensores más utilizados para la medición, y finalmente se da a conocer los softwares con los que se ha desarrollado la aplicación y sus características.

1.4.1. Variable flujo

El flujo es la cantidad de líquido o gas que está circulando por un punto específico en un determinado momento por esta razón se lo expresa en unidades de volumen por unidad de tiempo.

1.4.2. Tipos de flujo

Se define dos tipos de flujo de acuerdo con las características del fluido.

Flujo volumétrico

El flujo volumétrico mide la cantidad de volumen del fluido que está circulando en el tiempo medido en un punto del sistema.

Se lo representa en la ecuación 1 como Q_v

$$Q_v = \frac{V}{t}$$

Ecuación 1. Flujo volumétrico

$v = \text{Volumen del fluido}$

$t = \text{tiempo}$

Otra de las formas de representar el caudal volumétrico es como se muestra en la ecuación 2 como la velocidad con la que circula un fluido por un área definida

$$Q_v = vel * S$$

Ecuación 2. Caudal volumétrico en función de la velocidad y superficie

$vel = \text{Velocidad}$

$S = \text{Superficie}$

Flujo másico

El flujo másico se centra en la masa del fluido ya que mide la cantidad de masa que circula en el tiempo medido en un punto del sistema de trabajo.

Se lo representa en la ecuación 3 como Q_m

$$Q_m = \frac{m}{t}$$

Ecuación 3. Flujo másico en función de la masa y el tiempo

$v = \text{masa del fluido}$

$t = \text{tiempo}$

Conocida la definición de los dos tipos de caudal es importante conocer sus unidades que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1: Unidades de medida del caudal volumétrico y másico. [1]

Caudal volumétrico	Caudal másico	Tipo de sistema
$\frac{m^3}{s}$	$\frac{kg}{s}$	Internacional
$\frac{m^3}{h}$	$\frac{kg}{h}$	Internacional
$\frac{pie^3}{s}$	$\frac{lb}{s}$	Americano
$\frac{Lts}{min}$	$\frac{lb}{h}$	Americano
$\frac{Lts}{s}$	$\frac{lb}{min}$	Americano

Además, se clasifica el flujo de acuerdo con su desplazamiento y dirección. Para lo cual se analiza el concepto conocido como número de Reynolds.

Número de Reynolds

El número de Reynolds es una propiedad específica utilizada en accesorios e instrumentos y es número sin dimensiones que se deriva de una combinación de cuatro variables las que son los diámetros de las tuberías, la velocidad, densidad y viscosidad del fluido. En otras palabras, es una relación entre los esfuerzos de deformación que produce la viscosidad del fluido en relación a la fuerza dinámica producto de la masa del fluido.[2]

Flujo laminar:

El flujo laminar lleva este nombre ya que el movimiento de las partículas se produce en láminas de forma paralela sin tener una mezcla de estas siguiendo una línea de corriente lo que se observa en la figura 1. Este tipo de flujo se produce cuando se presenta movimiento de fluidos que tienen una viscosidad alta y un movimiento lento. El número de Reynolds para fluidos en forma laminar es menor a 2000. [2]

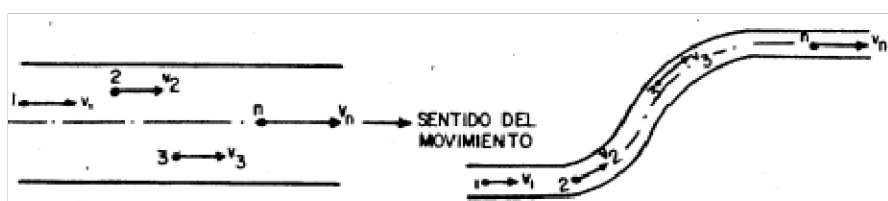


Figura 1. Representación gráfica del flujo laminar.[2]

Flujo turbulento:

Se produce un flujo turbulento cuando la trayectoria de movimiento presenta remolinos no periódicos y el desplazamiento se produce de manera desordenada y caótica como se muestra en la figura 2. El número de Reynolds para fluidos en forma turbulento es mayor a 4000.[2]



Figura 2. Representación gráfica del flujo turbulento.[2]

1.4.3. Medición de la variable flujo

Después analizar las características teóricas del flujo se analiza la forma y los métodos para determinar el flujo de manera física en un ambiente real.

Se realiza la medición de flujo en la industria específicamente para solventar dos problemas específicos:

- Determinar la cantidad de fluido que un proceso está consumiendo y con esta medida determinar costos
- Determinar las proporciones de fluido que un proceso necesita ya sea medida en volumen o en masa

Como se muestra en la sección 1.4.1 existe una clasificación de instrumentos de acuerdo al tipo de flujo que se quiere determinar.

En la figura 3 se muestra la clasificación de los medidores de flujo volumétrico y en la figura 4 la clasificación de los medidores de flujo másico de acuerdo a su principio de funcionamiento.



Figura 3. Clasificación de los medidores de flujo volumétrico.[3]

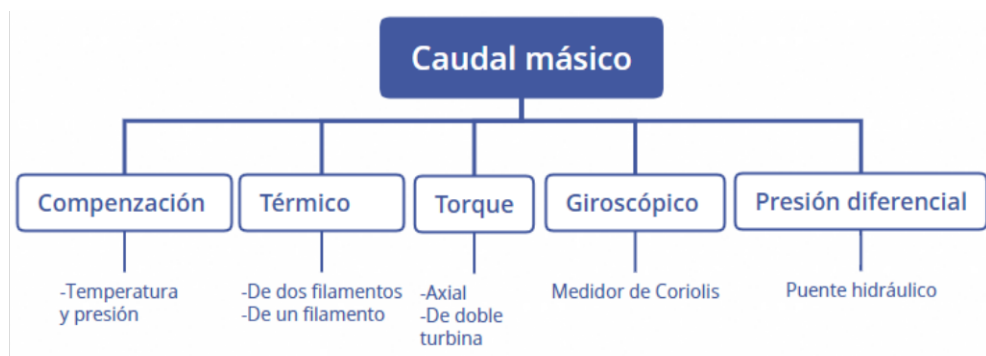


Figura 4. Clasificación de los medidores de flujo másico. [3]

Medición de flujo dentro de una tubería cerrada

Para determinar el flujo dentro de una tubería cerrada se utiliza dos medidores que determinan de manera indirecta el flujo y estas son:

- Medición mediante sensores de área variable (Tubo Venturi)
- Medición de flujo mediante sensores tipo Coriolis

Medición de flujo mediante sensores de área variable

El funcionamiento de los sensores que tienen la capacidad de variar su área es que al momento que esta disminuye se crea una diferencia de presión entre el área normal y el área reducida y por consecuencia de esta reducción genera un aumento en la velocidad.[4]

Como se observa en la figura 5 la tubería sufre una deformación en su estructura teniendo una reducción en el área, esto produce dos medidas de presión, área y velocidad, donde la presión en el área que sufrió la reducción disminuya y la velocidad del fluido en esta sección aumente, matemáticamente estas relaciones son representadas como se muestran en las ecuaciones 4, 5 y 6.

$$A_1 > A_2$$

Ecuación 4. Relación de áreas dentro de un tubo Venturi

$$P_1 > P_2$$

Ecuación 5. Relación de presiones dentro de un tubo Venturi

$$v_1 < v_2$$

Ecuación 6. Relación de velocidades dentro de un tubo Venturi

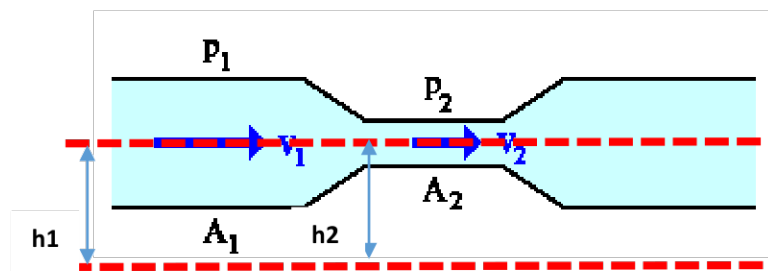


Figura 5. Representación de áreas, presiones y velocidades en el medidor.[5]

Tomando en cuenta este principio se determina de forma indirecta la variable de interés que es el flujo ya que a partir de otras variables como son la presión, el área y la velocidad se toma una ley física o principios para la determinación de este.

Considerando el área de la sección transversal y la velocidad a la que circula el fluido el caudal se lo determina mediante la ecuación 7.

$$Q = A * v$$

Ecuación 7. Caudal en función del área y velocidad

Q =Caudal

A =Área

v = velocidad

Y a lo largo de toda la tubería el caudal es el mismo por esta razón:

$$Q = A_1 * v_1 = A_2 * v_2$$

Ecuación 8. Caudal medido en 2 puntos del sensor

Conociendo los valores de las áreas tanto fijas como variables en la tubería y las velocidades en cada uno de estos puntos se aplica la ley de Bernoulli que estudia la caída de presiones debido a reducciones de área en tuberías, este efecto produce un aumento de la energía cinética en la parte reducida y con ello el aumento de la velocidad, y mediante la aplicación de esta ley se determina el flujo de manera indirecta como se muestra a continuación:

Partiendo de la ecuación de Bernoulli en donde se relaciona la velocidad, presión y altura medidos en dos puntos cualquiera (1 y 2) teniendo un líquido con una densidad constante que circula con un flujo laminar y constante.

La ecuación en cualquier punto se expresa como una sumatoria entre la que se produce la presión absoluta, la presión dinámica del fluido y la presión estática del fluido como lo muestra la ecuación

$$P + P_d + P_e$$

Ecuación 9. Sumatoria de presiones en el sensor

P = Presión absoluta

P_d = Presión dinámica del fluido

$$P_d = \frac{1}{2} \rho v$$

Ecuación 10. Presión dinámica dentro del sensor

ρ = densidad del fluido

v = velocidad del fluido

P_e = presión estática del fluido

$$P_e = \rho g h$$

Ecuación 11. Presión estática dentro del sensor

ρ = densidad del fluido

g = gravedad $9.8 \left(\frac{m}{s^2} \right)$

h = Altura de referencia

Y la ecuación de Bernoulli expresada en la ecuación 12 como:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2$$

Ecuación 12. Ecuación de Bernoulli

Para utilizar la ecuación de Bernoulli se toma en cuenta las unidades de cada una de las magnitudes que están involucradas.

P = Presión absoluta en Pascales (Pa)

ρ = Densidad del fluido en $\left(\frac{Kg}{m^3}\right)$

v = Velocidad del fluido en $\left(\frac{m}{s}\right)$

g = gravedad en $\left(\frac{m}{s^2}\right)$

h = Altura de referencia en (m)

En este caso, las alturas 1 y 2 son las mismas como se muestra en la figura 5 porque los dos puntos de medición están a la misma altura vertical medida desde el mismo punto de referencia.

$$h_1 = h_2$$

$$\rho g h_1 = \rho g h_2$$

Ecuación 13. Presión estática en 1 igual a 2.

La expresión se reduce a:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2$$

Ecuación 14. Ecuación de Bernoulli sin presión estática.

De la ecuación se despeja:

$$v_1^2 - v_2^2 = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}$$

Ecuación 15. Ecuación de presiones elevadas al cuadrado.

Con la ecuación 5 se expresa v_2 en función de v_1 .

$$v_2 = \frac{A_1 * v_1}{A_2}$$

Ecuación 16. Velocidad 2 en función de las áreas y velocidad 1.

Reemplazando la ecuación 13 en la ecuación 12 y sacando factor común A_1^2 .

$$\left(v_1^2 - v_1^2 \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}$$

Ecuación 17. Ecuación resultante de reemplazar la ecuación 13 en la 12.

$$v_1^2 \left(1 - \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}$$

Ecuación 18. Ecuación resultante de tomar como factor común la velocidad 1 al cuadrado.

Realizando de la misma manera el procedimiento para la velocidad 2 se tiene:

$$v_2^2 \left(1 - \frac{A_1^2}{A_2^2} \right) = \frac{2(P_2 - P_1)}{\rho}$$

Ecuación 19. Ecuación resultante de tomar como factor común la velocidad 2 al cuadrado.

Utilizando las ecuaciones 15 y 16 se obtiene la velocidad 1 y la velocidad 2.

$$v_1 = A_2 \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}} \left(\frac{m}{s} \right)$$

Ecuación 20. Ecuación resultante para encontrar la velocidad en el punto 1.

$$v_2 = A_1 \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}} \left(\frac{m}{s} \right)$$

Ecuación 21. Ecuación resultante para encontrar la velocidad en el punto 2.

Aplicando la ecuación 5 se tiene el caudal por la tubería es función las áreas, la presión y la densidad del fluido

$$Q = A_1 v_1 = A_2 v_2 = A_1 A_2 \sqrt{\frac{2(P_2 - P_1)}{\rho(A_1^2 - A_2^2)}} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

Ecuación 22. Ecuación del caudal en función de áreas, presiones y densidad.

Medición de presión diferencial

Para determinar el flujo de forma indirecta es necesario conocer las siguientes magnitudes:

La de presión generada entra el área constante (P1) y la presión el área variable del tubo Venturi (P2).

La presión diferencial realizar la diferencia entre la presión en un punto 1 y un punto 2 arbitrarios, normalmente la presión 1 es mayor a la presión 2 como se observa en la figura 6.[6]

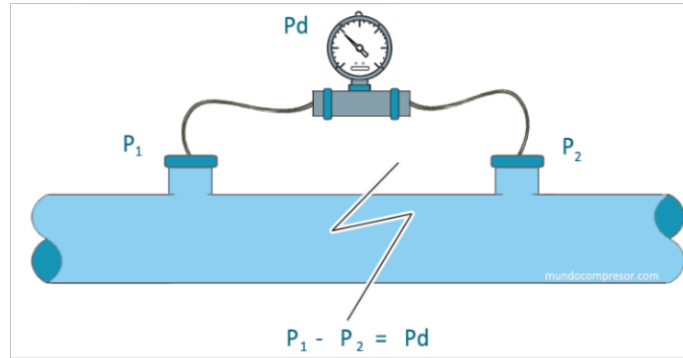


Figura 6. Presión diferencial.[6]

Para realizar la medición de presión diferencial en el tubo Venturi se utiliza un medidor transmisor de presión diferencial.

Medidor de flujo tipo Coriolis



Figura 7. Representación física del sensor Coriolis. [7]

El sensor Coriolis es un instrumento que utiliza el principio de fuerzas del efecto Coriolis el cual consiste en la aparición de una fuerza ficticia que actúa sobre un objeto cuando este rota.

El sensor consta de 2 tubos en u que vibran de manera perpendicular a la dirección del flujo produciendo una fuerza de Coriolis que hace que los tubos en u vibren con una frecuencia y amplitud las que son proporcionales al flujo.

En la figura 8 se muestran las partes que componen a los caudalímetros Coriolis

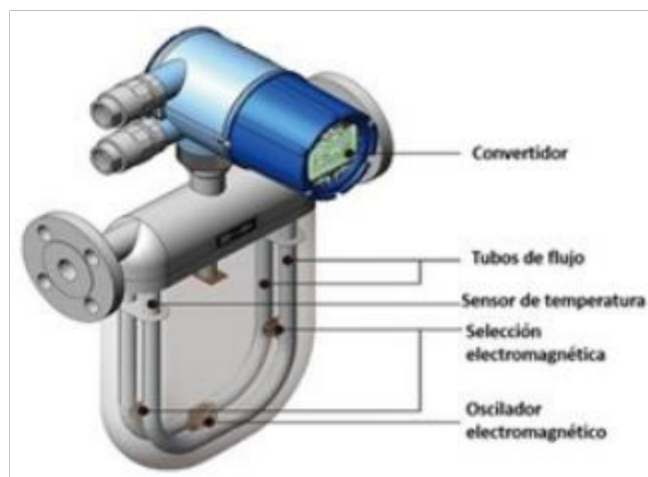


Figura 8. Partes físicas de un sensor Coriolis.[8]

Para realizar la instalación del sensor Coriolis en la tubería es necesario hacerlo mediante bridas ya que este instrumento viene diseñado con terminales con bridas incorporadas como se observa en la figura 8.

El sensor Coriolis tiene oscilador electromagnético que produce una vibración de los tubos a una frecuencia natural además de dos sensores que captan la señal de distorsión de los tubos cuando está circulando un fluido.

Y finalmente el caudalímetro incorpora un sensor de temperatura que envía señales para realizar la compensación debido al cambio térmico del módulo de elasticidad[8]

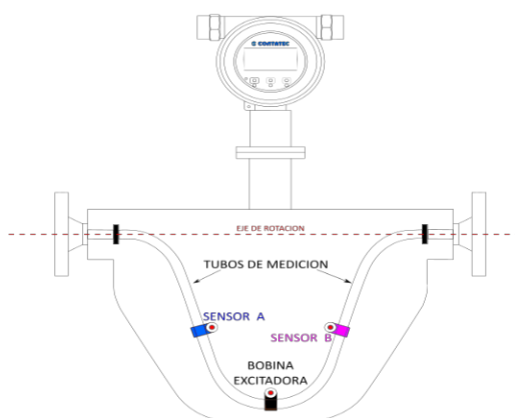


Figura 9. Posición de los sensores y de la bobina excitadora.[7]

Cabe mencionar que cada tubo vibra en sentido opuesto al otro para así crear el efecto Coriolis deseado en la medición.

- Al no tener flujo de líquido no se tiene un cambio de fase entre la señal del sensor de entrada con la de salida porque están midiendo únicamente la frecuencia que produce el oscilador esto se observa en la figura 10.

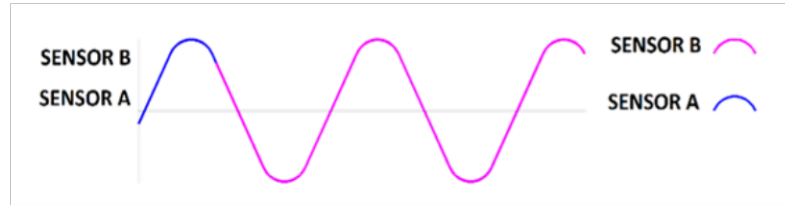


Figura 10. Ondas producidas por el sensor A y B al no tener circulación de líquido.[7]

- Si se encuentra circulando un fluido por el sensor se produce un movimiento de vibración en los tubos lo que provoca el efecto Coriolis requerido, como lo muestra la figura 11 se produce una diferencia de fase entre la medida emitida por el sensor A respecto al sensor B, esta diferencia de fase es proporcional al caudal.

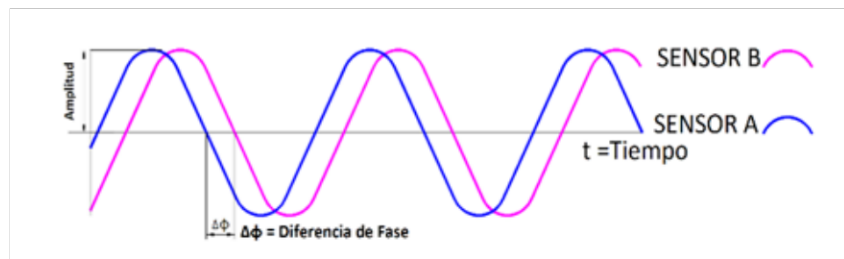


Figura 11. Ondas producidas por el sensor A y B al tener circulación de líquido.[7]

Al no existir circulación de flujo por la tubería los tubos en u del caudalímetro Coriolis se encuentran oscilando a la frecuencia de resonancia producida por el oscilador.

1.4.4. Laboratorio virtual

El desarrollo de aplicaciones de simulación y modelamiento 3D permite desarrollar laboratorios virtuales con funcionalidades similares a un laboratorio real. Por esta razón en esta sección se analiza los softwares que se utilizan para la implementación del laboratorio virtual.

Unity 3d

El software Unity 3D es conocido principalmente por su aplicación en el desarrollo de juegos y aplicaciones, pero también se ha utilizado en el campo de la ingeniería electrónica y la instrumentación industrial debido a su gran capacidad de simulación y a sus herramientas de visualización realista.

Unity 3D permite realizar pruebas virtuales antes de la implementación real, creando representaciones 3D de alta calidad e interactividad en tiempo real en un entorno seguro y eficaz para el diseño y análisis de sistemas implementados con interfaces de usuario y sistemas de visualización para supervisión y control.

Permite integrar datos de sensores y dispositivos industriales, proporcionando una representación aproximada y observando lo que ocurre en tiempo real. Además, la aplicación proporciona herramientas para representar visualmente datos en tiempo real procedentes de sensores industriales, PLC y otros dispositivos de medición, y esta información puede gestionarse gracias a la capacidad de Unity para procesar grandes volúmenes de datos.[9]

Microsoft Visual Studio

Para realizar la programación del entorno de Unity 3D y de cada uno de los componentes a controlar se utiliza el software Microsoft visual estudio el cual es un entorno de desarrollo que tiene como funcionalidades depurar código, integrar sistemas de control y ayudar en la escritura de código.

Ya que Unity 3D maneja scripts en lenguaje C# es óptimo ya que maneja y tiene compatibilidad con otros lenguajes de programación, como C++ F#, Visual Basic y Python, y es amigable ya que proporciona una serie de herramientas y funciones para ayudar a los usuarios a detectar y resolver errores de código de forma rápida y eficaz.

Con las plantillas y emuladores que tiene visual estudio se pueden utilizar para crear aplicaciones rápidamente que pueden integrarse con herramientas de desarrollo creados propiamente.[10]

AutoCAD 3d

AutoCAD 3D es una herramienta de diseño enfocada en el modelamiento de piezas mecánicas e industriales.

Los modelos creados en AutoCAD 3D se crean mediante sólidos, superficies y funciones avanzadas de edición para construir representaciones digitales precisas y detalladas. Estos modelos se exportan en formato .STL porque se logra representar de manera realistas dispositivos, sensores, componentes y sistemas utilizados en entornos industriales lo que óptimo para el laboratorio virtual a estructurar.[11]

Blender

Una vez que se ha modelado el instrumento en AutoCAD 3D y teniendo este archivo en .STL se exporta este archivo al software BLENDER ya que mediante sus herramientas como el modelado poligonal, la escultura digital y las herramientas de esculpido se producen archivos 3D de alta calidad.

Debido a que Unity 3D acepta únicamente archivos .OBJ o archivos propios de la aplicación de BLENDER el software se encarga puede importar y exportar archivos en otros formatos haciendo la aplicación oportuna para el desarrollo del laboratorio ya que las piezas 3D diseñadas en este programa son utilizadas en diseño y animación 3D.[12]

Tinkercad

Tinkercad es un software gratis que se lo puede encontrar de forma online y su funcionalidad es crear de manera interactiva piezas en 3D ya que integra una metodología de agregar, unir y quitar figuras básicas como cubos, cilindros o esferas tomando en cuenta las dimensiones reales del objeto con el que se va a trabajar o recrear.[13]

2. METODOLOGÍA

Con la ayuda de softwares para la creación de entornos virtuales de la sección 1 se plantea dos prácticas virtuales, la primera práctica se la ha realizado para medir la cantidad de flujo que está circulando por la tubería mediante la variación del diámetro de la tubería con la finalidad de determinar la presión diferencial producida por esta variación y con respecto a la segunda práctica se ha dado un enfoque a una aplicación industrial del llenado de tanques de diferentes gases con un sistema en lazo cerrado, estas dos prácticas son diseñadas para el laboratorio de sensores y transductores van a poder encontrar de manera física en el laboratorio y para ello se ha realizado de manera planificada las siguientes actividades.

- Análisis del sistema implementado y modelamiento 3D para la práctica 1
- Análisis del sistema implementado y modelamiento 3D para la práctica 2
- Modelado de figuras en 3 dimensiones
- Implementación de las prácticas de laboratorio

2.1. Práctica 1: Sensor de flujo Venturi

En la implementación de la práctica 1 se estudia a la variable caudal por medio de un sistema en lazo cerrado controlado manualmente y se aproxima al esquema de la figura 12 en donde el humano es el encargado del control el paso del fluido por medio de una válvula manual y el sensor del proceso es el ojo del operador realiza la retroalimentación entre el flujo de entrada y el flujo de salida al tanque.

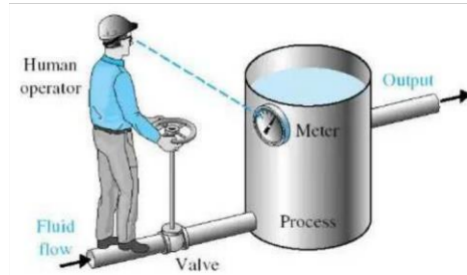


Figura 12. Representación gráfica de un proceso manual.[15]

Se representa en un diagrama de bloques como se lo muestra en la figura 13.

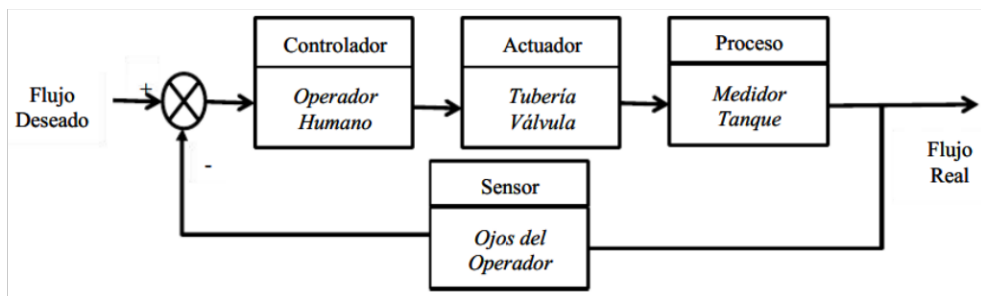


Figura 13. Diagrama de bloques del proceso manual

2.1.1. Válvula

Para controlar el flujo de la tubería se usan válvulas que pueden ser de tipo ON/OFF o proporcional.

La válvula que se ha escogido para realizar el control de flujo es tipo bola ya que por su construcción permite la circulación fluidos con solidos en suspensión o fluidos puros, además es óptima para realizar un control proporcional.

El control proporcional del flujo lo realiza el usuario mediante el actuador manual de la válvula.

Para realizar la instalación de la válvula en la tubería se utiliza bridas ya que la válvula como lo muestra la figura 14 cuenta con bridas en los extremos de su estructura [16].



Figura 14. Válvula de globo bridada serie 253- Clase150 [17]

El modelamiento 3D de la válvula se lo realizó en AutoCAD 3D considerando las dimensiones reales mostradas en la figura 15.

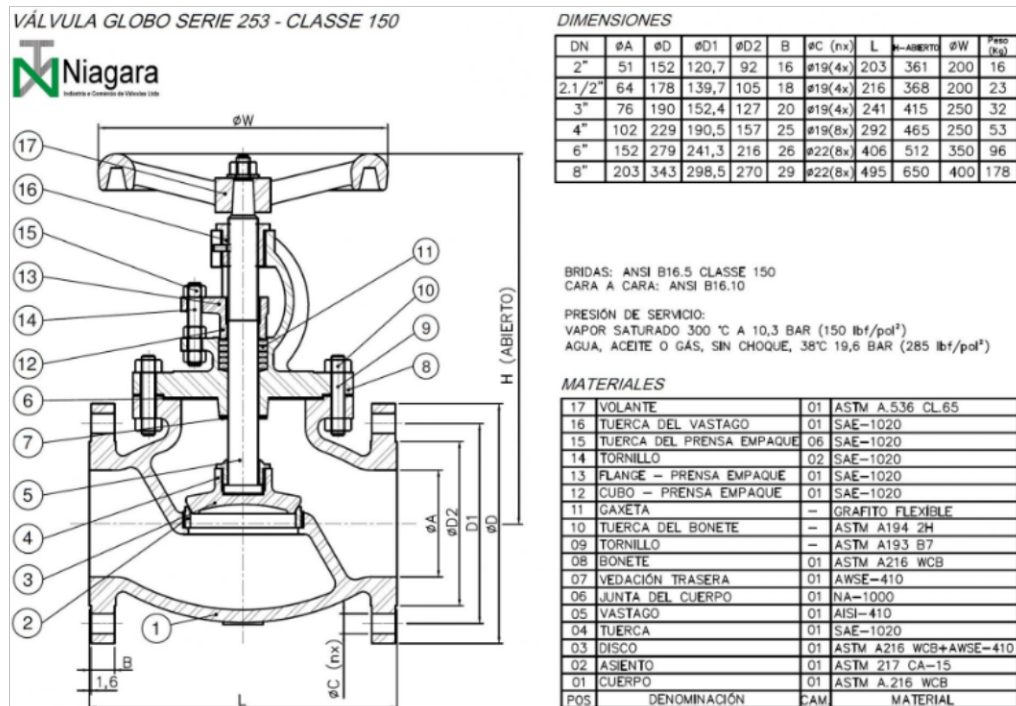


Figura 15. Dimensiones de la válvula globo serie 253. [16]

Una vez realizado el modelamiento de la válvula el resultado es el mostrado en la figura 16.

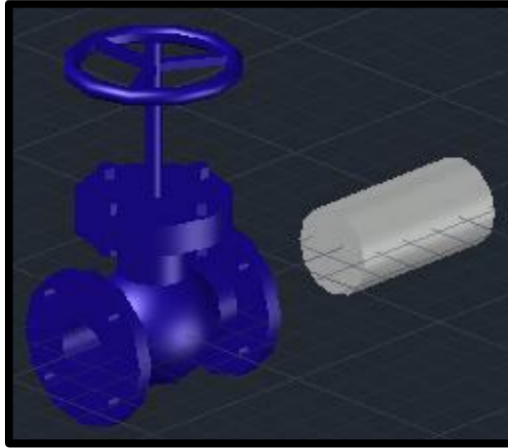


Figura 16. Modelado de la válvula realizada en AutoCAD

El archivo obtenido desde AutoCAD tiene la extensión. STL por lo que se exporta el archivo hacia el Software blender el que se encarga de transformar el archivo a una extensión compatible a UNITY esta extensión debe ser .OBJ o archivos propios de la aplicación de BLENDER



Figura 17. Modelado de la válvula realizada en Blender.

Como se muestra en la figura 17 el modelo 3D de la válvula esta lista para poderla importar desde UNITY

2.1.2. Transmisor de flujo

El valor del flujo como se vio en la sección 2.1.1 es de gran importancia ya que es una magnitud presente en la ecuación de Bernoulli y fundamental para el cálculo de magnitudes como presión diferencial o velocidad que se encuentra circulando por la tubería por esta razón se utiliza un transmisor de presión diferencial comercial Honeywell SMV 800[18] y el instrumento se lo muestra en la figura 18 .

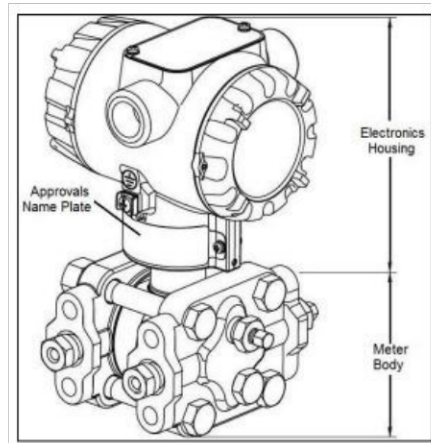


Figura 18. Transmisor Honeywell SMV 800.[18]

Como se plantea que el trabajo para este transmisor sea en un ambiente industrial el sensor es el ideal porque sus materiales son óptimos para esta operación como es el caso de las aleaciones C276, Tantalio y Monel

El principio de medición del sensor es la incorporación de un sensor tipo piezo resistivo además de una membrana de metal para realizar la medición de la presión por medio de señales de resistencia y voltaje.

La precisión que entrega el sensor en su medida es de 0.05% independientemente si es caudal másico o caudal volumétrico.

Tomando en cuenta que no se necesita tener el valor de la presión en valores de voltaje para realizar su acondicionamiento ya que se requiere únicamente que se muestre el valor de la presión ya sea en unidades de PSI o Pascales el sensor es ideal porque muestra la medida directamente en su pantalla LCD.[18]

La conexión con el sensor se realiza por medio de dos tuberías una que se sitúa en el orificio de entrada para presión alta y la otra en el orificio de entrada para presión baja, estos orificios tienen una medida estándar 1" NPT.

2.1.3. Tubería

La tubería por la cual circula el líquido se ha escogido de acuerdo a la aplicación industrial siguiendo los estándares para las dimensiones que siguen la tubería entre ellos la norma ASME B36.10M la que se encarga del análisis de la estandarización de tamaños y dimensiones para la tubería a utilizar y la norma B36.19M encargada del análisis de la construcción de sistemas para la circulación de líquidos por medio de sistemas

interconectados de tuberías, en estas normas además se presentan las medidas en tamaños nominales conocidos como NPS medido en pulgadas y diámetro nominal conocido como DN medido en milímetros.[19]

La tabla 2 muestra las dimensiones de la tubería escogida tanto en unidades americanas como en el sistema internacional.

Tabla 2. Tamaño nominal de la tubería[19]

Tamaño nominal de la tubería	
NPS (Pulgadas)	DN (milímetros)
2"	50
Material	
Acero Inoxidable	

Tomando en cuenta las medidas de la tubería a utilizar se ha realizado el modelado de estos elementos en AutoCAD 3D como se muestra en la figura 19 y se los ha exportado a BLENDER para tener el modelo 3D en un archivo compatible con UNITY, la figura 20 muestra el modelo en .OBJ creado en Blender

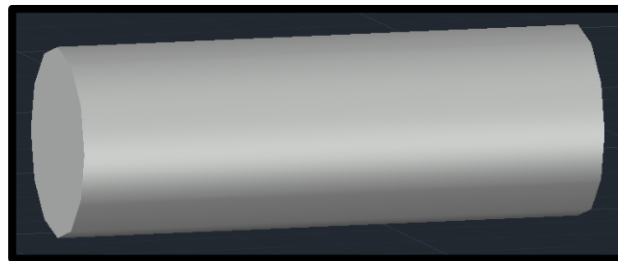


Figura 19. Modelado de la tubería en AutoCAD

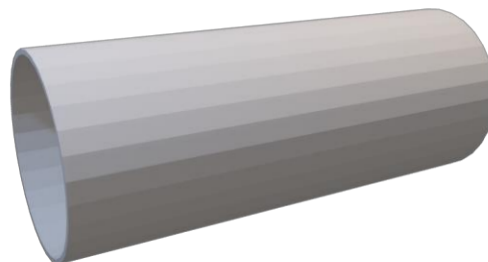


Figura 20. Modelado de la tubería en Blender

2.1.4. Tubo Venturi

Este instrumento se lo ha diseñado considerando que se lo instalará a continuación del tubo escogido en la sección 2.2.3 por lo tanto la sección transversal del área fija será de

50 mm o 2" y la sección variable tendrá como diámetro mínimo un valor de 5 mm hasta un valor máximo que será el diámetro nominal del tubo de 50 mm.

El modelamiento 3D del tubo Venturi se lo ha realizado en 3 partes como lo muestra la figura 21 permitiendo modificar las características físicas de cada una de estas piezas independientemente.

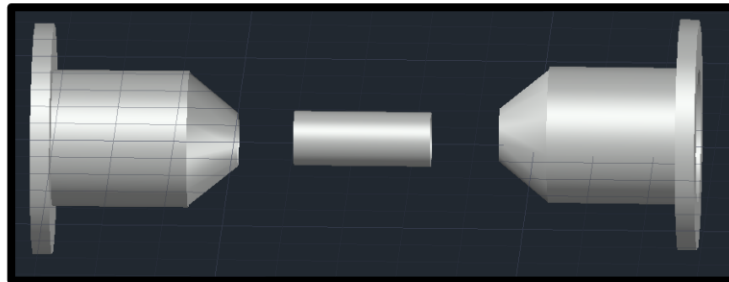


Figura 21. Modelado del sensor Venturi en AutoCAD

En la figura 22 se muestra el modelo unido en BLENDER en extensión .OBJ

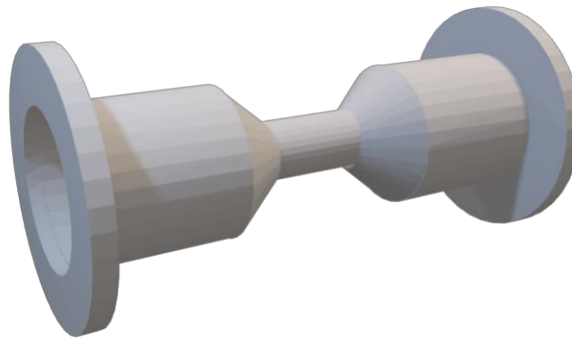


Figura 22. Modelado del sensor Venturi en Blender

2.1.5. Conexión de los componentes con la tubería

Para realizar la conexión entre el tubo y el sensor se ha escogido hacerlo por medio de bridas ya que tanto la tubería como el tubo cuentan con los terminales para su conexión mediante esta estructura, la unión se la puede observar en la figura 23, para asegurar la conexión se utiliza tuercas y pernos además de un empaque intermedio entre las superficies para tener un sellado hermético que evita fugas provocadas por presiones altas.[20]

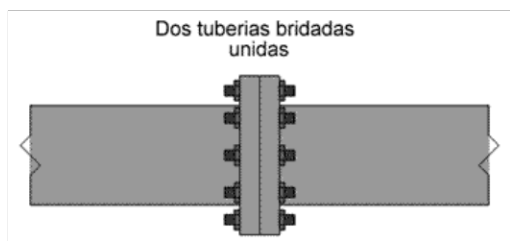


Figura 23. Conexión de tuberías por medio de Bridas.[20]

El diseño de los elementos de conexión mediante bridas mostrado en la figura 24 se lo ha realizado de acuerdo con el tamaño de la tubería 2.2.3



Figura 24. Modelamiento 3D de la brida

2.2. Práctica 2: Sensor de flujo Coriolis

En la implementación de la práctica 2 se estudia a la variable caudal con una aplicación real de llenado de tanques por medio de un sistema en lazo cerrado controlado automáticamente este sigue la lógica mostrada en el diagrama de bloques de la figura 25.

Mediante sensores de peso se determina la capacidad del tanque que se requiere llenar y con esto la apertura de la válvula y la activación de la bomba hasta que el tanque seleccionado se llene.

En la figura 25 se observa el esquema de control implementado y cada una de sus partes.

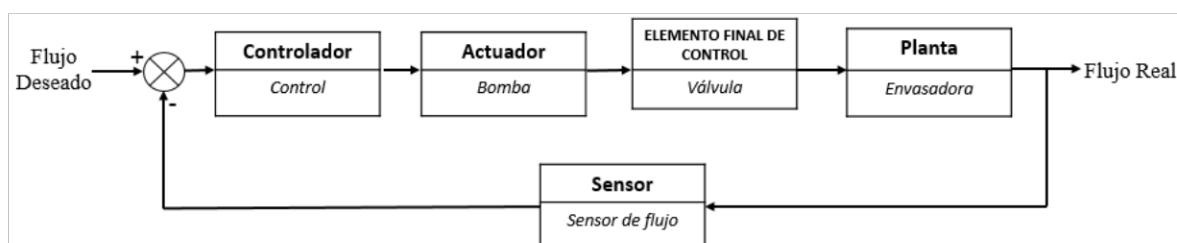


Figura 25. Lazo de control para el proceso de embazado de gas

2.2.1. Controlador

El controlador adquiere señales de 4 a 20 mA entregados por los sensores analógicos y señales digitales y crea rutinas para acondicionar estas señales de acuerdo a lo requerido.

En el caso del actuador se necesita que el controlador entregue una señal de activación digital y en el caso del elemento final de control al ser proporcional necesita una señal de 0 a 10 V

El controlador que cumple con esta función es un controlador lógico programable interno dentro del dispositivo de llenado.

2.2.2. Actuador



Figura 26. Representación real de la bomba Surtek BP505.[21]

El actuador es la bomba Surtek BP505 que es específicamente utilizada en industria de los líquidos y gases.

Tabla 3. Dato Técnicos de la bomba Surtec BP505.[21]

Datos técnicos	Valor	Unidad
Potencia	1	HP
RPM	3540 a 60Hz	RPM
Máxima diferencia de presión	6.9	bar
Rango de temperatura	-32 a 107	°C
Capacidad	15.8	gpm
Conexión	1	" NPT
Peso	67	lbs

Para realizar el modelo 3D de la bomba PLC 100 se han utilizado dos softwares, el primero es TINKERAD que crea los modelos 3D en formato STL y el segundo es BLENDER que transforma el formato STL en OBJ ya que Unity 3D admite este formato específico.

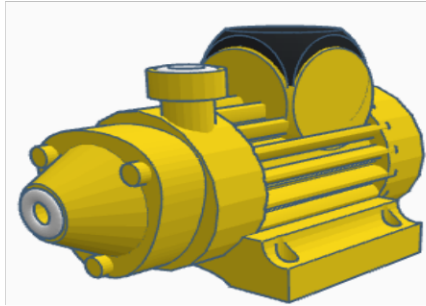


Figura 27. Modelado del actuador en Tinkercad

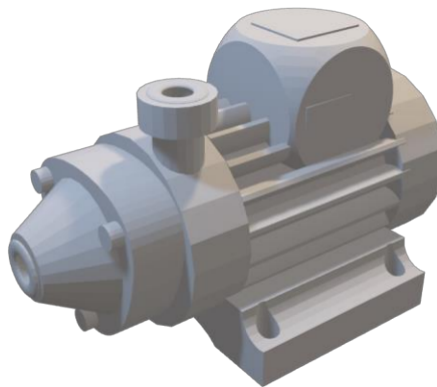


Figura 28. Modelado del actuador en Blender

2.2.3. Elemento final de control

La válvula de control escogida para esta aplicación tiene el mismo cuerpo de la válvula utilizada en la sección 2.2.1 con la diferencia que a este elemento se le coloca un actuador eléctrico controlado de 0 a 4 mA

El cuerpo de la válvula se lo ha modelado en TINKERCAD como se muestra en la figura 29.

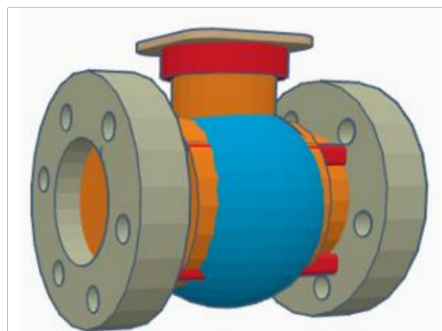


Figura 29. Modelado de la válvula en Tinkercad

Actuador eléctrico



Figura 30. Representación física del actuador. [22]

Para realizar el control proporcional de la válvula se utiliza un actuador rotativo proporcional de la marca BELIMO mostrado en la figura 30, este dispositivo toma la señal de 4 a 20 mA entregada por el controlador y lo acondiciona la apertura de la válvula de 0 a 100 % [22]

Tabla 4. Datos técnicos del actuador BELIMO. [22]

Datos técnicos	Valor	Unidad
Alimentación	AC/DC 24	V
Consumo de energía	0.7	W
Torque de giro	1	Nm
Tipo de control	Proporcional	-
Señal de control	4-20 0-10	mA V
Comunicación	Modbus TCP	-
Grado de protección IEC	III	IP40
Peso	0.19	Kg
Temperatura de trabajo	-40 a 80	°C

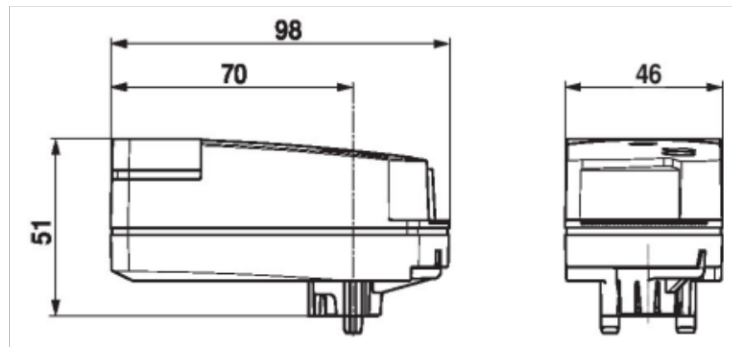


Figura 31. Dimensiones del actuador BELIMO. [22]

Tomando como referencia las dimensiones físicas del transmisor de la figura 31 se ha realizado el modelamiento 3D del instrumento en 4 partes para poder realizar la modificación de cada una de estas de forma independiente.



Figura 32. Actuator modelado en partes separadas

1. Cuerpo del transmisor
2. Placa de información
3. Elemento de calibración
4. Terminal de conexión al proceso

La figura 33 muestra el modelamiento 3D del cuerpo de la válvula junto con el actuador eléctrico.

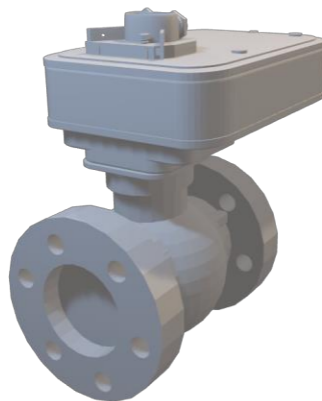


Figura 33. Modelado final para la válvula de control con actuador

2.2.4. Sensor de flujo

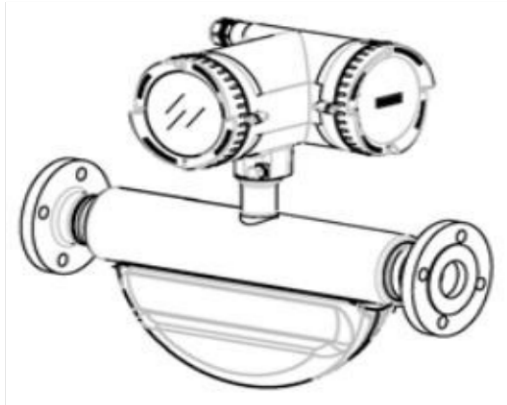


Figura 34. Estructura de un sensor de flujo Coriolis[7]

El sensor de flujo que se ha elegido en la práctica 2 es el sensor Coriolis Sitrans FC430 de la marca Siemens debido a que las medidas obtenidas son confiables y exactas trabajando en ambientes agresivos con fluidos viscosos o corrosivos, además puede trabajar en condiciones con temperaturas y presiones altas lo que lo hace un sensor excelente para la aplicación del llenado de tanques de gas implementada.

El sensor cuenta con el transmisor de flujo de la marca Siemens FCT030 que tiene como señal de salida corriente en un rango de 4 a 20 mA con protocolo de comunicación HART.

Para realizar la instalación del sensor en la tubería se utiliza bridas ya que este tiene incorporado a sus extremos estos terminales de conexión los que facilitan la unión con la tubería y con otros componentes.[23]

El transmisor de flujo se ha utilizado el mismo diseño que el utilizado en la sección 2.2.2

Para realizar el diseño 3D del sensor Coriolis se ha utilizado el software online Tinkercad y este diseño se lo realizó en 6 partes como lo muestra la figura 35.

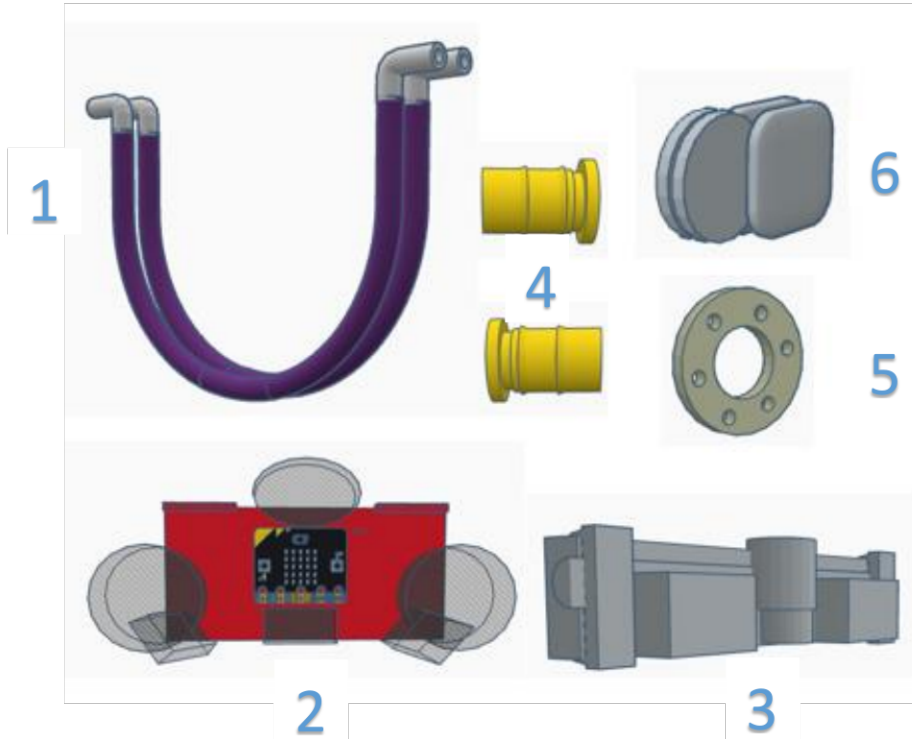


Figura 35. Modelamiento individual de las piezas del sensor Coriolis

1. Tubos de circulación
2. Tarjeta de adquisición de señales
3. Estructura mecánica
4. Elementos de conexión entre los tubos y el proceso
5. Brida de conexión al proceso
6. Sensor ultrasónico

La figura 36 es el modelo 3D del sensor Coriolis que se exporta a Unity 3D.

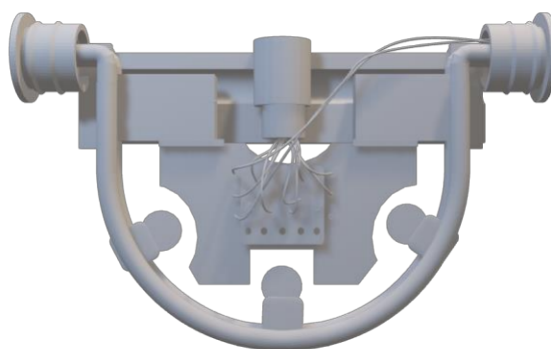


Figura 36. Modelamiento completo del sensor Coriolis

2.3. Implementación de las prácticas de laboratorio.

2.3.1. Estructura general de la aplicación

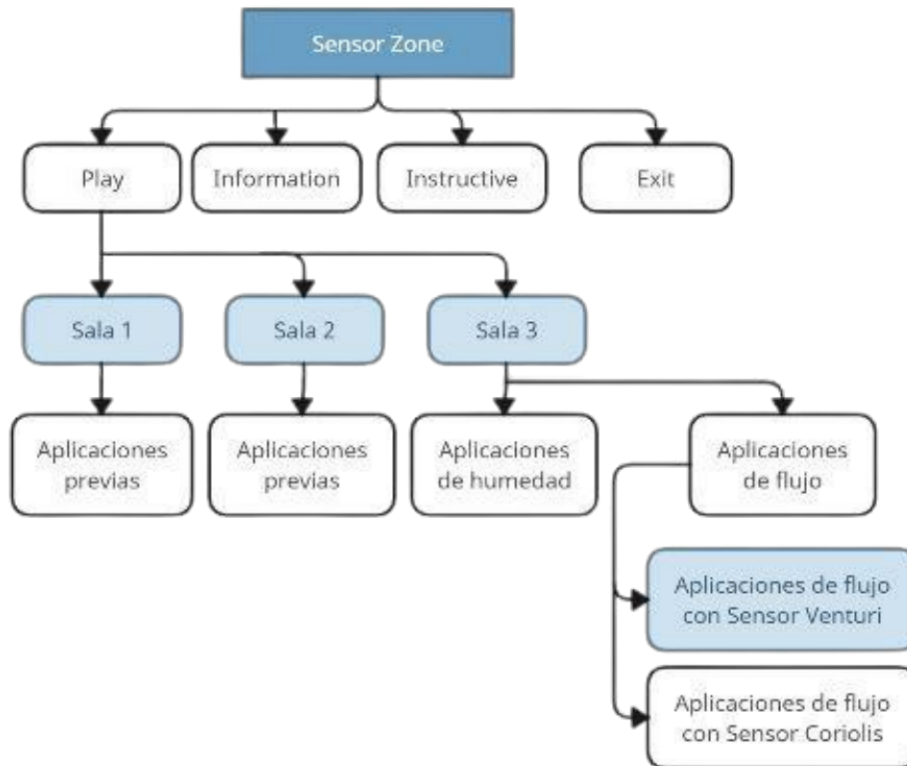


Figura 37. Estructura general de la aplicación “Sensor Zone”

La aplicación Sensor Zone ha sido desarrollada por estudiantes de la Escuela Politécnica Nacional, los que han trabajado con distintas variables y aplicaciones de Instrumentación Industrial.

El presente trabajo es una continuación del desarrollo de la aplicación Sensor Zone ya que previamente ya se han trabajado con 20 prácticas virtuales y para este caso la variable de interés es el Caudal con dos aplicaciones industriales para que el Sensor Venturi y el sensor Coriolis.

La figura 37 muestra la estructura de la aplicación Sensor Zone.

Pantalla principal “Sensor Zone”

La pantalla principal de la aplicación Sensor Zone de la figura 38 se tiene 4 pestañas que son: Information, Instructive, Play y Exit

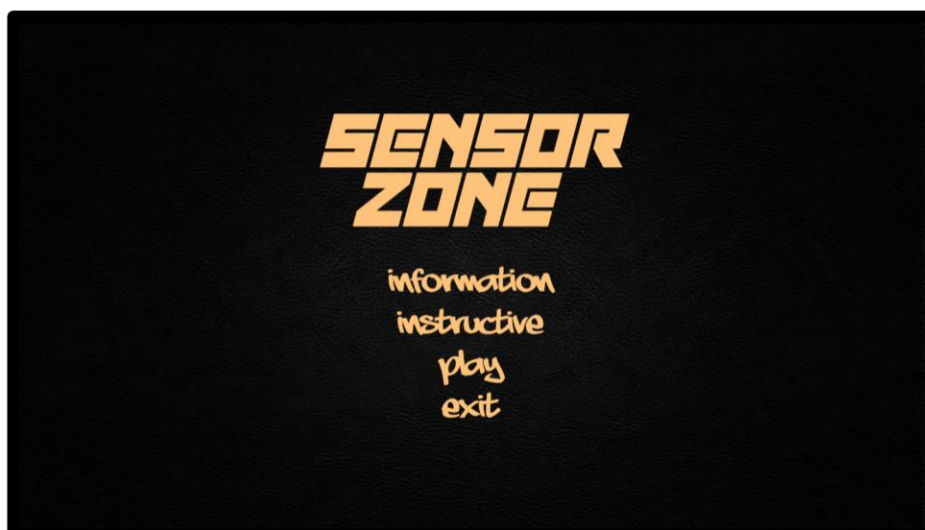


Figura 38. Pantalla principal

2.3.1.1. Enlace “Information”.

Al ingresar a la escena “Information” de la figura 39 se muestra la temática para el desarrollo de la aplicación, los desarrolladores y responsables de la revisión.



Figura 39. Pantalla de información general

Enlace “Instructive”.

Dentro de las escenas de las figuras 40 y 41 se muestra cómo utilizar varias herramientas que se encontrará en las prácticas presentes en la aplicación.

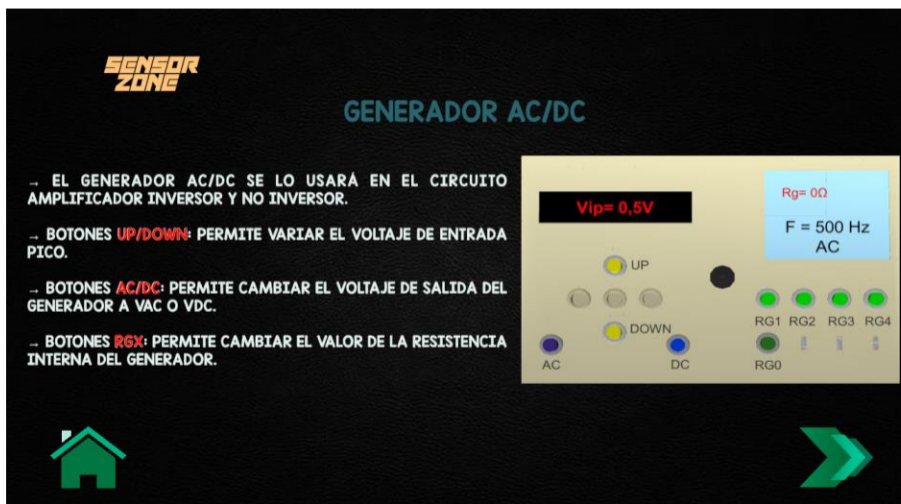


Figura 40. Información de la utilización del generador AC/DC



Figura 41. Información de la utilización de la fuente de voltaje offset

Enlace “Exit”

El enlace “Exit” permite salir de la aplicación.

Enlace “Play”

En la figura 42 se encuentran tres enlaces que llevarán a 3 salas diferentes, la sala 1 y sala 2 han sido aplicaciones desarrolladas previamente y en la sala 3 se han desarrollado la revisión y el manejo de dos variables concretas las cuales son el flujo y la humedad, para este documento se analiza únicamente el flujo.

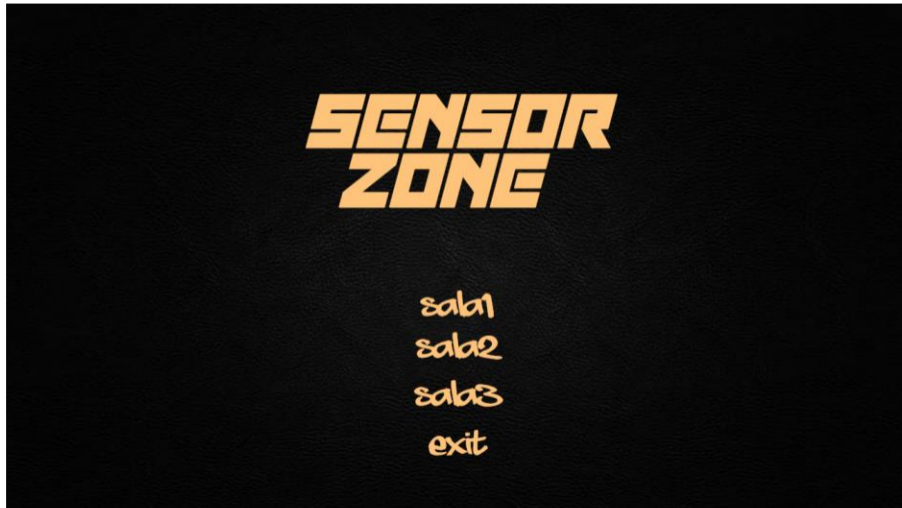


Figura 42. Escena dentro del enlace “Play”

Enlace “Sala 3”

En la sala 3 de la aplicación se muestran dos variables, el Flujo que se encuentra en la parte izquierda de la sala y la humedad que se encuentra a la derecha de la sala como lo muestra la figura 43.

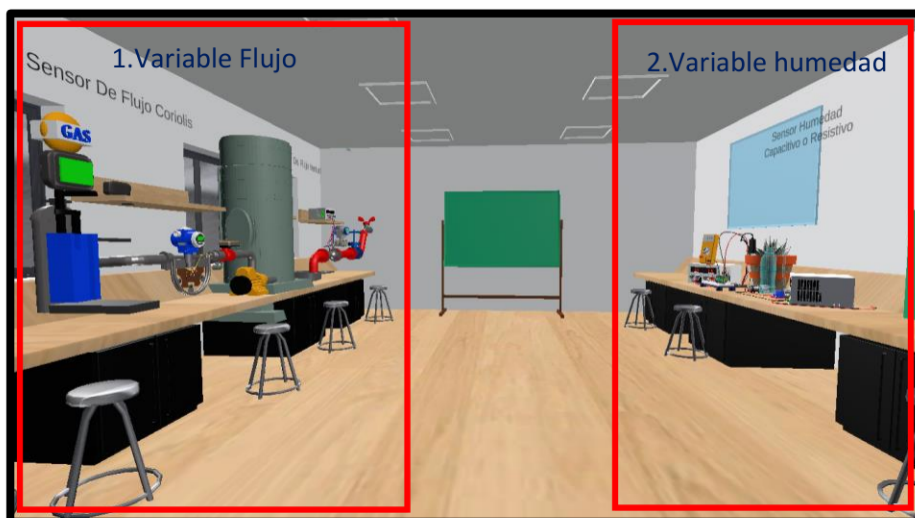


Figura 43. Sala 3 de la aplicación

2.3.2. Escena “sensor de flujo Venturi”

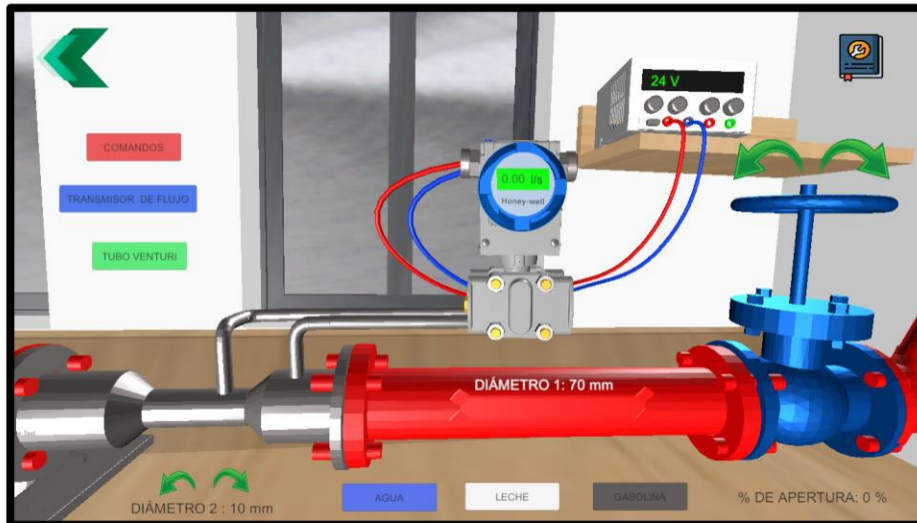


Figura 44. Pantalla general de la aplicación para el sensor Venturi

La figura 44 muestra la pantalla principal de la práctica 1: Sensor de flujo Venturi, donde los componentes que se manipulan dentro de esta pantalla son:

Válvula manual: El porcentaje de apertura de la válvula es controlado con las flechas que están situadas en la parte superior de la válvula. El porcentaje de apertura de la válvula está regulado entre 0 y 100 %

Diámetro 2 del tubo Venturi: El diámetro 2 del tubo Venturi varía desde 10 mm hasta igualar el diámetro 1 que es 70 mm, esta magnitud es importante en la aplicación de la ecuación de Bernoulli.

Tipo de líquido: Los líquidos simulados en la tubería son agua de color azul con una densidad de 1000 kg/m^3 , Leche de color blanco con una densidad de 1200 kg/m^3 y Gasolina de color negro con una densidad de 800 kg/m^3 .

Sensor de flujo Honey Well: El flujo se muestra en la pantalla digital del sensor de flujo, el cual variará dependiendo el porcentaje de apertura de la válvula, el valor del flujo es de 0 l/s hasta 92 l/s con una apertura de la válvula del 100 %.

Fuente de voltaje DC: El valor del voltaje entregado por la fuente tiene un valor constante de 24 VDC ya que la alimentación del sensor es de este valor.

Botones de cambio de escena y lógica utilizada en la programación.

Dentro de la escena se han colocado 5 botones cada uno para dirigirse a una diferente escena.

La lógica de programación para los botones presentes en la escena principal para el tubo Venturi se muestra en la figura 45.

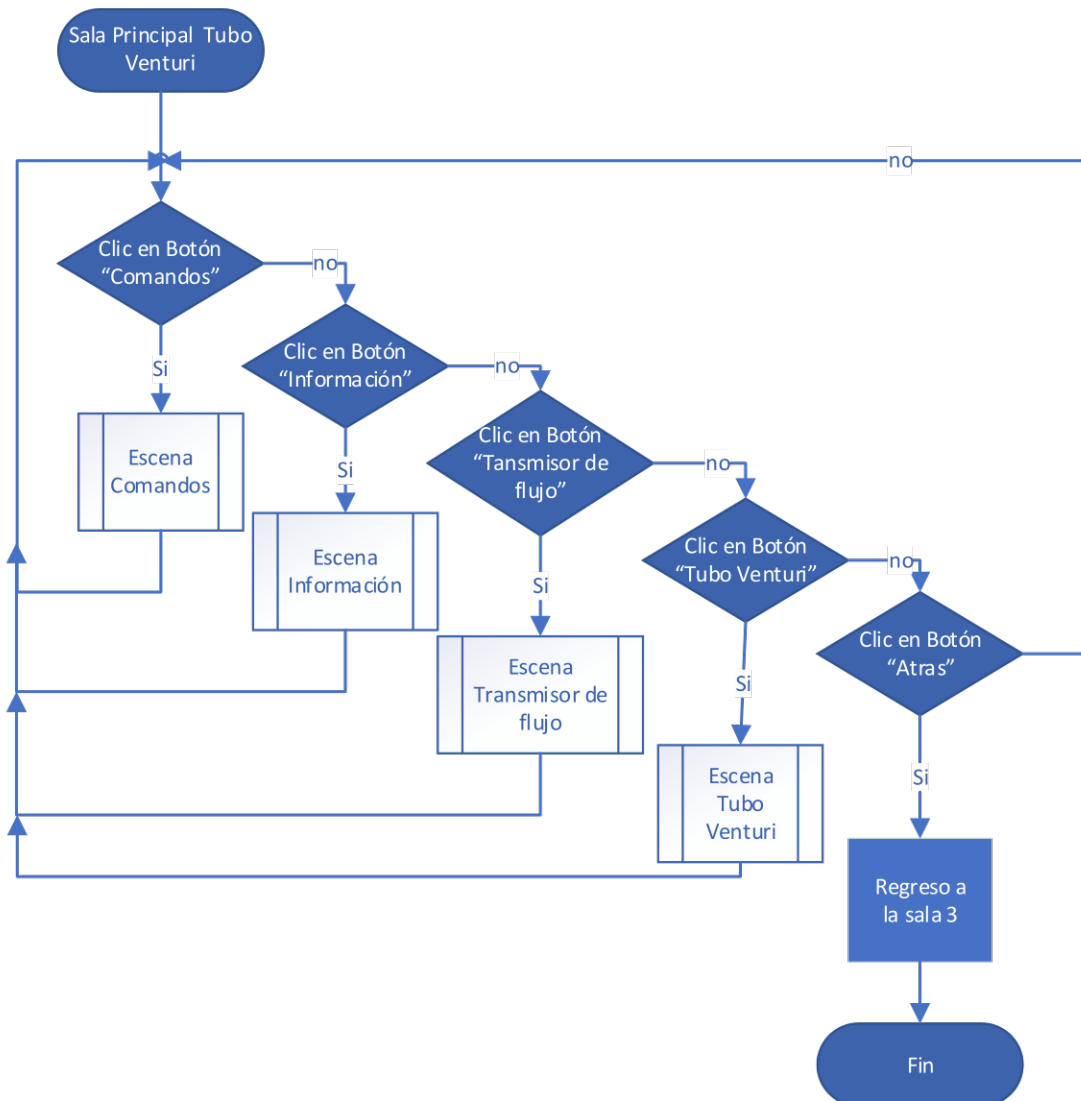


Figura 45. Lógica de programación de botones para la página principal para el sensor Venturi

Escena principal -Botón de atrás: Al presionar el botón “Atrás” mostrado en la figura 44 como una flecha de color verde, se abre la ventana de la Sala 3 que contiene las dos prácticas de flujo.

Escena principal-Botón de comandos: Al presionar el botón “comandos” de la figura 44 se abre una pantalla que muestra información de los comandos de movimiento lineales y rotacionales en cada escena de la práctica 1.



Figura 46. Escena Instrucciones de movimiento

Escena principal-Botón de información. Al presionar el botón de información se abre la escena mostrada en la figura 47 en la que se tiene 4 pantallas auxiliares que contienen información de la variable flujo en la práctica 1 y un ejercicio de aplicación.

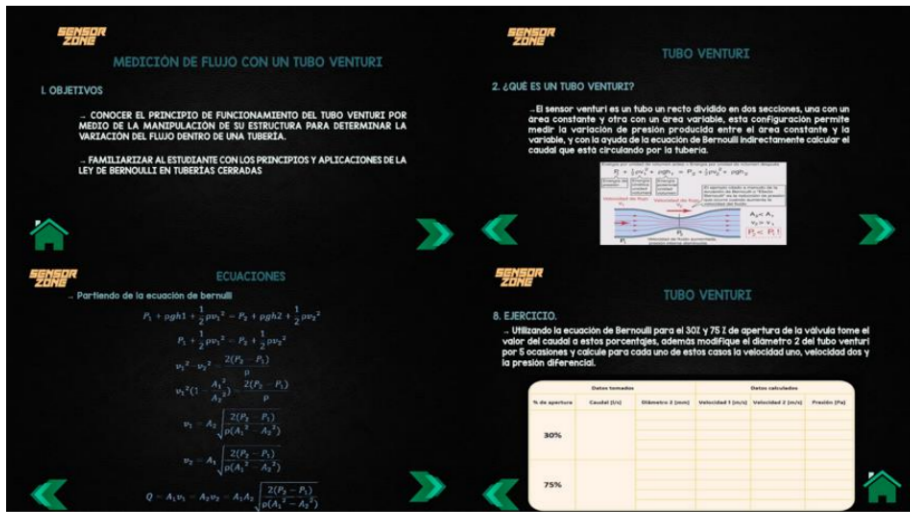


Figura 47. Información de la Práctica Tubo Venturi

Escena principal-Botón Transmisor de flujo. Al presionar el botón “Transmisor de flujo” se despliega la ventana mostrada en la figura 49 que muestra la figura virtualizada en 3D del transmisor de flujo. En esta pantalla hay 8 botones que pueden abrir distintas ventanas.

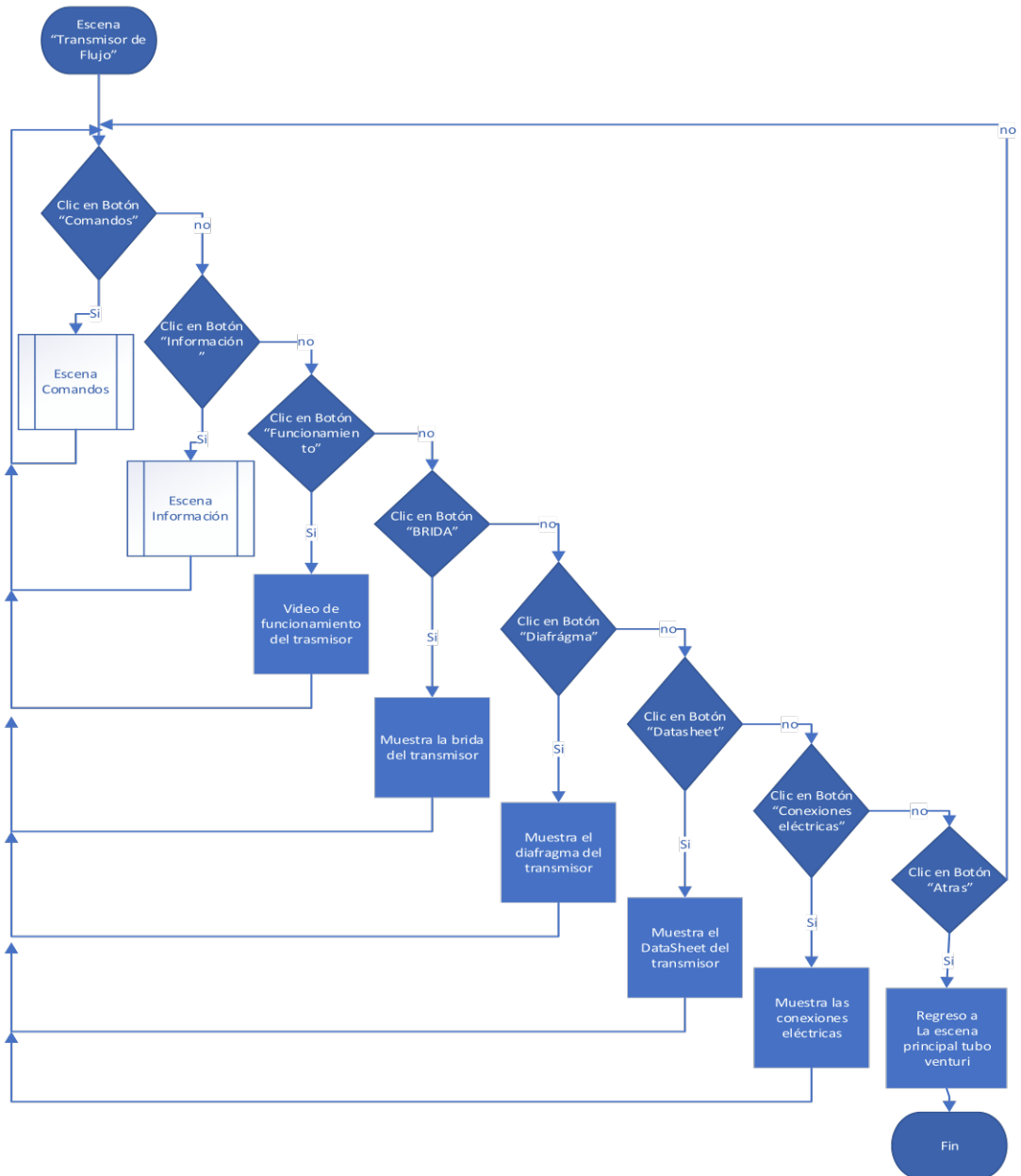


Figura 48. Lógica para la programación de los botones dentro de la escena “Transmisor de Flujo”

La lógica de programación de la escena del “Transmisor de flujo” para cada uno de los botones se muestra en la figura 48.

Escena Transmisor de presión-Botón Home. El botón “Home” que se lo encuentra en la figura 49 con el símbolo de una casa de color verde tiene la función de regresar al usuario a la escena general de la práctica 1.

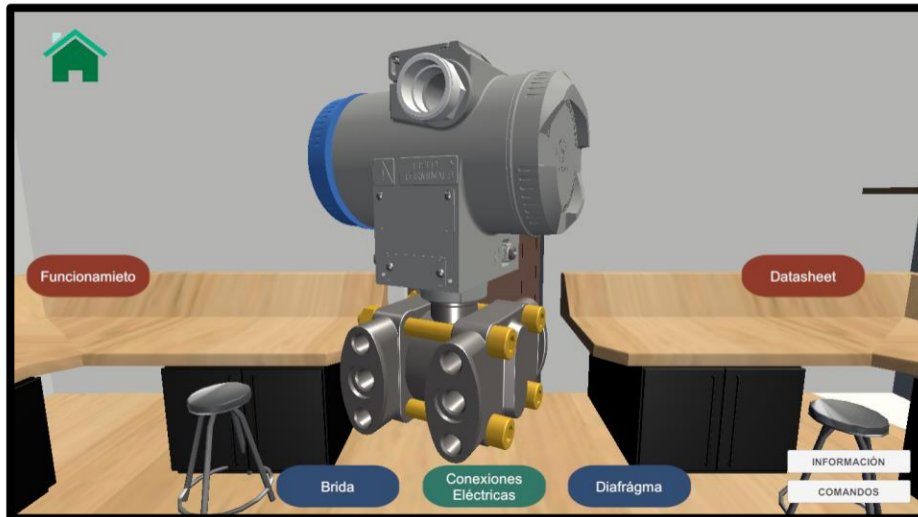


Figura 49. Escena “Transmisor de flujo”

Escena Transmisor de presión-Botón Funcionamiento: Al presionar el botón de “Funcionamiento” en la figura 49 se abre un video que explica el funcionamiento y las características del transmisor como se ve en la figura 50.

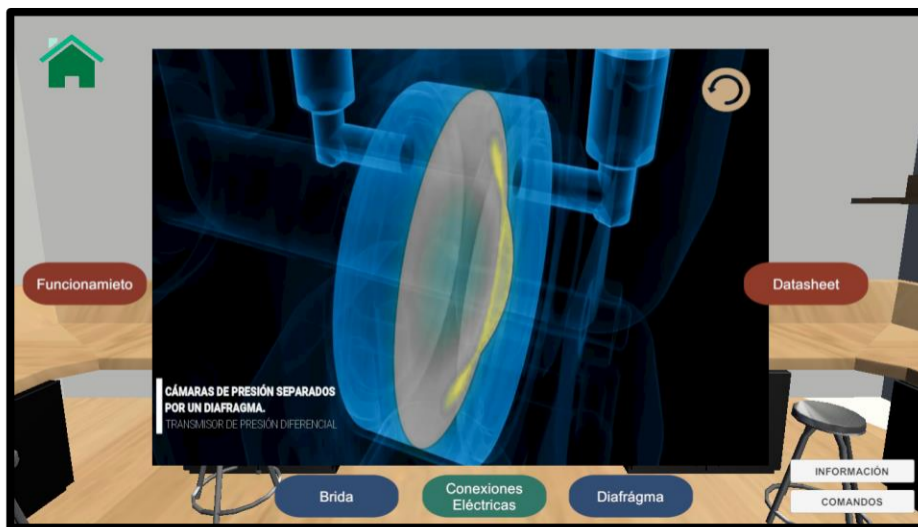


Figura 50. Escena con el video de funcionamiento del transmisor de flujo

Escena Transmisor de presión-Botón Datasheet: El botón “Data sheet” de la figura 49 se encarga de abrir la hoja técnica del transmisor de flujo.

Escena Transmisor de presión-Botón Brida: Al presionar el botón “Brida” de la figura 51 se muestra el componente llamado brida del transmisor que se encuentra en la parte interna de este.

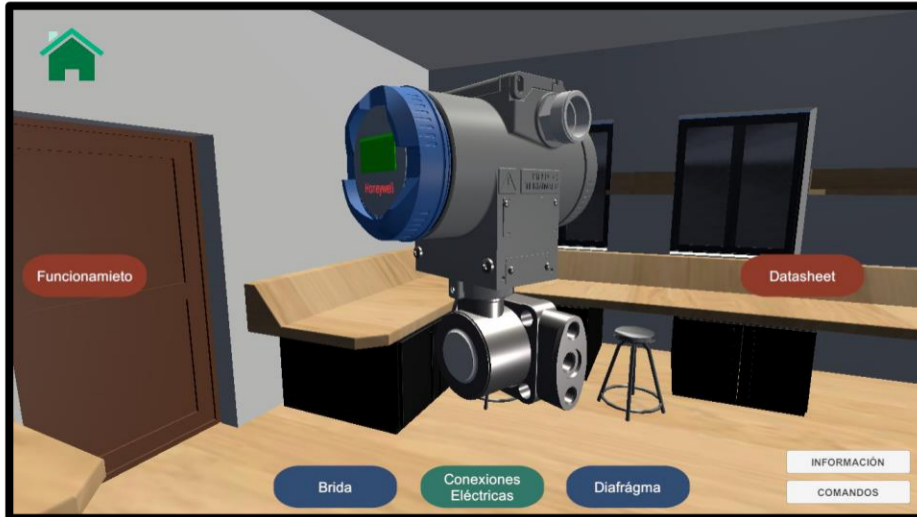


Figura 51. Brida del transmisor de flujo

Escena Transmisor de presión-Botón Conexiones Eléctricas: Al presionar el botón “Conexiones Eléctricas” se muestra los cables de conexión y las borneras que tiene en su estructura el transmisor como se lo observa en la figura 52.

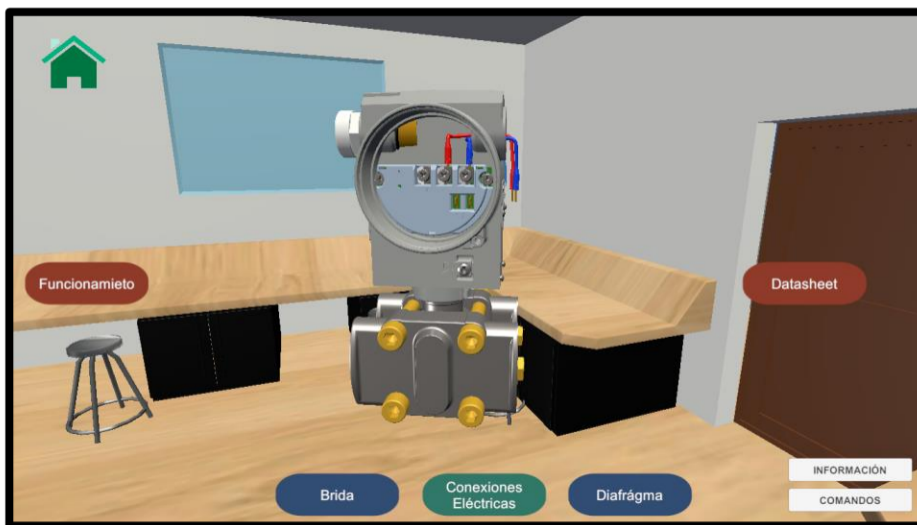


Figura 52. Conexiones eléctricas del Transmisor de flujo

Escena Transmisor de presión-Botón Diafragma: Al presionar el botón “Diafragma” se muestra un componente interno del transmisor llamado diafragma como lo muestra la figura 53.



Figura 53. Diafragma del transmisor de flujo

Escena Transmisor de presión-Botón comandos: Al presionar el botón “Comandos” se abre la escena de la figura 54 y muestra que acciones se realizan mediante el mouse en el transmisor.



Figura 54. Instrucciones de movimiento

Escena Transmisor de presión-Botón Información: Si se presiona el botón “Información” de la figura 49 se abren 4 escenas que muestran características técnicas del transmisor de Flujo, observe las escenas en la figura 55.

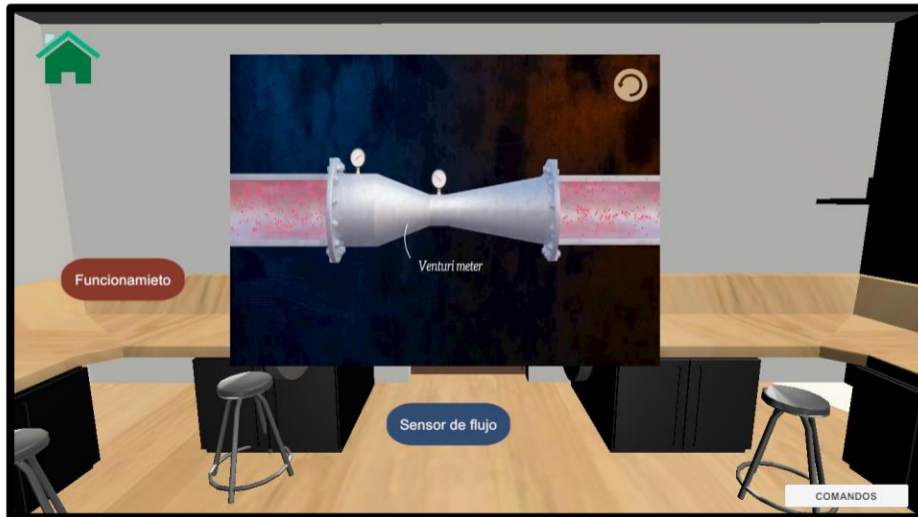


Figura 57. Vídeo de funcionamiento del tubo Venturi

Escena Tubo Venturi-botón “Sensor de flujo”: Al presionar el botón “Sensor de flujo” que se muestra en la figura 57 los sensores de flujo desaparecen de la escena como se ve en la figura 58.

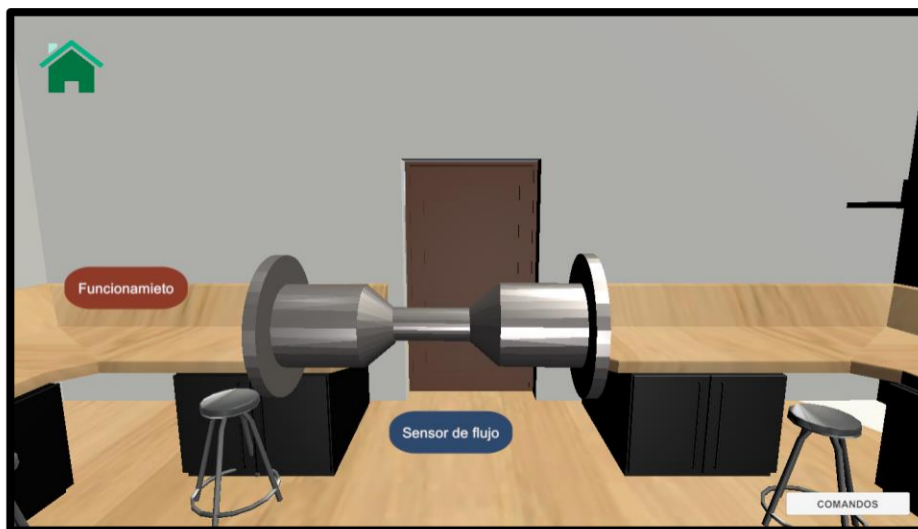


Figura 58. Tubo Venturi sin transmisor de flujo

Escena Tubo Venturi-botón comandos: Al presionar el botón “Comandos” se ejecuta la escena de la figura 59 en donde se muestra instrucciones de movimiento con el mouse dentro de esta escena.



Figura 59. Escena para las instrucciones de movimiento

2.3.1. Escena “sensor de flujo Coriolis”



Figura 60. Escena principal Sensor Coriolis

La figura 60 muestra la pantalla principal de la práctica 2: Sensor de flujo Coriolis.

En esta pantalla se presentan los componentes que conforman el proceso.

La fuente del gas con el que se va a embazar cada uno de los tanques, la bomba que servirá para enviar el suministro de gas necesitado, una válvula de control eléctrica que permite el paso necesario del gas dependiendo su porcentaje de apertura, el sensor Coriolis con su indicador de caudal volumétrico y la estación de llenado de los tanques.

Válvula proporcional: La válvula utilizada es de tipo globo, la misma de la sección 2.3.3.

La apertura de la válvula es controlada por medio de un actuador eléctrico en donde el porcentaje de apertura está regulado entre 0 y 100 %

Bomba: La bomba funciona únicamente un tiempo de 10 segundos mientras se llena cada uno de los tanques.

Tipo de gas: Se trabaja con 3 tipos de gas que son: Gas licuado de petróleo, Cloruro de vinilo y Ácido Acético Glacial debido a que sus densidades son parecidas y servirán para el cálculo del caudal masico que circula en el proceso.

Sensor de flujo Coriolis: El sensor de flujo en su indicador digital muestra el caudal de gas que circula por la tubería en el proceso de llenado, este depender del tipo de gas y del tamaño del tanque escogido.

Estación de llenado: En esta estación se ubican los tanques que serán llenados, en su pantalla se visualiza el porcentaje de gas en el tanque durante el proceso de llenado.

Botones de cambio de escena y lógica utilizada en la programación.

Dentro de la escena se han colocado 3 botones cada uno para dirigirse a una diferente escena.

La lógica de programación para los botones presentes en la escena principal para el tubo Venturi se muestra en la figura 61.

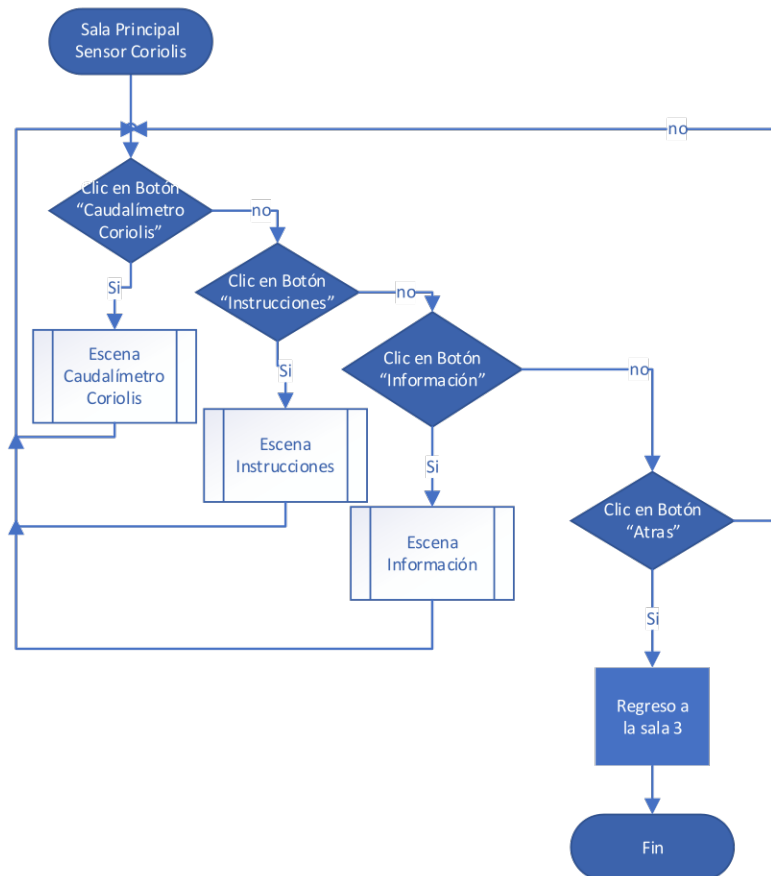


Figura 61. Lógica de programación de los botones de la escena principal Sensor Coriolis
Escena Principal Sensor Coriolis- Botón instrucciones: Al ejecutar el botón “Instrucciones” abre la pantalla de la figura 62 en donde se muestra las instrucciones que se sigue en el proceso de llenado automático de los tanques de gas.

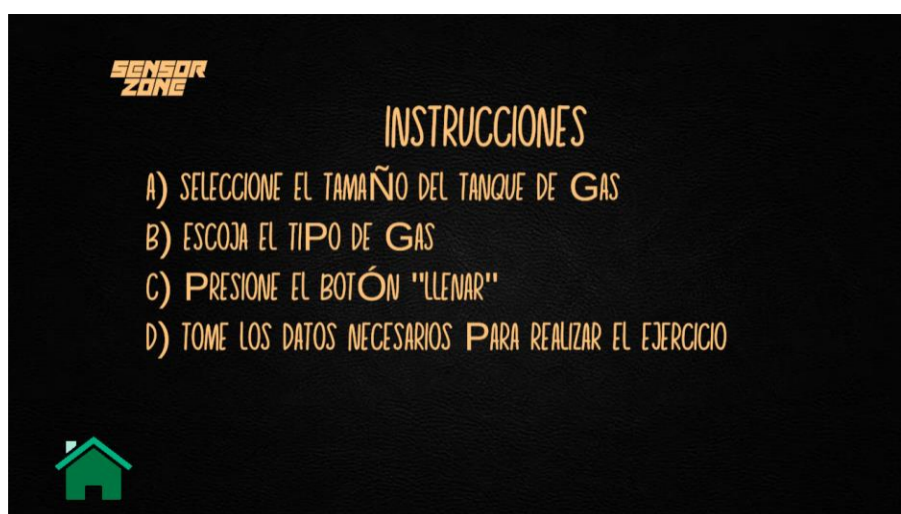


Figura 62. Escena de Instrucciones

Escena Principal Sensor Coriolis- Botón información: El botón “Información” de la figura 60 despliega 5 pantallas como lo muestra la figura 63 en estas pantallas se tiene información del sensor Coriolis además de un ejercicio de aplicación.

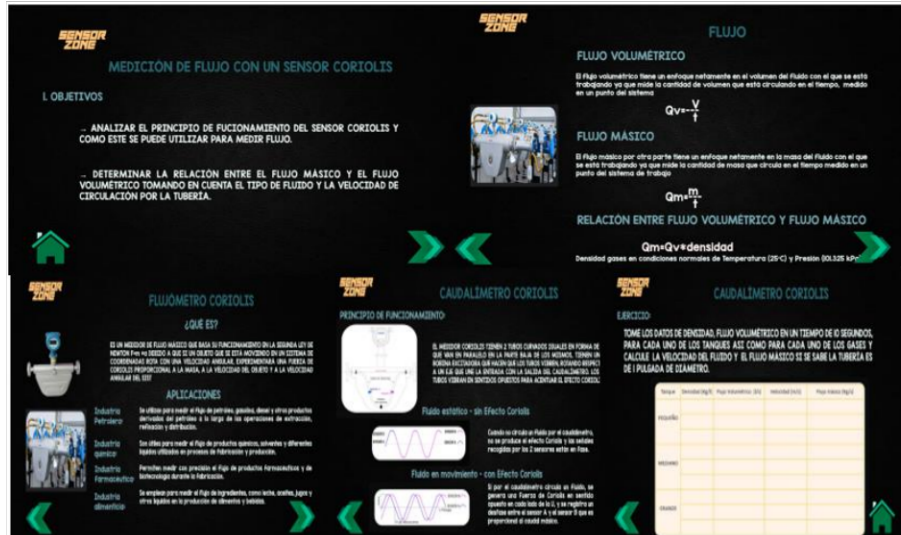


Figura 63. Información y ejercicio Sensor Coriolis

Escena Principal Sensor Coriolis- Botón Caudalímetro Coriolis: Al presionar el botón “Caudalímetro Coriolis” de la figura 60 se observa la virtualización 3D del sensor Coriolis, e información técnica de este sensor.

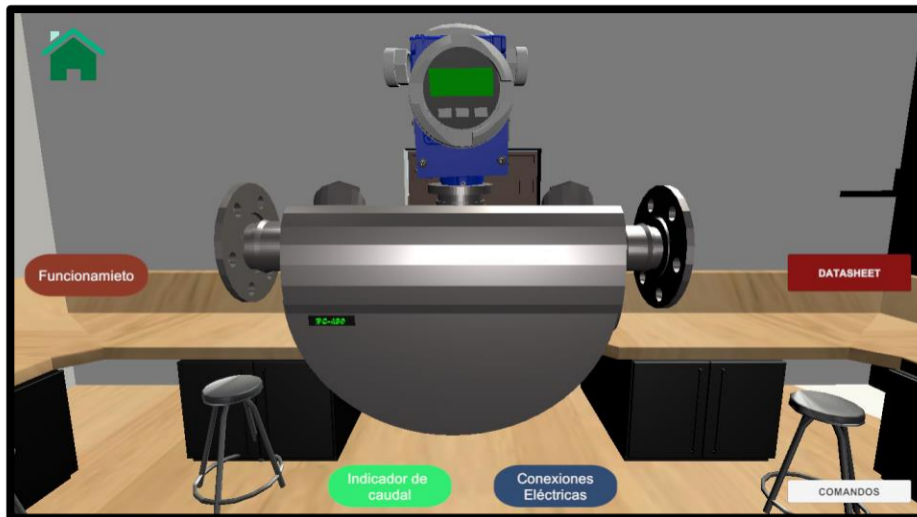


Figura 64. Escena Caudalímetro Coriolis

La lógica de programación de los botones de esta escena se muestra en la figura 65.

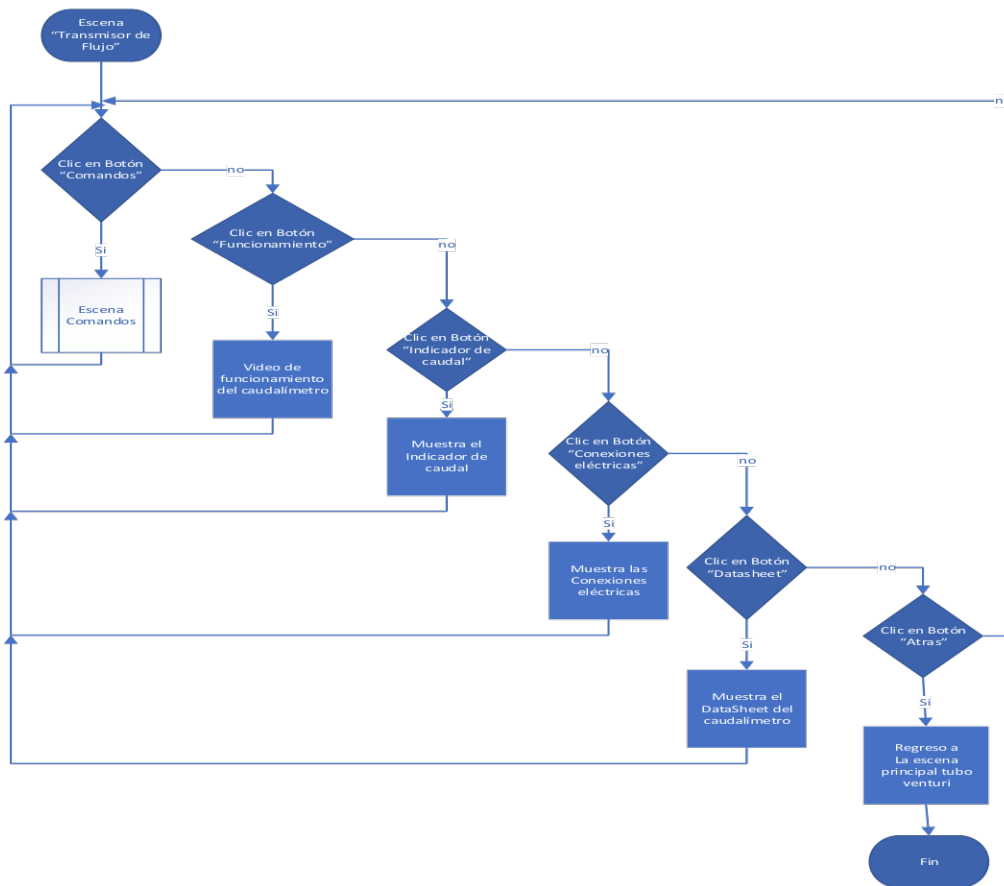


Figura 65. Lógica de programación de la escena caudalímetro de flujo

Escena Caudalímetro Coriolis- Botón “Funcionamiento”: Al presionar el botón “Funcionamiento” de la figura 64 se abre un video que muestra las características y el funcionamiento del caudalímetro como se ve en la figura 66.

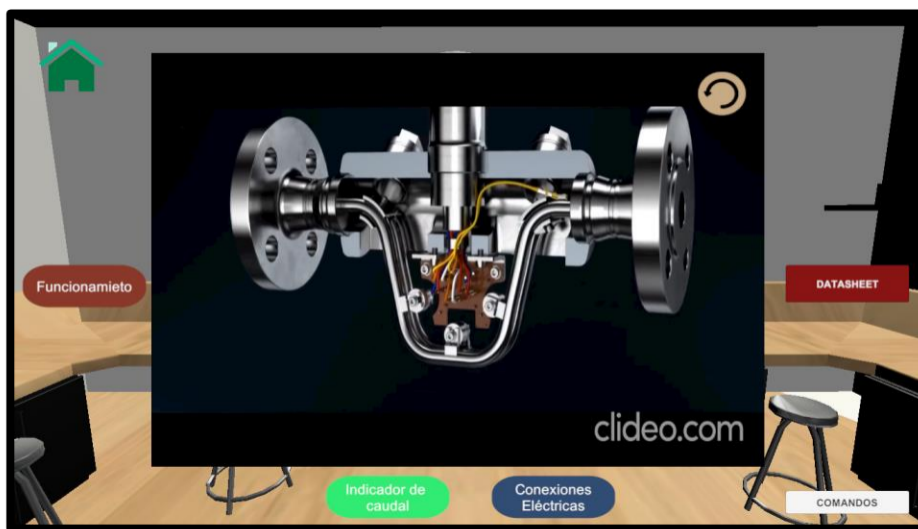


Figura 66. Video de funcionamiento del caudalímetro

Escena Caudalímetro Coriolis- Botón Datasheet: Al presionar el botón “Data Sheet” de la figura 64 automáticamente se abre la hoja técnica del caudalímetro.

Escena Caudalímetro Coriolis- Botón Indicador de caudal: Al presionar el botón “Indicador de caudal” de la figura 64 se muestra únicamente el caudalímetro sin el indicador de flujo como se observa en la figura 67

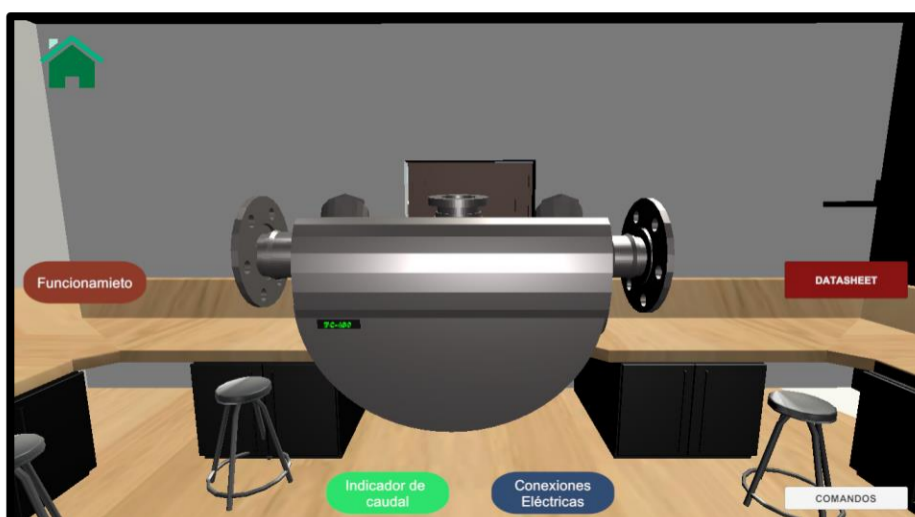


Figura 67. Sensor Coriolis sin Indicador

Escena Caudalímetro Coriolis- Botón conexiones eléctricas: Al ejecutar el botón “Conexiones Eléctricas” de la figura 64 se muestran los cables de conexión y la tarjeta de control que toman la señal de los sensores y envían la información a la pantalla del caudalímetro.

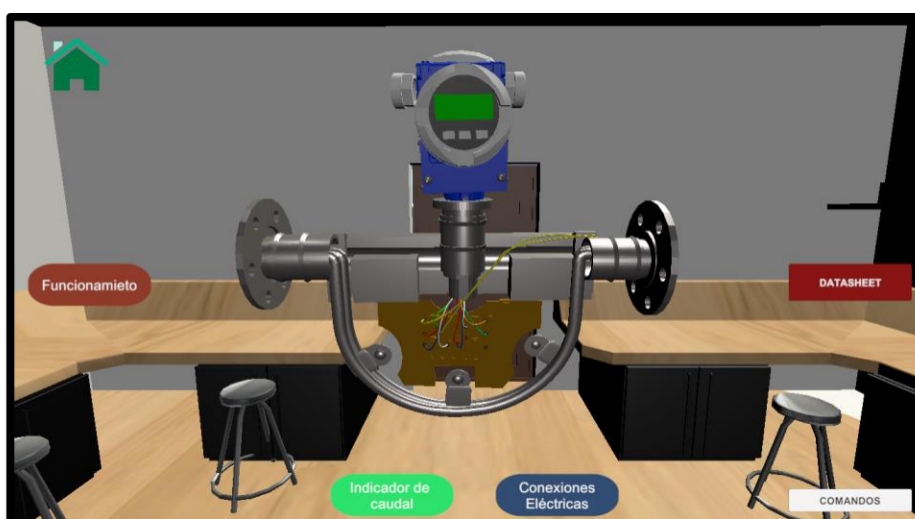


Figura 68. Conexiones eléctricas Internas

Escena Caudalímetro Coriolis- Botón “Comandos”: Al presionar el botón “Comandos” de la figura 64 se abre la ventana de la figura 69 que muestra instrucciones de cómo moverse y desplazarse alrededor del sensor por medio del mouse.



Figura 69. Instrucciones de movimiento

CARACTERISITICAS Y CONDICIONES MINIMAS DEL DISPOSITIVO.

Requisitos del sistema.

Procesador: Para esta aplicación se requiere que el dispositivo tenga un procesador de dos núcleos o superior, una maquina con un procesador Core I3 en adelante podrá ejecutar de manera correcta el programa.

Memoria RAM: La memoria RAM debe ser mínimo de 4 GB

Tarjeta gráfica: Necesariamente el equipo debe tener una tarjeta gráfica dedicada a desarrollo de juegos y aplicaciones DirectX11 , recomendado las tarjetas gráficas RTX de Nvidia, AMD entre otras.

Sistema operativo: La aplicación creada es únicamente ejecutable en los sistemas operativos Windows o macOS.

Almacenamiento: 100 MB de espacio libre

Resolución de pantalla: La aplicación ha sido desarrollada para pantallas con que cuenten con resolución entre 1280x720 y 1366x768 por esta razón el dispositivo que ejecutara la aplicación debe poseer una pantalla en este rango.[14]

3. RESULTADOS, CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

3.1. Resultados

Después de realizar las pruebas de funcionamiento de las dos prácticas virtuales de la variable flujo, ha sido necesario evaluar varios parámetros mediante una encuesta realizada en base al método Likert, este se encarga de medir las conductas, creencias, ideales de una persona o población en base a preguntas cerradas y a escalas de medición.

Para realizar la evaluación de cada una de las preguntas el método Likert utiliza la técnica de 5 niveles satisfacción que se pueden representar de distintas maneras y en este caso se lo ha planteado de forma ascendente considerando su importancia.

Al tener un resultado en porcentaje el método toma los valores de los extremos tanto inferior como superior, si el resultado de la suma de los porcentajes entre las 2 preguntas con menos importancia es mayor a 65% la característica que se está evaluando no es viable por otro lado sí el resultado de la suma de los porcentajes entre las 2 preguntas con más importancia es mayor o igual al 65% esta característica será viable, en el caso de que la pregunta tenga 3 literales se evaluarán los resultados de las esquinas siguiendo el mismo criterio.[24]

Para realizar la evaluación ha sido necesario que 37 estudiantes que están cursando la materia de Instrumentación Industrial de la Escuela Politécnica Nacional puedan manipular la aplicación y contestar la encuesta realizada.

Se ha realizado la encuesta con 10 preguntas tomando como referencia el método de evaluación Likert para evaluar cuatro campos los cuales son: Accesibilidad, Funcionamiento, Interacción y Contribución al aprendizaje los mismos que se detallan a continuación con las preguntas asociadas a cada campo:

Accesibilidad:

Las preguntas asociadas a la accesibilidad son la primera y segunda, cada una de ellas con un rango de 3 opciones.

Primera pregunta:

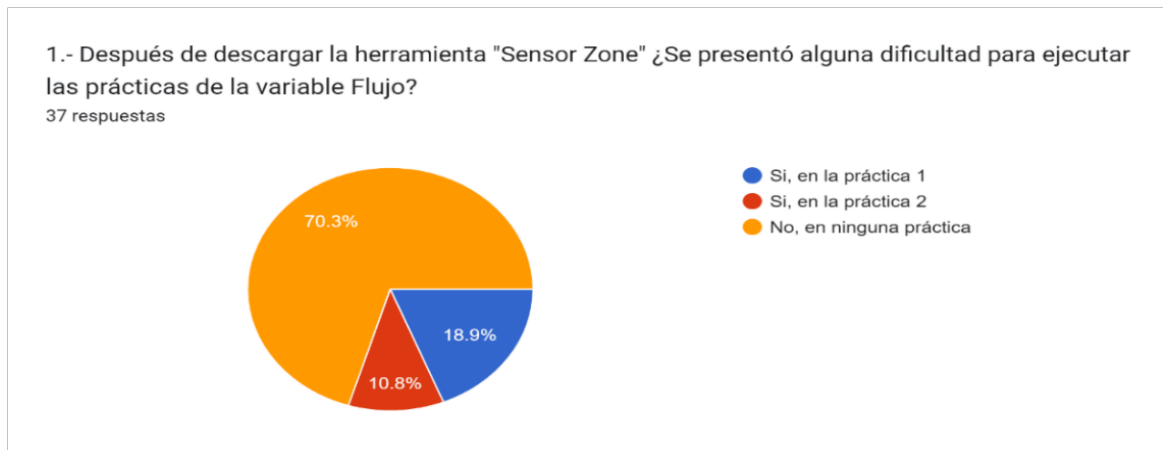


Figura 70. Resultados de la primera pregunta de la encuesta

En la primera pregunta de la encuesta se ha consultado a los estudiantes si es que se ha presentado alguna dificultad al ejecutar alguna de las 2 prácticas de flujo, teniendo como resultado que el 18.9% de los estudiantes es decir 4 estudiantes tuvieron dificultad en la práctica 1, el 10.8% de los estudiantes es decir 4 estudiantes tuvieron dificultad en la práctica 2 y el 70.3 % de los estudiantes es decir 26 de los 37 estudiantes no tuvieron dificultad en ejecutar el software, como el resultado es mayor al 65% entonces es viable.

Segunda pregunta

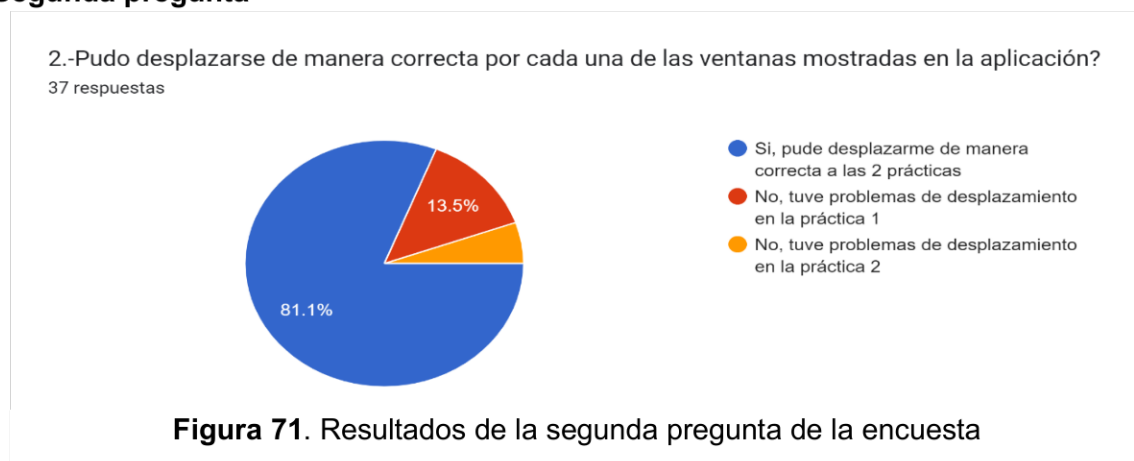


Figura 71. Resultados de la segunda pregunta de la encuesta

En la segunda pregunta de la encuesta se ha consultado a los estudiantes si se ha tenido alguna dificultad para desplazarse lo largo de las ventanas de cada una de las prácticas, teniendo como resultado que el 13.5% es decir 4 estudiantes tuvieron dificultad de desplazamiento a lo largo de la práctica 1, el 5.4% es decir 1 estudiante tuvo dificultad de desplazamiento la práctica 2 y el 81.3 % es decir 32 de los 37 estudiantes no tuvieron dificultad en el desplazamiento en ninguna práctica, como el resultado es mayor al 65% entonces es viable.

Funcionamiento:

Las preguntas asociadas al funcionamiento son la tercera, cuarta y quinta, cada una de ellas con un rango de 5 opciones.

Tercera pregunta.

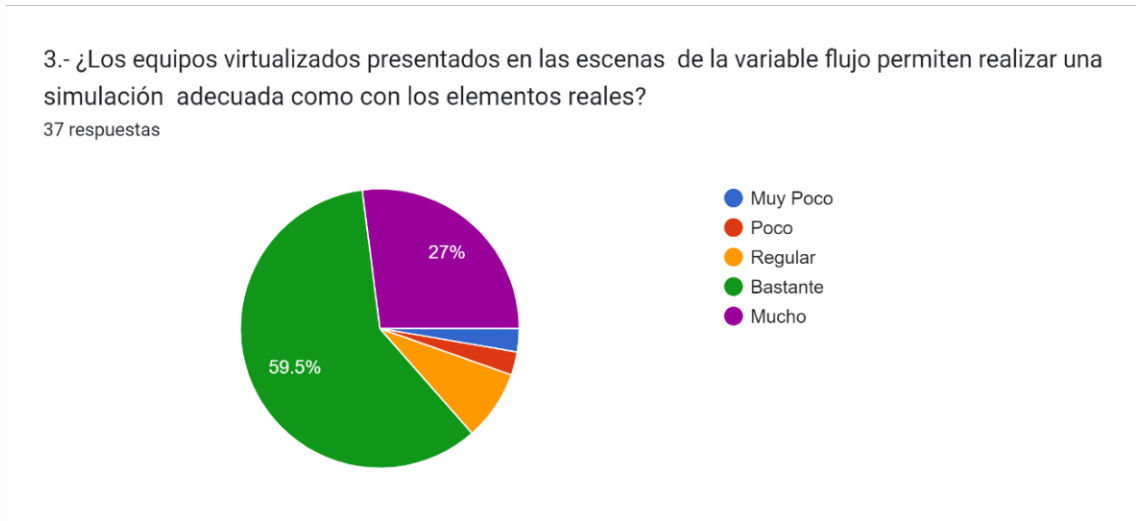


Figura 72. Resultados de la tercera pregunta de la encuesta

En la tercera pregunta se ha evaluado los estudiantes si los equipos visualizados 3 d mostrados en las escenas permiten realizar una simulación tal y como sería en la vida real teniendo como resultado que el 2.6% es decir 1 estudiante cree que muy poco, el 2.6% es decir 1 estudiante cree que poco, 7.9% es decir 2 estudiantes creen que regular, 59.5 % es decir 10 estudiantes cree que bastante y 27% es decir 22 estudiantes creen que mucho, ya que la suma entre las opciones bastante y mucho es 86.5% entonces se concluye que se puede realizar una simulación adecuada con los equipos virtualizados.

Cuarta pregunta.

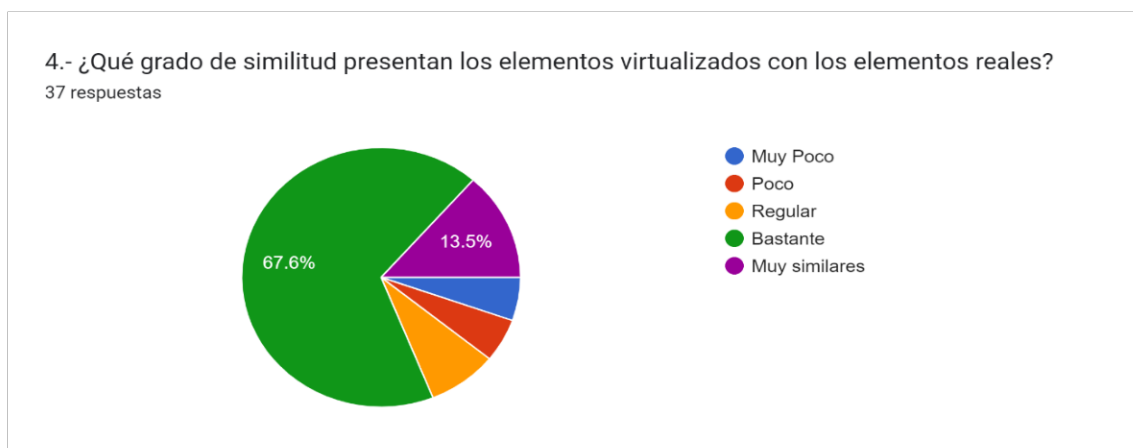


Figura 73. Resultados de la cuarta pregunta de la encuesta

La cuarta pregunta evaluar el grado de similitud que presenta los elementos virtualizados en comparación con los reales teniendo como resultado que el 5.3% es decir 2 estudiante cree que muy poco, el 4.8% es decir 1 estudiante cree que poco, 8.2% es decir 2 estudiantes creen que regular, 67.6 % es decir 25 estudiantes cree que bastante y 13.5% es decir 4 estudiantes creen que mucho, ya que la suma entre las opciones bastante y mucho es 81.1% entonces se concluye que los elementos virtualizados presentan gran similitud a los reales.

Quinta pregunta.

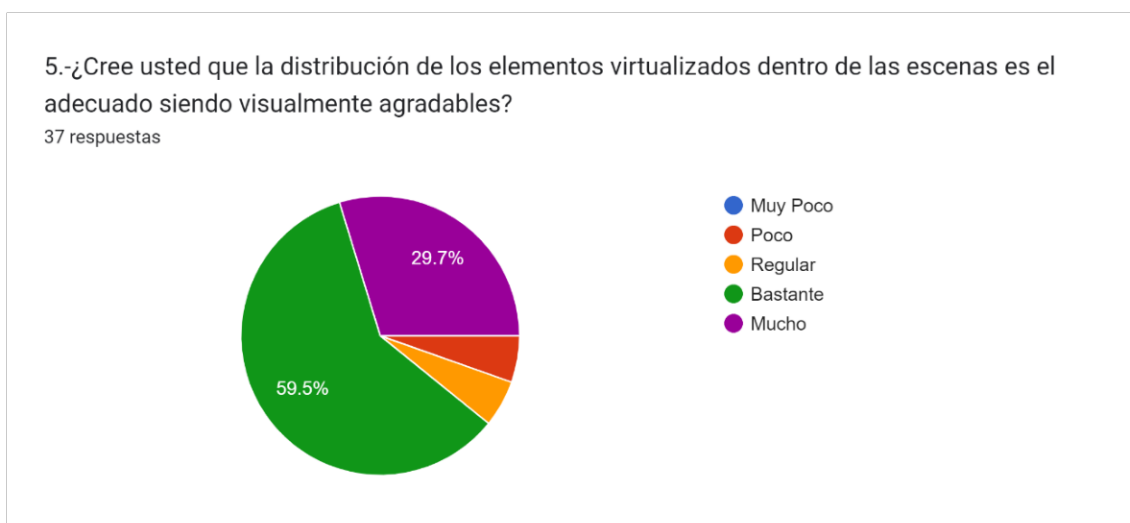


Figura 74. Resultados de la quinta pregunta de la encuesta

En la quinta pregunta se evalúa sí la distribución de los elementos dentro de la pantalla es visualmente agradable teniendo como resultado que el 0% es decir 0 estudiantes cree que muy poco, el 5.3 % es decir 1 estudiante cree que poco, 8.4% es decir 4 estudiantes creen que regular, 59.5 % es decir 10 estudiantes cree que bastante y 29.7 % es decir 22 estudiantes creen que mucho, ya que la suma entre las opciones bastante y mucho es 86.5% entonces se concluye que se la distribución de los elementos es visualmente agradable.

Interacción:

Las preguntas asociadas a la interacción son la sexta y séptima, cada una de ellas con un rango de 5 opciones.

Sexta pregunta.

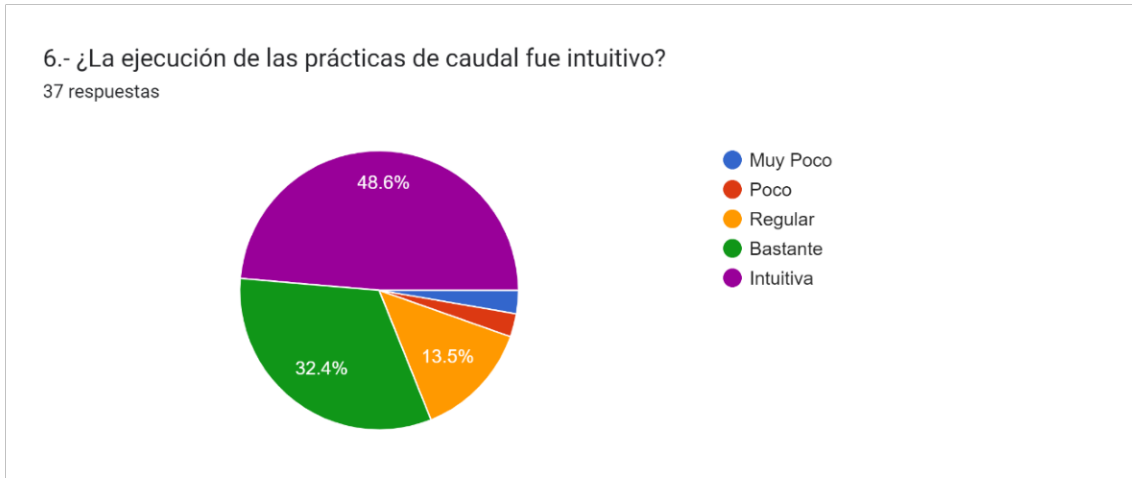


Figura 75. Resultados de la sexta pregunta de la encuesta

En esta pregunta se ha evaluado si la ejecución de las prácticas se le ha podido realizar de manera intuitiva teniendo como resultado que el 2.6% es decir 1 estudiante cree que muy poco, el 2.6% es decir 1 estudiante cree que poco, 13.5% es decir 4 estudiantes creen que regular, 48.6 % es decir 17 estudiantes cree que bastante y 32.4% es decir 13 estudiantes creen que mucho, ya que la suma entre las opciones bastante y mucho es 81.0% entonces se concluye que se las practicas se las puede realizar de una manera intuitiva.

Séptima pregunta.

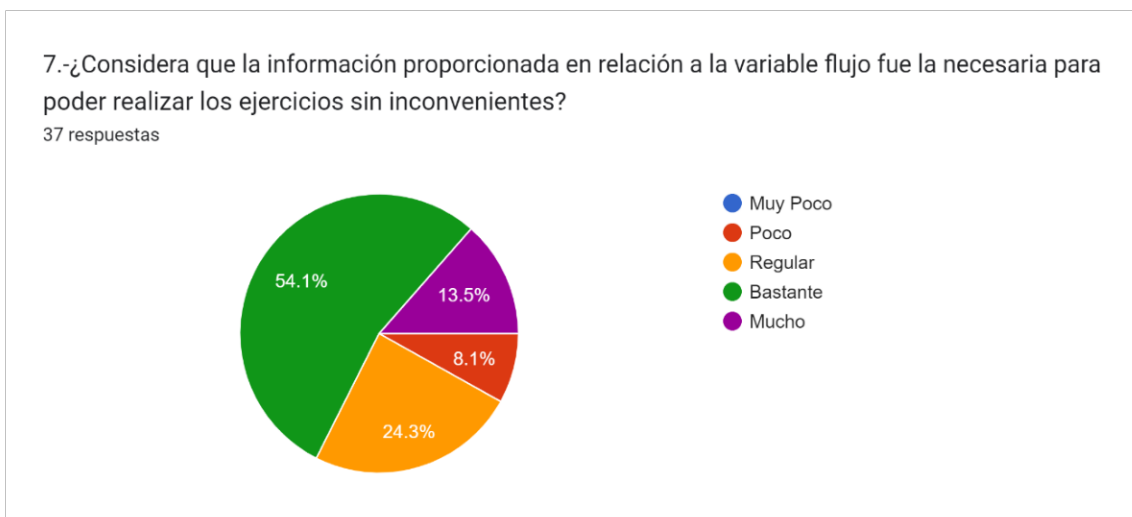


Figura 76. Resultados de la séptima pregunta de la encuesta

En esta pregunta se evaluado si la información que se ha proporcionado en cada una de las pantallas ha sido la suficiente para poder realizar los ejercicios planteados teniendo como resultado que el 0% es decir 0 estudiantes cree que muy poco, el 8.1% es decir 3

estudiante cree que poco, 24.3% es decir 9 estudiantes creen que regular, 54.1 % es decir 20 estudiantes cree que bastante y 13.5% es decir 22 estudiantes creen que mucho, ya que la suma entre las opciones bastante y mucho es 67.6% entonces se concluye que se la información que se ha proporcionado es suficiente para poder desarrollar los ejercicios planteados.

Contribución al aprendizaje:

Las preguntas relacionadas a la contribución con el aprendizaje son la octava, novena y décima.

Octava pregunta.



Figura 77. Resultados de la octava pregunta de la encuesta

En la octava pregunta se ha consultado si la información presentada ayuda a entender mejor la variable flujo teniendo como resultado que el 0% es decir ningún estudiante cree que muy poco, el 2.6% es decir 1 estudiante cree que poco, 13.2% es decir 3 estudiantes creen que regular, 64.9 % es decir 25 estudiantes cree que bastante y 18.9% es decir 7 estudiantes creen que mucho, ya que la suma entre las opciones bastante y mucho es 83.8 % entonces se concluye que se la información si contribuye al aprendizaje de la variable flujo

Novena pregunta.

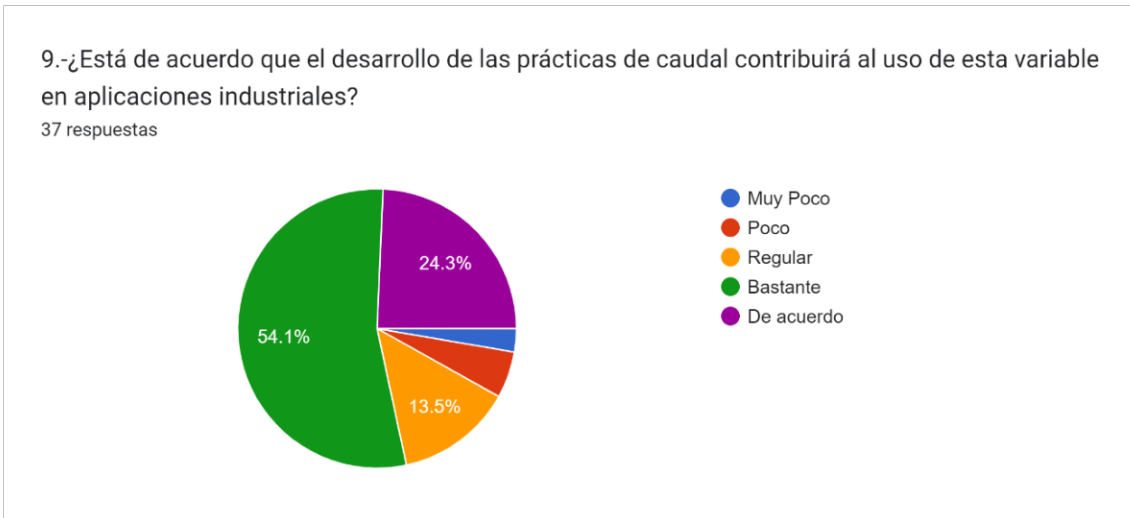


Figura 78. Resultados de la novena pregunta de la encuesta

En la novena pregunta se ha evaluado si el desarrollo de las 2 prácticas de caudal contribuirá en el aprendizaje y aplicación industrial teniendo como resultado que el 2.6% es decir 1 estudiante cree que muy poco, el 5.3% es decir 2 estudiantes cree que poco, 13.5 % es decir 3 estudiantes creen que regular, 24.3 % es decir 9 estudiantes cree que bastante y 54.1% es decir 21 estudiantes creen que mucho, ya que la suma entre las opciones bastante y mucho es 78.4 % entonces se concluye que el desarrollo de las practicas si contribuirá en el conocimiento industrial.

Decima pregunta.

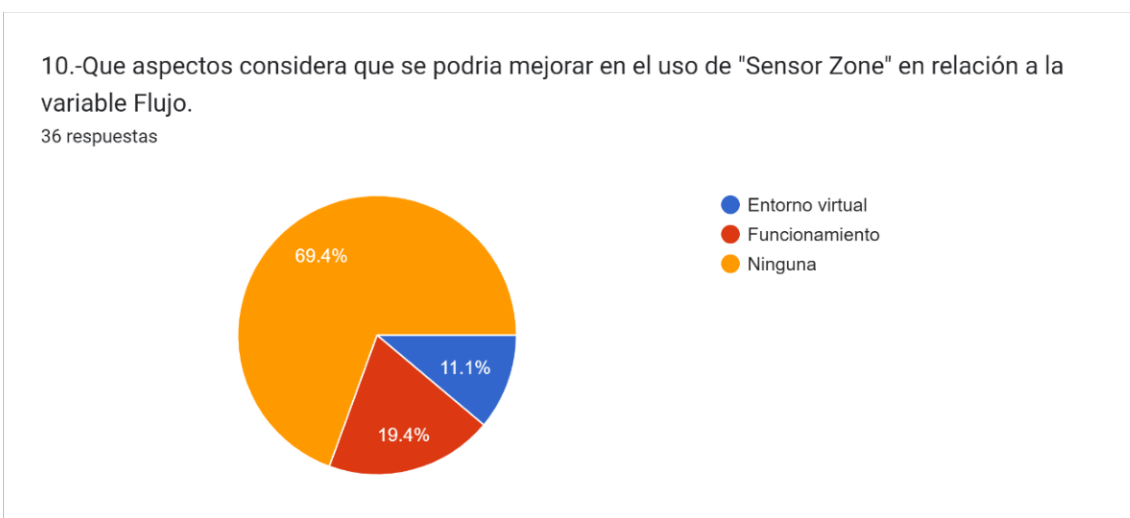


Figura 79. Resultados de la decima pregunta de la encuesta

En la décima pregunta de la encuesta se ha consultado a los estudiantes qué aspectos se podría mejorar en la aplicación con respecto a la variable flujo teniendo como resultado

que el 11.1 % de los estudiantes es decir 3 estudiantes sugieren que se mejore en el entorno virtual , el 19.4 % de los estudiantes es decir 6 sugieren que se pueda mejorar en el funcionamiento y el 67.6 % de los estudiantes es decir 25 de los 37 estudiantes no sugieren ningún cambio, como el resultado es mayor al 65% entonces se puede mantener la misma estructura y funcionamiento

De forma general la encuesta llevada a cabo muestra una alta aceptación del software por parte de los usuarios.

La encuesta evidencia una alta aceptación del software entre los usuarios, ya que el 70.3 % no tuvo dificultades en su ejecución, mientras que el 81.3 % encontró un desplazamiento correcto por todas las prácticas. Además, un notable 86.5 % logró realizar simulaciones adecuadas con equipos virtualizados, y un 81.1 % destacó la gran similitud entre los objetos virtualizados y los reales. Respecto a la distribución de elementos y la facilidad intuitiva de las prácticas, el 86.5 % y el 81.0 % de los usuarios, respectivamente, expresaron su satisfacción. Asimismo, un 67.6 % consideró que la información proporcionada fue suficiente para desarrollar los ejercicios de manera correcta, y un sólido 83.8 % afirmó que contribuía al aprendizaje de la variable flujo. Además, el 78.4 % percibió que el desarrollo de las prácticas sería beneficioso para el conocimiento industrial, mientras que el 65 % opinó que la estructura y el funcionamiento de la aplicación se podrán mantener sin cambios.

3.2. Conclusiones

1. Se realizó una investigación bibliográfica de la variable flujo abarcando conceptos físicos fundamentales, formas de determinar y medir el caudal las aplicaciones industriales en las que está inmersa la variable. En base a la investigación bibliográfica que sintetizó conceptos físicos, métodos de medición y aplicaciones se desarrolló prácticas para el sensor tipo Venturi y Coriolis con aplicaciones de laboratorio en el software desarrollado.

2. Mediante el uso de softwares de desarrollo de aplicaciones y programas de modelado 3D se puede implementar laboratorios virtuales que cumpla con las funciones y características de un laboratorio real reduciendo costos y la resistencia de los estudiantes ante daños.

3. Se realizó exitosamente el diseño e implementación de dos prácticas de laboratorio para la materia de sensores y transductores de la Escuela Politécnica Nacional en un software especializado para entornos 3D tomando como principal aplicación el manejo y estudio de la variable flujo.

4. Partiendo de las características físicas y dimensiones de los instrumentos como los sensores de flujo y medidores se ha virtualizado cada uno de estos de la manera más realista posible como se los encuentra en las aplicaciones industriales reales en base a datasheets.

5. Se ha realizado una evaluación del funcionamiento y estructura de las dos prácticas virtuales de la variable flujo obteniendo una alta aceptación por parte de los usuarios como lo muestran las encuestas realizadas.

3.3. Recomendaciones

1. Se recomienda la implementación de más prácticas de la variable flujo donde se contemplen otros sensores o aplicaciones prácticas que el estudiante se encontrará físicamente.

2. Antes de realizar el diseño y modelado 3D de instrumentos buscar la información técnica ya sea Datasheet o catálogos que muestren información como dimensiones físicas, materiales y aplicaciones para que este sea lo más parecido al modelo físico.

3. Realizar la programación de las funciones de los instrumentos por bloques y que cada uno de estos cumpla una función específica, esto permitirá optimizar el peso de la aplicación permitiendo que esta se pueda utilizar en más dispositivos ya que los recursos requeridos serán menores.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] «¿Qué son el flujo de masa y el flujo volumétrico?», Alicat Español. Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.alicat.com/es/soporte/base-de-conocimientos/que-son-el-flujo-de-masa-y-el-flujo-volumetrico/>
- [2] «Mecánica de fluidos: Viscosidad y turbulencia».
- [3] «I5_Medicion_de_flujo A.pdf». Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: http://webdelprofesor.ula.ve/ingenieria/djean/index_archivos/Documentos/I5_Medicion_de_flujo%20A.pdf
- [4] «Capítulo 9.- TIPOS DE MEDIDORES DE CAUDAL.pdf». Accedido: 11 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: https://amyd.quimica.unam.mx/pluginfile.php/2659/mod_resource/content/1/Cap%C3%ADtulo%209.-%20TIPOS%20DE%20MEDIDORES%20DE%20CAUDAL.pdf
- [5] «DISPOSITIVOS PARA MEDIR CAUDAL Y VELOCIDAD DE FLUIDOS». Accedido: 11 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://tarwi.lamolina.edu.pe/~dsa/Medidores.htm>
- [6] mundocompresor.com, «Presión diferencial - definición mundocompresor.com». Accedido: 25 de julio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.mundocompresor.com/diccionario-tecnico/presion-diferencial>
- [7] «Caudalímetro Másico de efecto Coriolis - Contatec», Fabricamos Caudalímetros en España para resolver tus problemas de producción. Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.contatec.es/caudalímetros/masicos/>
- [8] «Caudalímetro de Coriolis La mejor información Top 2023», VVA Industrial. Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://vvaindustrial.com/caudalímetro-de-coriolis/>
- [9] «Plataforma de desarrollo en tiempo real de Unity | Motor de 3D, 2D, VR y AR», Unity. Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://unity.com>
- [10] «Qué es Visual Studio | Definición, historia y ventajas». Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.arimetrics.com/glosario-digital/visual-studio>
- [11] «¿Qué es AutoCAD 3D?», Arcux. Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://arcux.net/blog/que-es-autocad-3d/>
- [12] «Conoce Blender, el software de 3D más versátil | U-tad». Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://u-tad.com/blender/>
- [13] «Tinkercad. Dando volumen a las ideas», INTEF. Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://intef.es/observatorio_tecno/tinkercad-dando-volumen-a-las-ideas/
- [14] «¿Qué necesito para programar Unity?» Accedido: 6 de febrero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.laps4.com/preguntas-y-respuestas/que-necesito-para-programar-unity>
- [15] I. Mecafenix, «Que es un sistema de lazo abierto y lazo cerrado», Ingeniería Mecafenix. Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/control/sistema-de-control/>
- [16] «Valvula Bola Bridada ac/Inox OYM 150# 300MM DE 12"», <https://depotmx.com/>. Accedido: 1 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://depotmx.com/producto/valv-bola-brid-ac-inox-oym-150-300mm/>
- [17] «Válvula de Globo, Tipo Cierre y Retención, Paso Recto PN16/10 | Saval de Válvulas». Accedido: 26 de junio de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.valsaval.com/prod/paso-recto-tipo-cierre-retencion-pn16-10/>
- [18] «34-sm-25-03.pdf». Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.klinger.dk/media/5036/34-sm-25-03.pdf>

- [19] «Tabla de Dimensiones de Tubos de Acero (Medidas para Tubos Cedula 40, 80)», OctalAcero. Accedido: 1 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.octalacero.com/dimensiones-de-tubos-cedula-40-80>
- [20] J. C. Villajulca, «Conexiones a proceso de instrumentación: uniones bridadas», Instrumentacion y Automatizacion Industrial. Accedido: 1 de agosto de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://instrumentacionycontrol.net/conexiones-a-proceso-de-instrumentacion-uniones-bridadas/>
- [21] «Surtek BP505 Bomba Periférica de 1/2 HP, Altura Máxima de 43 m, Flujo Máximo de 38 L/min, Diámetro de Entrada y Succión de 1" NTP : Amazon.com.mx: Herramientas y Mejoras del Hogar». Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.amazon.com.mx/Surtek-BP505-Perif%C3%A9rica-Di%C3%A1metro-Entrada/dp/B0108E2GZO?th=1>
- [22] «belimo_CQ24A-BAC_datasheet_es-es.pdf». Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://www.belimo.com/mam/general-documents/datasheets/es-es/belimo_CQ24A-BAC_datasheet_es-es.pdf
- [23] «SITRANS_FC430_HART_OI_ES_es-ES.pdf». Accedido: 28 de diciembre de 2023. [En línea]. Disponible en: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/467/84558467/att_846738/v1/SITRANS_FC430_HART_OI_ES_es-ES.pdf
- [24] M. Hammond, «Escala de Likert: qué es y cómo utilizarla (incluye ejemplos)». Accedido: 28 de enero de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://blog.hubspot.es/service/escala-likert>